

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Beton Bertulang**

Beton untuk beton bertulang merupakan suatu material yang menyerupai batu alam yang diperoleh dengan membuat suatu campuran yang mempunyai proporsi tertentu dari semen, pasir dan koral atau agregat lainnya, dan air untuk membuat campuran tersebut menjadi keras dalam cetakan sesuai dengan bentuk dan dimensi struktur yang diinginkan. Kumpulan material tersebut terdiri dari agregat yang halus dan kasar. Semen dan air berinteraksi secara kimiawi untuk mengikat partikel-partikel agregat tersebut menjadi suatu masa yang padat. Tambahan air, yang melampaui jumlah yang dibutuhkan untuk reaksi kimia ini, diperlukan untuk memberikan campuran tersebut sifat mudah diolah yang memungkinkannya mengisi cetakan dan membungkus baja penguat sebelum mengeras. Beton dalam berbagai variasi sifat kekuatan dapat diperoleh dengan pengaturan yang sesuai dari perbandingan jumlah material pembentuknya. Semen-semen khusus (seperti semen berkekuatan tinggi), agregat-agregat khusus (seperti bermacam-macam agregat ringan dan agregat berat) memungkinkan untuk mendapatkan variasi sifat-sifat beton yang lebih luas lagi.

Sifat-sifat ini dalam banyak hal tergantung pada proporsi dari campurannya, pada kesempurnaan dari adukan bahan-bahan pembentuk campuran tersebut dan pada

kondisi kelembaban dan temperatur pada tempat diletakkannya campuran tersebut sejak saat ditematkannya campuran tersebut dalam cetakan hingga mengeras sepenuhnya. Proses pengawasan kondisi ini dikenal sebagai proses pemulihan. Untuk menghindari terjadinya produksi beton yang berkualitas dibawah standar, selama proses tersebut berlangsung diperlukan pengendalian dan pengawasan yang seksama, sejak penentuan proporsi berat dari masing-masing komponen, melalui proses pencampuran dan penempatan, sampai selesainya proses pemulihan.

Faktor-faktor yang membuat beton sebagai material bangunan yang umum tampak nyata sekali sehingga beton telah dipakai, dengan cara dan jenis yang lebih primitif dari pada keadaan sekarang ini, selama beribu-ribu tahun lamanya, mungkin telah dimulai sejak zaman Mesir kuno. Salah satu dari faktor-faktor tersebut adalah kemudahan pengolahannya, yaitu dalam keadaan plastis, beton dapat diendapkan dan diisi ke dalam cetakan atau bekisting yang hampir mempunyai semua bentuk yang praktis. Daya tahannya yang tinggi terhadap api dan cuaca merupakan bukti dari kelebihanannya. Sebagian besar dari material pembentuknya, kecuali semen, biasanya tersedia di lokasi dengan harga murah atau pada tempat yang tidak terlalu jauh dari lokasi konstruksi.

Beton mempunyai kuat tekan yang tinggi, seperti juga kekuatan tekan pada batu alam, yang membuat beton cocok untuk dipakai sebagai elemen yang terutama memikul gaya tekan, seperti kolom dan konstruksi busur. Sebaliknya, seperti juga batu alam, beton relatif merupakan material yang mudah retak yang tegangan tariknya kecil bila dibandingkan dengan tegangan tekannya. Hal ini mencegah penggunaan ekonomis beton sebagai elemen struktur yang mengalami gaya tarik baik

penggunaan ekonomis beton sebagai elemen struktur yang mengalami gaya tarik baik secara keseluruhan (seperti pada elemen struktur tarik) maupun pada sebagian dari penampangnya (seperti pada gelagar atau batang-batang lentur lainnya).

Untuk mengatasi keterbatasan ini, pada pertengahan abad ke sembilan belas, telah didapat kemungkinan, untuk memakai baja dengan kekuatan tariknya yang tinggi untuk memperkuat beton, terutama sekali pada tempat-tempat dimana kekuatan tarik beton yang kecil akan membatasi kapasitas penyangga dari beton. Perkuatan tersebut, biasanya berupa batang baja bundar dengan permukaannya yang sesuai untuk memungkinkan terjadinya proses saling mengikat antar beton dan baja, ditempatkan di dalam cetakan sebelum beton diisi ke dalamnya. Apabila telah terbungkus sama sekali dengan masa beton yang mengeras, maka perkuatan tersebut akan merupakan bagian yang terpadu dari batang tersebut. Hasil kombinasi dari kedua material tersebut, yang dikenal sebagai beton bertulang, mengkombinasikan banyak keuntungan dari masing-masing material seperti : harga yang relatif murah, daya tahan yang baik terhadap api dan cuaca, kekuatan tekan yang baik, serta kemampuan yang istimewa dari beton untuk dibentuk dan kekuatan tarik yang tinggi serta duktilitas (kelenturan) dan ketahanan yang jauh lebih besar dari baja (Winter, 1987).

### **2.1.1 Baja tulangan**

Dibandingkan dengan beton, tulangan merupakan material berkekuatan tinggi. Baja penguat atau baja tulangan memikul tarik maupun tekan, kekuatan lelehnya kurang lebih sepuluh kali dari kekuatan tekan struktur beton yang umum, atau seratus kali dari kekuatan tariknya. Baja merupakan material yang mahal harganya bila

dibandingkan dengan beton. Kedua material tersebut dapat digunakan dengan sebaik-baiknya dalam suatu kombinasi dimana beton berfungsi untuk memikul tegangan tekan sedang baja berfungsi memikul tegangan tarik. Dengan demikian, pada suatu gelagar beton bertulang, beton berfungsi memikul gaya tekan dan batang-batang baja yang dipasang longitudinal diletakkan di dekat permukaan tarik untuk memikul gaya tarik. Namun demikian, tulangan juga dipakai untuk memikul gaya tekan terutama pada tempat-tempat dimana diinginkan adanya pengurangan dimensi dari penampang dari elemen struktur tekan. Walaupun dalam perhitungan tidak ditemukan tulangan seperti yang dikemukakan di atas, suatu jumlah minimum dari tulangan ditempatkan pada elemen struktur tekan untuk melindungi terhadap efek dari momen lentur yang terjadi secara tiba-tiba yang dapat meretakkan bahkan meruntuhkan bagian yang tidak diberi tulangan.

Supaya pemakaian tulangan bisa berjalan dengan efektif, harus diusahakan agar tulangan dan beton dapat mengalami deformasi bersama-sama, yaitu agar terdapat ikatan yang cukup kuat diantara kedua material tersebut untuk memastikan tidak terjadinya gerakan relatif (slip) dari tulangan dengan beton yang ada disekelilingnya. Ikatan yang kuat ini dapat diperoleh dengan memakai bahan adhesi kimia yang bekerja pada bidang antara tulangan beton, atau oleh kekasaran alami dari pergeseran yang terdapat pada tulangan berprofil baja, dan oleh sirip permukaan yang dibentuk oleh rusuk-rusuk yang dekat sekali jaraknya yang terdapat pada tulangan penguat supaya bisa terjadi ikatan yang kuat diantara kedua material tersebut.

Beberapa gambaran yang menyebabkan terjadinya ikatan yang kuat antara tulangan dan beton antara lain :

1. koefesien muai panas dari kedua material, kurang lebih 0,0000065 untuk tulangan dan rata-rata 0,0000055 untuk beton, cukup berdekatan untuk dapat mencegah terjadinya retak dan efek-efek lainnya yang tidak diinginkan akibat terjadinya deformasi karena adanya perubahan temperatur,
2. karena daya tahan baja terhadap karat sangat lemah, maka beton yang berada disekeliling tulangan penguat dapat memberikan perlindungan yang baik terhadap karat, dengan demikian dapat memperkecil masalah karat dan mengurangi biaya pemeliharannya,
3. daya tahan api dari tulangan yang tidak terlindung diperlemah oleh konduktifitasnya yang tinggi terhadap panas dan oleh kenyataan bahwa kekuatan tulangan akan berkurang banyak pada temperatur yang tinggi.

Sebaliknya konduktifitas panas beton relatif rendah. Dengan demikian, kerusakan yang disebabkan, bahkan oleh api yang menjalar untuk jangka waktu yang lama, walaupun ada, biasanya terbatas pada lapisan luar dari beton, dan suatu penutup beton dengan ketebalan cukup dapat berfungsi cukup baik sebagai penyekat bagi tulangan yang ditanamkan di dalamnya (Winter, 1987).

### **2.1.2 Kuat lentur balok persegi**

Beban-beban yang bekerja pada struktur, 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. Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena adanya beban luar.

Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya (atau bertambahnya) retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya 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 kerja, dan masih mempunyai keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan tanpa mengalami keruntuhan.

Tegangan-tegangan lentur merupakan hasil dari momen lentur luar. Tegangan ini hampir selalu menentukan dimensi geometris penampang beton bertulang. Proses desain yang mencakup pemilihan dan analisis penampang biasanya dimulai dengan pemenuhan persyaratan terhadap lentur.

Meskipun data masukan untuk analisis penampang berbeda dengan data masukan yang diperlukan pada desain, pada hakekatnya desain juga merupakan analisis. Pada desain ukuran penampangnya ditentukan terlebih dahulu untuk kemudian dianalisis untuk menentukan apakah penampang tersebut dapat dengan aman memikul beban luar yang diperlukan.

Jika suatu balok terbuat dari material yang elastis linear, isotropis dan homogen, maka tegangan lentur maksimumnya dapat diperoleh dengan rumus lentur

balok yang terkenal, yaitu  $f = \frac{M \cdot c}{I}$ . Pada keadaan beban batas, balok beton bertulang bukanlah material yang homogen, juga tidak elastis sehingga rumus lentur balok tersebut tidak dapat digunakan untuk menghitung tegangannya.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam menetapkan perilaku penampang adalah sebagai berikut :

1. Distribusi regangan adalah linear. Asumsi ini berdasarkan hipotesis Bernoulli yaitu penampang yang datar sebelum mengalami lentur akan tetap datar dan tegak lurus terhadap sumbu netral setelah mengalami lentur.
2. Regangan pada baja dan beton di sekitarnya sama sebelum terjadi retak pada beton atau leleh pada baja.
3. Beton lemah terhadap tarik. Beton akan retak pada taraf pembebanan kecil, yaitu sekitar 10% dari kekuatan tekannya. Akibatnya bagian beton yang mengalami tarik pada penampang diabaikan dalam perhitungan analisis dan desain, juga tulangan tarik yang ada dianggap memikul gaya tarik tersebut (Nawy, 1990).

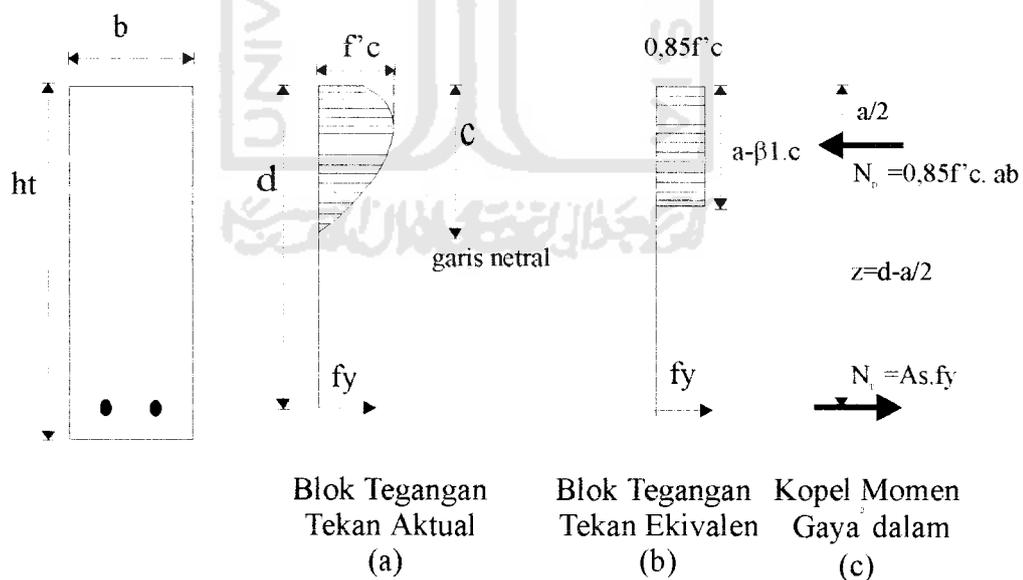
Pada suatu kondisi tertentu balok menahan beban sedemikian hingga regangan tekan beton maksimum ( $\epsilon'_b$  maksimum) mencapai 0,003 sedangkan regangan baja tarik tulangan mencapai regangan luluh ( $\epsilon_y$ ). Apabila hal demikian terjadi, penampang dinamakan mencapai keseimbangan regangan, atau disebut penampang seimbang. Dengan demikian berarti bahwa untuk suatu komposisi beton dengan jumlah baja tertentu akan memberikan keadaan hancur tertentu pula.

Kuat lentur balok tersedia karena berlangsungnya mekanisme tegangan-tegangan dalam yang timbul di dalam balok pada keadaan tertentu dapat diwakili oleh gaya-gaya dalam. Seperti terlihat pada gambar 2.1,  $N_D$  adalah resultante gaya tekan dalam, merupakan resultante seluruh gaya tekan pada daerah di atas garis netral, sedangkan  $N_T$  adalah resultante gaya tarik dalam, merupakan jumlah seluruh gaya tarik yang diperhitungkan untuk daerah di bawah garis netral. Kedua gaya ini arah garis kerjanya sejajar, sama besar, tetapi berlawanan arah dan dipisahkan dengan jarak  $z$  sehingga membentuk kopel momen tahanan dalam, dimana nilai maksimum disebut sebagai kuat lentur atau momen tahanan penampang komponen struktur terlentur.

Momen tahanan dalam tersebut yang akan menahan atau memikul momen lentur rencana aktual yang ditimbulkan oleh beban luar. Untuk itu dalam merencanakan balok pada kondisi pembebanan tertentu harus disusun komposisi dimensi balok beton dan jumlah serta besar (luas) baja tulangnya sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan momen tahanan dalam, merupakan hal yang kompleks sehubungan dengan bentuk diagram tegangan tekan di atas garis netral yang berbentuk garis lengkung. Kesulitan timbul tidak hanya waktu menghitung besarnya  $N_D$ , tetapi juga penentuan letak garis kerja gaya relatif terhadap pusat berat tulangan baja tarik. Tetapi karena momen tahanan dalam, pada dasarnya merupakan fungsi dari  $N_D$  dan  $z$ , tidaklah sangat penting untuk mengetahui bentuk tepat distribusi tegangan tekan di atas garis netral. Untuk menentukan momen tahanan dalam, yang penting adalah mengetahui terlebih dahulu resultante total gaya beton tekan  $N_D$  dan letak garis kerja gaya dihitung terhadap serat tepi tekan terluar, sehingga jarak  $z$  dapat dihitung. Kedua nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan

nilai tersebut dapat ditentukan melalui penyederhanaan bentuk distribusi tegangan lengkung digantikan dengan bentuk ekuivalen yang lebih sederhana, dengan menggunakan nilai intensitas tegangan rata-rata sedemikian sehingga nilai dan letak resultante tidak berubah.

Untuk tujuan penyederhanaan, Whitney telah mengusulkan bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekuivalen. Standar SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2 ayat 7 juga menetapkan bentuk tersebut sebagai ketentuan, meskipun tidak menutup kemungkinan untuk menggunakan bentuk-bentuk yang lain sepanjang hal tersebut merupakan hasil-hasil pengujian. Pada kenyataannya, usulan Whitney telah digunakan secara luas karena bentuknya berupa empat persegi panjang yang memudahkan dalam penggunaannya, baik untuk perencanaan maupun analisis, lihat gambar 2.1 (Dipohusodo, 1994).



Gambar 2.1 Blok Tegangan Ekuivalen Whitney (Dipohusodo, 1994)

SK SNI T-15-1991-03 pasal 3.3.2. ayat 7 menetapkan usulan Whitney bentuk persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekuivalen yang mendefinisikan

persegi panjang sebagai distribusi tegangan beton tekan ekuivalen yang mendefinisikan sebagai berikut :

1. tegangan beton sebesar  $0,85 f'_c$  harus diasumsikan terdistribusi secara merata pada daerah tekan ekuivalen yang dibatasi oleh tepi penampang dan suatu garis lurus yang sejajar dengan sumbu netral sejarak  $a=\beta_1c$  dari serat dengan regangan tekan maksimum,
2. jarak  $c$  dari serat dengan regangan maksimum ke sumbu netral harus diukur dalam arah tegak lurus terhadap sumbu tersebut,
3. faktor  $\beta_1$  harus diambil sebesar 0,85 untuk kuat tekan beton  $f'_c$  hingga atau sama dengan 30 Mpa, untuk kekuatan di atas 30 Mpa,  $\beta_1$  harus direduksi secara menerus sebesar 0,008 untuk setiap kelebihan 1 Mpa diatas 30 Mpa, tetapi  $\beta_1$  tidak boleh diambil kurang dari 0,65 (Dipohusodo, 1994).

## 2.2 Analisis Balok Terlentur Bertulangan Tarik

Analisis penampang balok terlentur dilakukan terlebih dahulu mengetahui dimensi unsur-unsur penampang balok yang terdiri dari : jumlah dan ukuran tulangan baja tarik ( $A_s$ ), lebar balok ( $b$ ), tinggi efektif ( $d$ ), tinggi total ( $h$ ),  $f'_c$  dan  $f_y$ , sedangkan yang dicari adalah kekuatan balok atau manifestasi kekuatan dalam bentuk lain, misalnya menghitung  $M_n$  atau memeriksa kehandalan dimensi penampang balok tertentu terhadap beban yang bekerja, atau menghitung jumlah beban yang dapat dipikul balok. Di lain pihak, proses perencanaan balok terlentur adalah menentukan satu atau lebih unsur dimensi penampang balok yang belum diketahui, atau menghitung jumlah kebutuhan tulangan tarik dalam penampang berdasarkan mutu

bahan dan jenis pembebanan yang sudah ditentukan. Penting sekali untuk mengenal perbedaan dua pekerjaan dan permasalahan tersebut dengan baik, masing-masing memiliki langkah penyelesaian berbeda (Dipohusodo, 1994).

Dipohusodo (1994) memberikan ringkasan atau ikhtisar analisis untuk balok persegi terlentur bertulangan tarik, dengan urutan sebagai berikut :

- 1) Menentukan hal-hal yang diketahui.
- 2) Menentukan yang harus dicari (pekerjaan analisis umumnya mencari  $M_n$ ,  $M_n$ , beban hidup atau mati yang dapat didukung).

- 3) Menghitung rasio penulangan :

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \dots \dots \dots (2.1)$$

- 4) Hasilnya dibandingkan dengan  $0,75\rho_b$  atau  $\rho_{maks}$  juga terhadap  $\rho_{min}$  untuk menentukan apakah penampang memenuhi syarat.

- 5) Menghitung kedalaman blok tegangan beton tekan :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} \dots \dots \dots (2.2)$$

- 6) Menghitung panjang lengan kopel momen dalam,  $z = d - \frac{1}{2} \cdot a$

- 7) Menghitung momen tahanan (momen dalam) ideal  $M_n$ ,

$$M_n = N_T \cdot z = A_s \cdot f_y \cdot z \text{ atau} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$M_n = N_D \cdot z = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot z \dots \dots \dots (2.4)$$

$$M_R = \Phi \cdot M_n \dots \dots \dots (2.5)$$

### 2.3 Perilaku Lentur pada Pembebanan

Balok-balok beton murni (tanpa tulangan) tidak efisien sebagai batang-batang lentur karena kekuatan tarik pada lentur adalah sangat kecil dibandingkan kekuatan tekannya. Sebagai akibatnya, balok tersebut mengalami kegagalan pada sisi tariknya pada pembebanan yang rendah, jauh sebelum kekuatan beton pada sisi tekan dapat dimanfaatkan sepenuhnya. Berdasarkan hal ini maka dipakai tulangan yang ditempatkan pada daerah tarik. Pada balok bertulang, tarik yang disebabkan oleh momen lentur terutama sekali dipikul oleh tulangan, sedang beton biasanya hanya dapat memikul tekan yang terjadi. Aksi komposit dari kedua material tersebut hanya dapat berjalan dengan baik apabila dicegah terjadinya slip antara beton dan tulangan. Hal ini bisa dicapai dengan memakai tulangan ulir yang mempunyai daya lekat yang tinggi pada permukaan tulangan beton, dan apabila diperlukan dengan mengankur ujung-ujung tulangan secara khusus.

Apabila pembebanan pada balok tersebut ditambah secara berangsur-angsur mulai dari nol sampai mencapai suatu harga yang dapat menyebabkan hancurnya balok, maka bisa dibedakan dengan jelas adanya beberapa tingkat perilaku yang berbeda.

Pada pembebanan yang kecil, selama tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus kehancuran, maka seluruh beton dapat dikatakan efektif dalam memikul tegangan, tekan pada satu sisi dan tarik pada sisi yang lain. Tulangan juga mengalami deformasi yang sama seperti beton dan mengalami tegangan tarik.

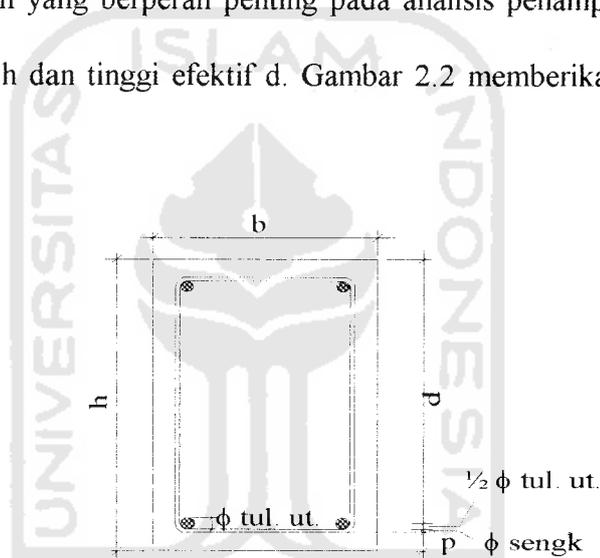
Apabila bahan ditambah terus, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai, dan pada tingkatan ini mulai tercapai retak-retak akibat tarik. Retak-retak ini menjalar dengan cepat ke atas dan bergeser diikuti dengan menjalarnya retak-retak. Retak-retak ini, cukup banyak mempengaruhi perilaku balok yang mengalami pembebanan. Sesungguhnya, pada suatu penampang retak, yaitu suatu penampang yang terletak pada tempat terjadinya retak, beton tidak menyalurkan tegangan-tegangan tarik. Dengan demikian, seperti juga pada batang-batang tarik maka tulanganlah yang harus memikul semua tarik yang terjadi.

Apabila dipakai jumlah tulangan yang relatif sedikit pada suatu besar pembebanan tertentu, tulangan akan mencapai tegangan lelehnya. Pada besar tegangan tersebut tulangan akan meleleh secara tiba-tiba dan akan mengalami deformasi yang besar, dan retak-retak akibat tarik pada beton akan melebar sehingga menjalar ke atas, diikuti secara serentak dengan terjadinya lentur yang besar pada balok. Apabila ini terjadi, regangan pada daerah tekan akan bertambah sedemikian rupa sehingga dapat menghancurkan beton, kehancuran tekanan sekunder terjadi pada besar pembebanan yang sedikit lebih besar dari beban yang menyebabkan tulangan meleleh. Dengan demikian, secara efektif tercapainya tegangan leleh pada tulangan menentukan daya pikul dari balok dengan jumlah tulangan tertentu. Kehancuran leleh berlangsung secara berangsur-angsur dan didahului dengan tanda-tanda yang cukup jelas, seperti melebar dan memanjangnya retak, dan tanda-tanda yang menunjukkan bertambah besarnya lendutan yang terjadi.

Sebaliknya apabila dipakai jumlah tulangan yang banyak atau jumlah tulangan yang normal dari tulangan yang mempunyai kekuatan tinggi, maka kekuatan tekan beton akan dicapai sebelum tulangan mulai meleleh. Beton akan mengalami regangan yang terjadi menjadi sangat besar sehingga dapat merusak keutuhan beton (Winter, 1987).

#### 2.4 Selimut Beton

Dua besaran yang berperan penting pada analisis penampang beton bertulang adalah tinggi total  $h$  dan tinggi efektif  $d$ . Gambar 2.2 memberikan kedua besaran ini bagi sebuah balok.



Gambar 2.2 Hubungan antara  $h$ ,  $d$  dan penutup beton  $p$ .

Hubungan antara  $d$  dan  $h$  untuk sebuah balok, secara umum ditentukan oleh,

$$h = d + \frac{1}{2} \phi_{\text{tul.ut.}} + \phi_{\text{sengk}} + p \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan ,

$d$  = tinggi efektif (jarak dari serat tekan ke titik berat tulangan tekan)

$p$  = tebal penutup beton untuk menutup tulangan terluar

$\phi_{\text{tul.ut.}}$  = diameter tulangan utama

$\phi_{\text{sengk}}$  = diameter sengkang

Salah satu faktor yang menentukan perbedaan antara  $d$  dan  $h$ , dalam balok adalah penutup beton  $p$ . Sesuai dengan namanya penutup beton ini, digunakan untuk melindungi tulangan baja. Lapisan pelindung yang digunakan sesuai dengan ketentuan tebal penutup beton akan,

- a. menjamin penanaman tulangan dan lekatannya dengan beton,
- b. menghindari korosi pada tulangan yang mungkin dapat terjadi,
- c. meningkatkan perlindungan struktur terhadap kebakaran.

Penutup beton yang diberikan cukup memenuhi fungsi ini, bergantung pada

- a. kepadatan dan kedapannya beton
- b. ketelitian pelaksanaan pekerjaan
- c. lingkungan disekitar konstruksi tersebut (Gideon, 1994).

Menurut PBI 1971, ketahanan terhadap kebakaran (dinyatakan dalam jam) menentukan tebal penutup beton dan/atau ukuran bagian konstruksi yang ditinjau. Tebal penutup beton dan/atau bagian konstruksi harus ditentukan sedemikian rupa hingga waktu yang diperlukan untuk mencapai suhu  $450^{\circ}\text{C}$  di tulangan pokok paling sedikit adalah sama dengan ketahanan dalam kebakaran yang disyaratkan untuk bagian konstruksi itu.

## **2.5 Rancangan Pencampuran Beton**

Tujuan dari perancangan campuran beton adalah untuk menentukan proporsi bahan penyusun beton agar tercapai keadaan yang sesuai dengan persyaratan berikut :

1. kekuatan desak sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan oleh perencana konstruksi,

2. kelecakan (*workability*) yang cukup sehingga memudahkan dalam pengangkutan, penuangan dan pemadatan beton dapat dilakukan dengan baik,
3. keawetan (*durability*) yang memadai, umumnya keawetan beton banyak ditentukan oleh faktor air semen,
4. *finishing* yang baik,

Pada penelitian ini perencanaan campuran beton digunakan metode ACI karena metode ini yang banyak digunakan dilapangan. Perencanaan metode ACI ini ditampilkan dalam lampiran 4 sampai dengan 11.

## **2.6 Pengaruh Temperatur Tinggi Pada Beton Bertulang**

Beton bertulang banyak dipakai selaku unsur konstruksi. Dalam suhu tinggi beton kehilangan kekuatannya sangat banyak dan bila sudah mendingin lagi, sisa kekuatannya lebih rendah lagi. Sehingga bagian-bagian beton itu setelah kebakaran perlu mendapat tambahan kekuatan. Beton yang dibuat dengan campuran-campuran silikat juga lebih getas dan rapuh dalam kebakaran. Kerapuhan atau kegetasan itu tidak ada dalam konstruksi-konstruksi beton yang memakai kapur atau campuran-campuran ringan lainnya. Tetapi ketahanan serta daya dukungnya selalu ditentukan oleh kekuatan tulangnya pada bagian-bagian yang terkena tarikan dan yang mendapat titik kritisnya pada sekitar 400°C untuk baja pers dingin dan 550°C untuk baja gilingan panas. Itu masih tergantung juga dari tebal beton yang menutupi tulangan baja dan yang ternyata sangat penting selaku isolasi panas (Mangunwijaya, 1981).

### 2.6.1 Sifat pasta semen pada kenaikan temperatur

Ketika pasta semen dipanaskan mulai temperatur ruangan sampai  $100^{\circ}\text{C}$ , maka kekuatannya akan bertambah sedikit karena hilangnya air bebas pada bagian arang (clinker) yang terhidrasi, kemudian menyerap air, dan kira-kira pada temperatur  $300^{\circ}\text{C}$  air yang terikat secara kimiawi akan hilang pula. Kekuatan pasta semen pada temperatur  $400^{\circ}\text{C}$  hampir sama dengan kekuatannya pada temperatur ruangan. Diantara temperatur  $400^{\circ}\text{C}$  sampai  $600^{\circ}\text{C}$  kalsium hidroksida mengalami dihidrasi dan berubah menjadi kalsium oksida yang kekuatannya menjadi rendah sekali atau bahkan tidak mempunyai kekuatan sama sekali, yang akhirnya menyebabkan kekuatan pasta semen berkurang dengan cepat sepanjang interval temperatur tersebut. Pada temperatur  $600^{\circ}\text{C}$  sampai  $700^{\circ}\text{C}$  hasil pengeringan lainnya menyebabkan kehancuran dan kekuatan pasta semen hilang sama sekali. Setelah didinginkan dari temperatur  $400^{\circ}\text{C}$  sampai  $500^{\circ}\text{C}$  keretakan yang besar terbentuk pada pasta semen. Retak-retak juga disebabkan oleh pemuaian volume kalsium oksida pada temperatur tinggi hasil rehidrasi kalsium hidroksida. Perubahan kimia pasta semen pada temperatur tinggi juga disertai dengan perubahan volume. Ketika dipanaskan dari temperatur ruangan ke  $100^{\circ}\text{C}$ , pemuaian volume pasta semen meningkat secara linier, kemudian terjadi penyusutan sampai temperatur  $500^{\circ}\text{C}$  karena dehidrasi. Pada temperatur tinggi, volume kembali meningkat tanpa dapat mencapai nilai aslinya. Dua efek pasta semen pada temperatur tinggi adalah hilangnya kekuatan akibat pembusukan dari kalsium hidroksida dan hasil pengeringan lainnya saat temperatur  $400^{\circ}\text{C}$ , pemuaian terjadi antara  $100^{\circ}\text{C}$  sampai  $400^{\circ}\text{C}$  akibat ketidaksesuaian antara perubahan volume agregat,

antara 100°C sampai 400°C akibat ketidaksesuaian antara perubahan volume agregat, yang dapat meningkatkan keretakan dan kehancuran beton (Hansen, 1976).

### **2.6.2 Sifat agregat pada kenaikan temperatur**

Agregat berbeda reaksinya pada temperatur tinggi tergantung pada struktur dan komposisi mineralnya. Batu kristal dibedakan oleh pembungkus padat dari bermacam-macam mineral yang berbeda panasnya. Kristal secara mandiri mempunyai perbedaan tujuan dan arah. Walaupun tekanan dalam berkembang pada kenaikan temperatur yang menyebabkan pelepasan penuh partikel.

Sifat fisik dari batuan sedimen tergantung pada kandungan airnya. Kekuatan *sandstone* basah hanya setengah dari kekuatan material kering. Batu pasir memuai ketika dipanaskan. Jika temperatur naik secara cepat, pemuaian ini menyebabkan keretakan pada beton. Pada kenaikan yang rendah sekitar temperatur 100°C batu pasir lebih menyerap air dan menciut, hal ini menyebabkan gagalnya perletakan dan kekuatan beton berkurang. Flint, yang sering ditemukan didalam batuan sedimen mengandung sedikit air di dalam pori-pori mikroskopisnya. Ketika air menguap pada suhu 300°C, berkurangnya tekanan uap menyebabkan keretakan pada beton. Batu kapur mempunyai daya tahan yang baik terhadap panas sejauh tidak terjadi perubahan komposisi atau perubahan volume yang mendadak. Pada temperatur 650°C senyawa kimianya adalah kalsium oksida dan karbon oksida. Ketika didinginkan, kalsium oksida bereaksi dengan air untuk membentuk kalhidroksida dibawah pemuaian dan keretakan beton. Pada temperatur 400°C pasta semen secara cepat menjadi buruk, secara perlahan ikatan semen-agregat menjadi hilang, kekuatan beton hilang dan beton

tidak dapat dipergunakan untuk keperluan praktis. Batuan alam yang mempunyai kandungan feldspaar tinggi, seperti basalt, andesite, diabase dan agregat buatan yang terbuat dari slag, lempung bakar atau hasil pabrik lainnya adalah material yang cocok untuk beton yang dipakai pada temperatur 300°C (Hansen, 1976).

### **2.6.3 Keretakan beton pada kenaikan temperatur**

Jika struktur partikel agregat, semen pasta ketika dipanaskan memperburuk sifat kimianya, maka beton tidak dapat memberikan layanan sebagaimana mestinya. Tapi jika secara fisik antara pasta semen dan agregat tidak dapat disatukan maka akan menyebabkan kerusakan dan kehancuran pada beton. Tegangan intern pada agregat yang disebabkan perbedaan muai panas bisa menimbulkan keretakan pada pasta semennya.

Pengaruh kenaikan temperatur pada peristiwa kebakaran sangat dan cukup serius pada beton yang tidak terlindung. Telah diketahui bahwa pada temperatur di atas 100°C, pasta semen mengalami susut karena peristiwa dehidrasi, sedangkan butiran agregat mengembang karena meneruskan muai panasnya. Peristiwa ini dapat merupakan penyebab terjadinya keretakan pada beton. Selain itu kemungkinan terjadinya retak pada beton dapat pula disebabkan oleh kombinasi antara kenaikan tegangan dan tekanan uap panas dari dalam pada saat beton dipanasi dengan cepat seperti pada peristiwa kebakaran. Pada saat terjadi kebakaran, kenaikan temperatur sangat besar dan beton yang terbakar akan sulit mengeluarkan uap air dari semen gel yang terkandung di dalamnya, mengingat beton bersifat padat. Hal ini mengakibatkan terjadinya tekanan udara panas di dalam yang akan membentuk

rongga-rongga yang dapat menimbulkan keretakan pada beton.

Permukaan beton biasanya mudah hancur karena bagian ini mengalami kenaikan volume udara yang besar dan berlangsung cepat. Sebagian tegangannya digunakan untuk perlawanan terhadap gerakan panas yang menembus lapis permukaan beton tersebut.

Pada saat terjadinya kenaikan temperatur, gerakan panas pada beton merupakan hal yang sangat sulit diperkirakan. Hal ini tergantung pada sifat pasta semen maupun agregat yang digunakan. Pada kisaran temperatur tertentu, agregat mengembang karena memuai, sedang pasta semen menyusut karena dehidrasi (Hansen, 1976).

#### **2.6.4 Pengaruh temperatur pada kekuatan beton**

Hasil penelitian Neville menunjukkan bahwa kenaikan temperatur cenderung mengakibatkan penurunan kuat tekan beton. Diduga ada sedikit kenaikan kuat tekan pada temperatur 200°C sampai 300°C, tetapi kuat tekan pada temperatur 400°C tidak lebih dari 80% kuat desak normalnya, dan kuat desak pada temperatur 700°C tidak lebih dari 30% kuat tekan normalnya. Reaksi kimia dan reaksi fisika pada beton berlangsung selama pemanasan. Perubahan faktor air semen sedikit pengaruhnya terhadap kuat desak beton pada kenaikan temperatur. Meskipun demikian, penurunan kuat tekan beton pada kenaikan temperatur akan berkurang jika kandungan semen dikurangi (Hansen, 1976).

Perubahan elastis seketika seperti rayapan beton sangat dipengaruhi oleh kenaikan temperatur. Nilai modulus elastis yang merupakan perbandingan antara

tegangan dan regangan beton juga berubah. Penurunan modulus elastisitas ini adalah akibat dari kenaikan temperatur. Pengaruh pemanasan terhadap perubahan modulus elastisitas beton ini juga berlaku pada beton yang dirancang terhadap temperatur tinggi, misalnya adukan beton dengan penambahan puzzolan atau beton dengan semen aluminat. Nilai modulus elastisitas beton turun sekitar 25% dari kondisi normal jika dipanaskan sampai suhu 500°C dan turun 50% jika dipanaskan sampai suhu 800°C. Pengaruh ini harus diperhatikan dalam merencanakan suatu struktur (Hansen, 1976).

#### **2.6.5 Sifat baja pada kenaikan temperatur tinggi**

Daya tahan baja terhadap api dari tulangan yang tidak terlindung diperlemah oleh konduktifitasnya yang tinggi terhadap panas dan oleh kenyataan bahwa kekuatan tulangan akan berkurang banyak pada temperatur yang tinggi (Winter, 1987).

