

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Beton

##### 2.1.1. Pengertian beton

Beton adalah suatu bahan komposit yang terdiri dari campuran semen, air dan agregat. Pasta semen yang masih segar sebagai campuran antara semen dan air berfungsi untuk meyelimuti seluruh permukaan agregat, yang selanjutnya dalam proses pengerasan pasta semen akan menjadi batu semen akan mengikat agregat membentuk suatu kesatuan yang solid.

Beton merupakan material pembentuk struktur bangunan yang mempunyai kemampuan tahan terhadap temperatur tinggi karena beton merupakan material dengan daya hantar panas yang rendah, sehingga dapat menghalangi rembetan panas ke bagian dalam struktur beton tersebut. Di dalam pengaplikasiannya di lapangan, kolom, balok, dan plat merupakan unsur terpenting suatu bangunan yang terbuat dari beton serta direncanakan menurut dimensi dan dibuat dengan bentuk yang berbeda-beda sehingga kuat untuk menopang beban yang menimpa struktur tersebut.

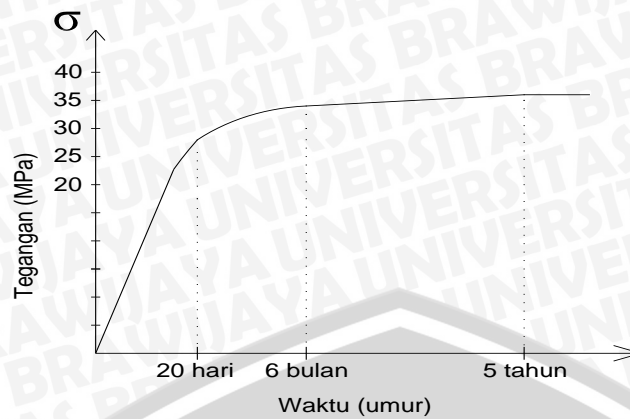
Menurut pengertiannya beton merupakan fungsi dari bahan penyusunnya yang terdiri dari bahan semen hidrolis ( portland cement ), agregat kasar, agregat halus, air, dan bahan tambah ( admixture atau additive ) ( Tri Mulyono, 2004:3 ). Bahan tambahan ini diperlukan dengan tujuan tertentu, sehingga bahan tambahan bukan merupakan unsur utama penyusun beton. Atau secara jelasnya, beton didapat dari pencampuran bahan-bahan agregat halus dan agregat kasar yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya, dengan menambahkan secukupnya bahan perekat semen , dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan pengawetan beton berlangsung ( Dipohusodo, 1999:1 ).

Hal penting diketahui dari hasil percobaan kuat tekan beton pada suhu pemanasan 200 °C bukan terjadi penurunan kekuatan tekan,namun justru terjadi penguatan akibat dari fenomena perawatan yang dipercepat (*accelerated curing*). (Dr.ir.Amir Partowiyatmo, 2003:139)

Hansen (1976) menyebutkan terdapat sedikit peningkatan kuat tekan beton bila dipanaskan pada temperatur 200-300°C, tetapi akan lebih dari 80% dari kuat tekan awal bila dipanaskan pada temperatur 400 °C, dan 30% pada temperatur 700 °C.

Penelitian yang dilakukan Dr.Ir. Amir Partowiyatmo melahirkan sebuah alternatif cara memperbaiki beton yang rusak karena terbakar, yaitu dengan menyiram dengan air. Treatment penyiraman air pada proses recovery kekuatan beton terbakar bertujuan agar air dapat meresap ke dalam beton dan bereaksi dengan senyawa C<sub>2</sub>S dan C<sub>3</sub>S pada butiran – butiran semen yang belum bereaksi maupun senyawa β C<sub>2</sub>S pada semen akibat beton yang terbakar. Hasil dari reaksi ini adalah CSH dan Ca (OH)<sub>2</sub>. penyiraman dilakukan hingga kondisi beton jenuh. ”terdapat beberapa metode penyiraman, pertama menggunakan kain goni yang direndam air, kemudian dibalutkan pada beton kolom, kedua menggunakan selang berlubang-lubang yang dialiri air kemudian dililitkan pada kolom dan ketiga menggunakan sprinkle, ”tentu saja aliran air di kontrol dengan timer sebagai upaya efisiensi. Menurutnya, tingkat recovery kekuatan beton setelah dilakukan treatment penyiraman dengan air mampu mendekati 100% dari kekuatan awal beton sebelum terbakar. Terdapat dua faktor utama yang sangat berpengaruh terhadap proses recovery kekuatan beton terbakar. Pertama, mutu beton dengan melihat pendinginan air dan semennya (water cement ratio), semakin besar W/C berarti jumlah semen yang belum selesai bereaksi semakin banyak, tingkat recovery betonnya pun semakin tinggi dan cepat. Kedua, lamanya beton terbakar. Semakin lama beton terbakar berarti panas yang diterima beton pun semakin tinggi, akibatnya proses treatment yang harus dilakukan semakin lama dan tingkat recovery beton justru tidak terlalu tinggi.

Nilai kuat tekan beton beragam sesuai dengan umurnya dan biasanya nilai kuat tekan beton ditentukan pada waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran. Bentuk kurva kuat tekan beton versus waktu untuk umur beton tertentu tampak seperti gambar 2.1. Umumnya pada umur 7 hari kuat tekan beton mencapai 70% dan pada umur 14 hari mencapai 85% - 90% dari kuat tekan beton pada umur 28 hari.



**Gambar 2.1** Diagram Hubungan Umur Beton dengan Kuat Tekan Beton

### 2.1.2 Mutu Beton

Mutu beton dapat dilihat dari kekuatannya dalam menahan beban. Apakah beton tersebut sudah sesuai dengan mutu yang diharapkan atau belum. Sehingga perlu diketahui bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton yang di jelaskan oleh Edward. G. Nawy antara lain

- Kualitas semen
- Proporsi semen yang berkaitan dengan air dalam campuran
- Kekuatan dan kebersihan agregat
- Interaksi atau lekatan antara pasta semen dan agregat
- Pencampuran yang memadai dari bahan - bahan penyusun
- Penempatan, penyelesaian, dan pemadatan beton segar yang sesuai
- Perawatan
- Kadar klorida tidak melebihi 0.15% untuk beton bertulang yang terbuka terhadap klorida pada saat layan dan 0.5 – 1 % untuk beton yang terlindung kering.

### 2.1.3 Semen

Semen *Portland* terbuat dari mineral – mineral berkrystal diserbukan secara harus yang tersusun dari kalsium dan dan aluminium silikat jelaskan oleh Edward. G. Nawy, Berikut adalah beberapa jenis-jenis tipe semen

- Semen tipe I = semen tipe normal untuk semua penggunaan
- Semen tipe II = semen modifikasi dengan panas hidrasi sedang
- Semen tipe III = semen dengan kekuatan awal tinggi dalam 3 hari
- Semen tipe IV = semen dengan panas hidrasi rendah
- Semen tipe V = semen yang memiliki ketahanan terhadap sulfat

### 2.1.4 Agregat

Agregat merupakan bagian beton yang menentukan besarnya produk akhir. Umumnya sebanyak 60-80% dari volume beton yang di gradasikan sedemikian rupa agar beton dapat bekerja sebagai suatu benda padat dan homogen. Agregat terdiri dari 2 macam jelaskan oleh Edward. G. Nawy yaitu

- Agregat kasar: merupakan kerikil, batu pecah yang ukuran partikel terkecil lebih besar dari  $\frac{1}{4}$  inci ( 6 mm).
- Agregat halus: merupakan pasir yang ukurannya berkisar dari no.4 sampai no 100 (4.7 mm sampai 150  $\mu\text{m}$ )

### 2.1.5 Faktor Air Semen

Air sangat berperan dalam merubah semen menjadi pasta. Sehingga perlunya penentuan faktor air semen agar dapat menentukan kekuatan dari beton. Jika air terlalu banyak akan dapat mengakibatkan terjadinya banyak pori di dalam beton karena air yang terdapat pada beton yang sudah mengeras akan mengalami penguapan sehingga terbentuklah pori (Paul Nugraha dan Antoni)

Selain itu faktor air semen juga merupakan penentu kekuatan kuat tekan beton. Semakin kecil faktor air semen maka akan semakin besar kuat tekan betonnya. Sehingga perlunya dilakukan penentuan vaktor air semen yang tepat agar didapatkan mutu beton yang di targetkan

Hubungan antara faktor air semen dengan kuat tekan beton secara umum dijelaskan oleh Duff Abrams (1919) sebagai berikut bahwa semakin rendah faktor air semen maka akan semakin tinggi kuat desak beton. Namun rumus ini hanya berlaku sampai batas terendah nilai faktor air semen, sepanjang aduk beton masih dapat dipadatkan dengan baik.

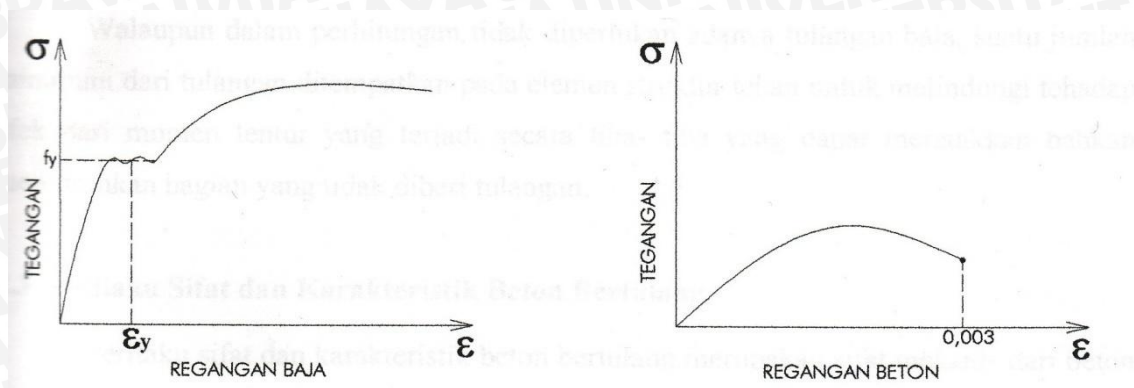
Pada penggunaan konstruksi – konstruksi tertentu maka nilai faktor air semen maksimum yang dapat diperbolehkan dan jumlah semen minimum sudah ditentukan dalam PBI 1971

## 2.2 Beton Bertulang

### 2.2.1 Pengertian Beton Bertulang

Beton bertulang adalah suatu bahan bangunan yang kuat, tahan lama, dan dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran, yang merupakan kombinasi dari beton dan tulangan baja. 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. Adanya tulangan ini sering kali digunakan untuk memperkuat daerah tekan pada penampang balok. Tulangan baja tersebut perlu untuk beban-beban berat dalam hal untuk mengurangi lendutan jangka panjang.



**Gambar 2.2** Kurva Tegangan – Regangan Antara Baja Tulangan dan Beton

Beberapa sifat sangat berbeda dari kedua bahan tersebut adalah sebagai berikut:

**Tabel 2.1** Perbandingan Sifat Antara Beton dan Baja

Kriteria Bahan	Beton	Baja
Kekuatan tarik	Jelek	Bagus
Kekuatan tekan	Bagus	Bagus, tetapi batang yang langsing akan menekuk
Kekuatan geser	Cukup	Bagus
Keawetan	Bagus	Berkarat bila tidak terlindung
Ketahanan akan kebakaran	Bagus (mengalami kehilangan kekuatan pada suhu sangat tinggi)	Jelek (mengalami kehilangan kekuatan secara cepat pada suhu tinggi)

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan. Dengan demikian apabila keduanya dikombinasikan, baja akan dapat menyediakan kekuatan tarik dan barangkali sebagian kekuatan geser, sedangkan beton

berfungsi untuk memikul tegangan tekan sekaligus melindungi baja supaya awet dan tahan akan kebakaran. Kombinasi beton dan tulangan baja akan menghasilkan aksi komposit, yang berarti beton dapat melekat dengan baik mengelilingi tulangan baja. Apabila pelekatan ini tidak mencukupi, tulangan baja akan tergelincir di dalam beton.

Kekuatan tarik beton besarnya kira-kira 10% dari kekuatan tekan. Oleh karena itu hampir semua konstruksi beton bertulang direncanakan dengan anggapan bahwa beton sama sekali tidak memikul gaya tarik. Tulangan bajalah yang direncanakan memikul gaya tarik tersebut, yang dipindahkan oleh pelekatan diantara bidang singgung kedua bahan tersebut.

Baja tulangan untuk beton terdiri dari batang, kawat, dan jaring kawat baja las yang seluruhnya dirakit saesuai dengan 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
- Ukuran atau diameter batang atau kawat

Walaupun dalam perhitungan tidak diperlukan adanya tulangan baja, 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.

### **2.2.2 Perilaku Sifat dan Karakteristik Beton Bertulang**

Perilaku sifat dan karakteristik beton bertulang merupakan sifat mekanis dari beton yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

#### **1. Kekuatan Tekan ( $f'_c$ )**

Kuat tekan beton diawali oleh tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dengan satuan  $N/m^2$  atau Mpa. Sebelum dibelakukannya sisitem satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan  $kg/cm^2$ . Kekuatan tekan beton tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta lama dan kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton ( $f'_c$ ) ditentukan dengan silinder standar (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dirawat di bawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu, pada umur 28 hari. Kuat tekan beton berkisar antara  $\pm 10 - 65$  Mpa. Untuk struktur beton bertulang pada

umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17 – 30 Mpa. Kekuatan beton pada struktur aktual dapat saja tidak sama dengan kekuatan silinder karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan.

## 2. Kekuatan Tarik ( $f'_{ct}$ )

Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik beton normal adalah :

- 9% - 15%  $f'_{c}$  (Istimawan Diphohusodo, 1999)
- 10% - 20%  $f'_{c}$  (Edward G. Nawy, 1990)
- 10%  $f'_{c}$  (W.H.Mosley, 1989)

Kekuatan tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, adalah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur beton polos (tanpa tulangan), sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik beton juga ditentukan melalui *pengujian split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya.

## 3. Kekuatan Geser

Kekuatan geser lebih sulit diperoleh secara eksperimental dibandingkan dengan percobaan – percobaan kuat tekan dan tarik, karena sulitnya mengisolasi geser dari tegangan – tegangan yang lainnya. Banyak variasi kekuatan geser yang dituliskan dalam berbagai literatur, mulai 20% dari kekuatan tekan pada pembebanan normal sampai sebesar 85% dari kekuatan tekan, pada kombinasi geser langsung dan tekan. Desain struktural yang ditentukan oleh kekuatan geser seringkali diabaikan karena tegangan besar biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah betonnya mengalami kegagalan tarik diagonal.

## 4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas statis adalah kemiringan suatu garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar 0,4  $f'_{c}$ ). Harga ini pada perhitungan desain disebut *modulus elastisitas*, modulus ini memenuhi asumsi praktik bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan

pada dasarnya dapat dianggap elastis. Terdapat sejumlah pilihan definisi, tetapi yang paling umum dipakai adalah  $E = E_c$ ,  $E_c$  dikenal sebagai *modulus elastisitas sekan* atau *modulus elastisitas static*.

Penting untuk menentukan secara tepat besarnya harga yang akan diambil sebagai modulus elastisitas.

$$E = \frac{\text{Tegangan } (\sigma)}{\text{Regangan } (\varepsilon)}$$

Modulus elastisitas selain dipengaruhi oleh beban, dipengaruhi juga oleh faktor – faktor lain seperti kelembaban, faktor air semen, umur beton dan temperatur. Harga modulus elastisitas diperlukan untuk peninjauan lentur dan retak dari konstruksi. Harga ini mempengaruhi kekuatan dan mutu beton.

### 2.2.3 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. Karena kandungan agregat untuk beton struktural sering kali berisi agregat kasar berukuran 0,75 in (diameter 19 mm), maka diperlukan adanya jarak tulangan minimal dan selimut beton minimal yang diperbolehkan. Ini juga berfungsi 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:

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

Selimut beton adalah merupakan penutup dari beton yang digunakan untuk melindungi tulangan dari pengaruh luar. Seperti halnya pengaruh cuaca, udara, dan air. Umumnya tebal selimut beton yang ada ditentukan di dalam standar **SNI 03-2847-2002** Untuk beton bertulang, tebal selimut beton minimum yang harus disediakan untuk tulangan harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:



**Tabel 2.2.** Tebal Selimut Beton (SNI 03-287-2002)

a) Beton yang dicor langsung diatas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75 mm
b) beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca	50 mm
batang D-19 hingga D-56	40 mm
batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	
c) beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton yang tidak langsung berhubungan dengan tanah:	40 mm
<u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u>	20 mm
Batang D-44 dan D56	40 mm
Batang D-36 dan yang lebih kecil	
<u>Balok, kolom:</u>	20 mm
Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral	15 mm
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u>	
Batang D19 dan yang lebih besar	
Batang D16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	

Diambil dari SNI 03-287-2002 pasal 9.7

Untuk beton pracetak (dibuat dengan mengikuti proses pengawasan pabrik), tebal minimum selimut beton barikut harus disediakan untuk tulangan:

**Tabel 2.3** Tebal Selimut Beton (SNI 03-2847-2002)

a) beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca:	
<u>Panel dinding:</u>	
Batang D-44 dan batang D-56	40 mm
Batang D-36 dan batang yang lebih kecil	20 mm

Diambil dari SNI 03-287-2002 pasal 9.7

Untuk beton pracetak (dibuat dengan mengikuti proses pengawasan pabrik), tebal selimut yang lebih kecil mencerminkan kemudahan yang lebih besar didalam pengendalian pemproporsian, pengecoran dan perawatan bawaan pada proses pracetak. istilah “dibuat dengan mengikuti proses pengawasan pabrik” tidak dengan spesifik menyatakan bahwa komponen struktur pracetak harus dibuat di dalam pabrik. Elemen struktur yang dipracetak di tempat kerja juga akan memenuhi menurut pasal ini jika pengawasan dimensi cetakan, penempatan tulangan, pengawasan kualitas beton, dan prosedur perawatan sama dengan yang normalnya diterapkan di dalam pabrik.

### 2.3. Pengaruh Temperatur Pada Beton

Neville (1975), mengemukakan bahwa ada tiga sifat yang mempengaruhi beton bila dipanasi yaitu : koefisien muai panas, panas jenis dan daya hantar panas. Hasil penelitian juga menunjukkan adanya penurunan kuat tekan beton jika terjadi kenaikan temperatur pada beton dengan agregat batu kapur dan batu silika. Diduga untuk temperatur di atas  $400^{\circ}\text{C}$  kuat tekan beton hanya turun hingga tinggal 90% dari kuat tekan pada suhu ruang dan maksimum tinggal 40% apabila pembakaran mencapai temperatur diatas  $600^{\circ}\text{C}$ . Juga menurut Neville (1975) adanya tiga sifat yang mempengaruhi perilaku beton dalam jangka panjang dengan berbagai kondisi yaitu daya hantar panas yang merupakan rasio dari perubahan panas terhadap temperatur. Tingkat konduktivitas air kurang dari setengah tingkat konduktivitas pasta semen, sehingga semakin berkurang kandungan air dalam beton semakin tinggi tingkat konduktivitas beton dan kuat tekan beton bertambah. Penyebaran panas (thermal diffusivity) yang merupakan luasan perubahan temperatur yang dapat terjadi pada suatu benda untuk menentuka hubungan antara waktu perbedaan temperatur antara bagian dalam dan permukaan benda uji. Kalor panas (specific heat) yang dinyatakan sebagai kapasitas panas beton bertambah sejalan dengan bertambahnya kandungan air pada beton.

Addleson (1976), menyatakan bahwa pada temperatur yang tidak melebihi  $250^{\circ}\text{C}$ , kerusakan yang ditimbulkan pada struktur beton umumnya hampir tidak berarti.

Riley, 1991 (dalam Gani 1997), menyatakan bahwa pada temperatur  $300-500^{\circ}\text{C}$  retak yang terjadi adalah didalam pasta semen (mortar) dan sekitar partikel agregat, sedangkan di bawah temperatur  $300^{\circ}\text{C}$  *crack* terbatas disekitar partikel agregat.

ITB (1998), laporan akhir pengujian bahan bangunan pasca bakar : kerusakan elemen struktur beton akibat kebakaran akan berakibat fatal apabila terjadi pengelupasan selimut beton (*spalling*). Beton yang mengalami peningkatan temperatur selama pemanasan, air yang tekndung dalam pori-pori dan kapiler beton akan menguat.

Pada 100°C sebagian air dan kalsium silikat (CaSi) sebagai desikasi yang terhidrasi dalam pasta semen akan menghilang, diikuti dengan berkurangnya kekuatan. Peningkatan jumlah tekanan uap pada pori-pori beton tersebut akibat terjadinya *explosive spalling*, yaitu sebagian segmen beton terlepas dari permukaan, ini terjadi pada temperatur 300-600°C. Pelepasan secara gradual selanjutnya akan terjadi karena adanya formasi retakan pada beton pada suhu 600°C-900°C beton menjadi sangat lemah dan rapuh (brittle).

### 2.3.1 Perpindahan Panas

Perbedaan temperatur dapat menyebabkan terjadinya perpindahan panas yang terjadi pada suatu. Perpindahannya terjadi dari bagian suhu yang tinggi kebagian suhu yang rendah melalui penghantar zat tersebut. Perpindahan kalor dapat dibagi menjadi 3 cara: konduksi, konveksi, dan radiasi.

Seperti di jelaskan oleh Y. Djoko Setiarto, perpindahan panas yang terjadi pada saat bangunan mengalami kebakaran antara lain adalah konveksi, konduksi, dan radiasi. Dan juga oleh J.P. Holman

Perpindahan kalor secara konduksi adalah perpindahan yang terjadi ketika pada suatu benda terdapat gradien suhu, sehingga akan terjadi perpindahan energi dari suhu tinggi ke bagian bersuhu rendah.

Konduksi adalah perpindahan panas melalui material-material padat. Sebagian panas. yang terjadi pada permukaan bahan bakar (material padat) disalurkan kembali ke bagian bahan bakar yang belum terbakar. Selama kebakaran terjadi, panas dapat dipindahkan melalui balok baja, kawat atau kabel, pipa logam, dinding dan berbagai material lain yang pada saat menghantarkan panas material tersebut belum mengalami kehancuran.

Konveksi adalah perpindahan panas melalui gerakan udara. Sebagian panas yang dihasilkan pada permukaan material, ditransmisikan ke udara dan membentuk gas-gas panas. Karena meningkatnya temperatur, berat jenis gas-gas panas ini berkurang dibandingkan dengan udara sekitarnya. Sehingga gas-gas panas ini, cenderung menyebar dan mencari daerah yang lebih tinggi, disertai pembentukan cendawan api (*fire plume*). Pada perpindahan kalor secara konveksi berhubungan dengan perambatan panas melalui lapisan tipis fluida yang bersinggungan dengan muka perpindahan kalor.

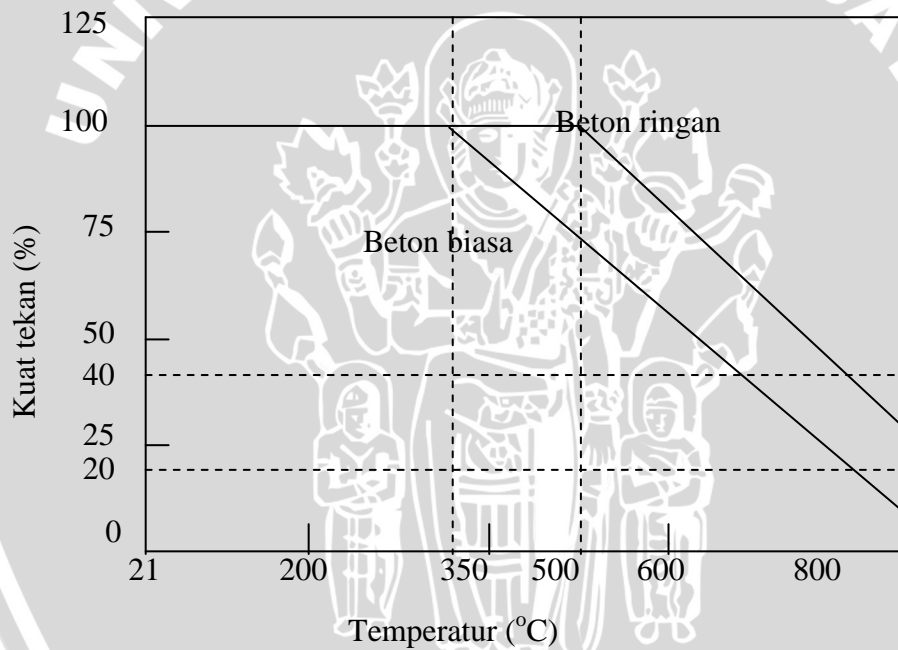
Dan sedangkan Radiasi adalah perpindahan panas melalui gelombang elektromagnetik. Selama kebakaran terjadi, permukaan - permukaan yang panas dapat memancarkan panas, serta menyulut bahan bakar sedapat mungkin dengan jarak yang

jauh. Perpindahan kalor radiasi adalah dimana terjadi perpindahan energi dapat melalui benda hampa, dengan menggunakan sinaran atau radiasi elektromagnetik

Tabel 2.4 Kondisi beton terhadap perubahan suhu

Temperatur	Kondisi yang terjadi
Pada 100°C	Air kapiler menguap
Pada 200 °C	Air yang terserap di dalam agregat mulai menguap. Sehingga penguapan menyebabkan penyusutan pasta
Pada 400 °C	Pasta semen yang sudah terhidrasi terurai kembali sehingga kekuatan beton mulai terganggu

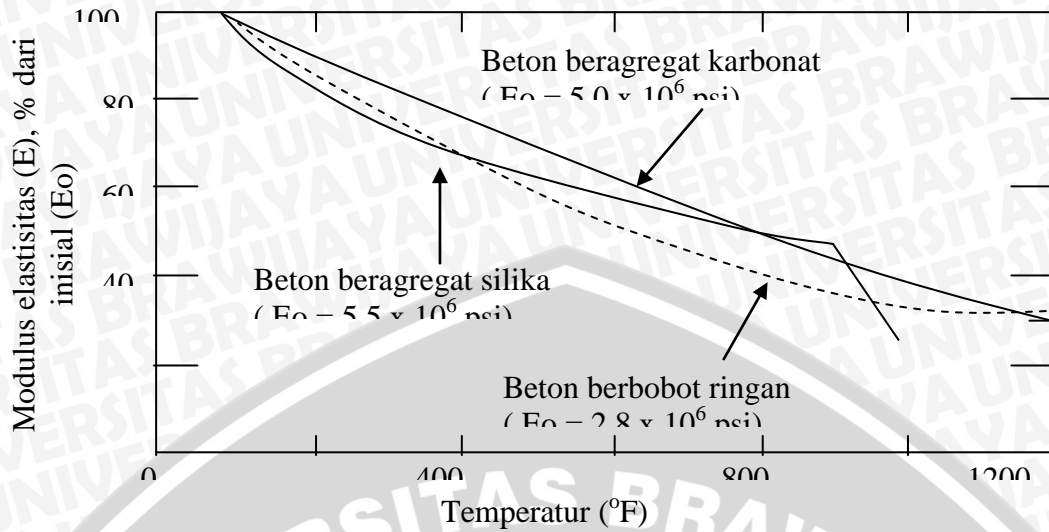
Sumber, Paul Nugraha dan Antoni



Gambar 2.3 Grafik pengaruh temperatur (°C) pada penurunan kuat tekan beton (%)

Sumber, Paul Nugraha dan Antoni

Selain itu modulus elastisitas beton juga dipengaruhi oleh temperatur juga, seperti dijelaskan pada gambar dibawah

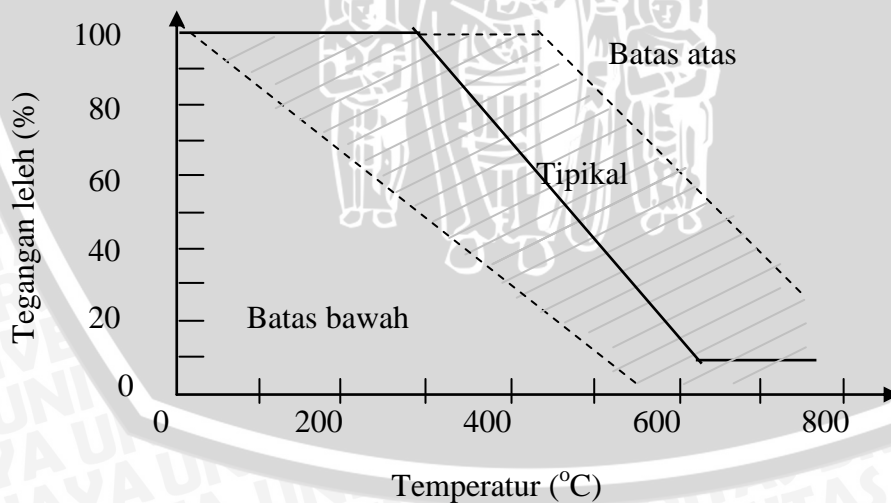


**Gambar 2.4 Grafik pengaruh suhu tinggi terhadap modulus elastisitas beton**

Sumber ASCE

### 2.3.2 Pengaruh Temperatur Pada Baja Tulangan

Paul Nugraha dan Antoni (2007) menjelaskan bahwa temperatur juga akan mempengaruhi kekuatan tulangan baja, karena pada suhu 300 °C baja akan mulai kehilangan 25% dari kekuatannya, pada suhu 500 °C baja akan kehilangan 65% dari kekuatannya, dan pada suhu 675 °C baja akan kehilangan 75% dari kekuatannya. Seperti halnya dijelaskan pada gambar 2.3 berikut



**Gambar 2.5 Grafik pengaruh kenaikan temperatur terhadap penurunan tegangan leleh baja tulangan**

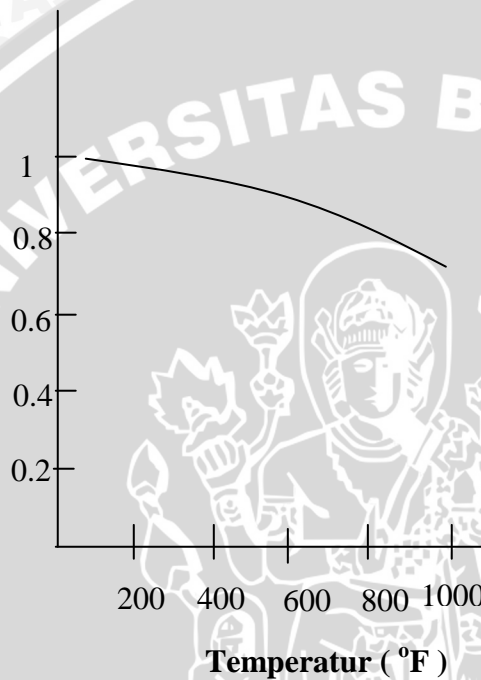
Sumber, Paul Nugraha dan Antoni

Dijelaskan pula oleh Agus Setiawan berdasar pada Salmon dan Johnson, Pada temperatur 93 kurva tegangan –regangan akan berubah menjadi tidak linear lagi, dan

secara bersamaan titik leleh tidak tampak jelas. Modulus elastisitas, regangan leleh dan tegangan tarik semuanya tereduksi seiring dengan naiknya temperatur material.

Selain itu terhadap modulus elastisitasnya, akibat dari temperatur akan tereduksi secara cepat pada temperatur di atas 540 °C. Pada baja BJ-37 ketika mencapai temperatur 260 – 320 °C akan mengalami deformasi seiring dengan penambahan waktu dibawah beban yang dikerjakan. Fenomena ini merupakan rangkai terhadap material baja.

Rasio Modulus Elastisitas pada temperatur tinggi terhadap Modulus Elastisitas pada temperatur ruangan



**Gambar 2.6 Grafik rasio modulus elastisitas pada temperatur tinggi terhadap modulus elastisitas temperatur ruang**

Sumber, Salmon dan Johnson

### 2.3.3 Tingkat Angka Kemanan Kebakaran

Umumnya pada bangunan – bangunan di berikan angka tingkat keamanan terhadap kebakaran sehingga menunjukkan seberapa bagus tingkat keselamatan gedung tersebut ketika terjadi kebakaran.

Angka kemanan tersebut ditunjukkan dalam jam. Yaitu seberapa lama bangunan tersebut tahan terhadap kebakaran sebelum mengalami keruntuhan struktur.

Umumnya pada bangunan dengan High risk building sesuai dengan standard IBC 2006 ( International Building Code) memerlukan minimum 2 jam ketahanan terhadap api kebakaran. Sedangkan pada bangunan biasa memerlukan minimum 1 jam.

Berikut ini adalah beberapa tebal minimum sstruktur pada bangunan yang diperlukan dalam menentukan angka kemanan terhadap kebakaran yang sesuai dengan ACI 216.1

Tabel 2.5 Tebal minimum pelat lantai dan pelat atap serta dimensi minimum kolom sesuai dengan standard keamanan terhadap kebakaran

Pelat lantai dan pelat atap	Tingkat ketahanan api					
	1 jam	1.5 jam	2 jam	3 jam	4 jam	
Tipe beton						
Beton beragregat silika	3,5"	4,3"	5"	6,2"	7"	
Beton beragregat karbonat	3,2"	4"	4,6"	5,7"	6,6"	
Beton berbobot ringan dan berpasir	2,7"	3,3"	3,8"	4,6"	5,4"	
Beton berbobot ringan	2,5"	3,1"	3,6"	4,4"	5,1"	
kolom		Tingkat ketahanan api				
Tipe beton	1 jam	1.5 jam	2 jam	3 jam	4 jam	
Beton beragregat silika	8	9	10	12	14	
Beton beragregat karbonat	8	9	10	11	12	
Beton berbobot ringan dan berpasir	8	8.5	9	10.5	12	

Sumber ACI 216.1

Selain itu juga terdapat tebal minimum selimut beton pada bangunan yang diperlukan dalam menentukan angka kemanan terhadap kebakaran yang sesuai dengan ACI 216.1

Tabel 2.6 Tebal minimum selimut beton pada balok

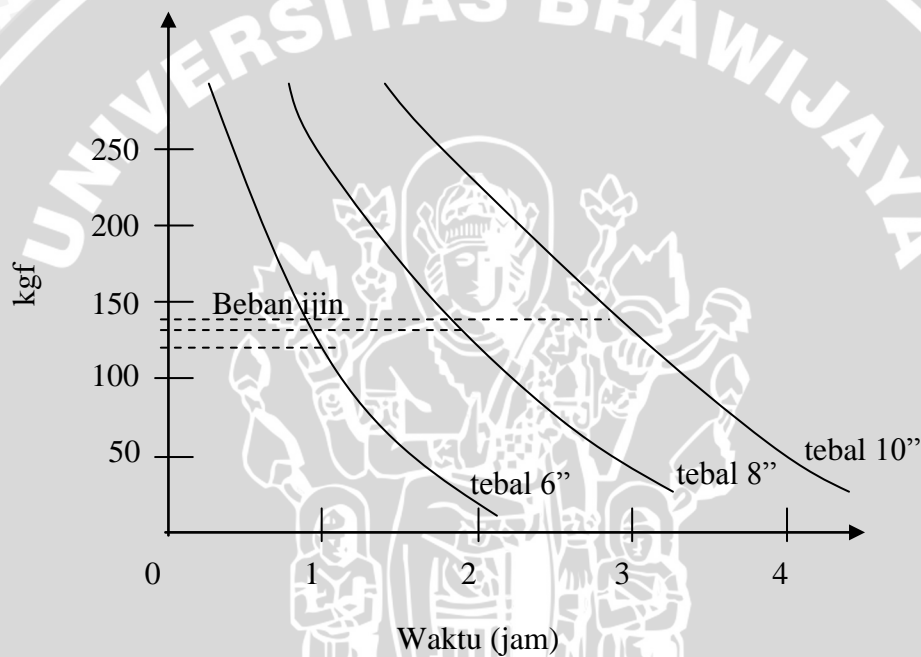
Jenis balok	Lebar balok (inch)	Tingkat ketahanan api				
		1 jam	1,5 jam	2 jam	3 jam	4 jam
Prategang	5	0,75	0,75	0,75	1	1,25
	7	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
	≥10	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Non-prategang	5	0,75	1	1,25	-	
	7	0,75	0,75	0,75	0,75	3
	≥10	0,75	0,75	0,75	1	1,75

Sumber ACI 216.1

Jadi dari ketentuan diatas menjelaskan mengenai persyaratan tebal minimum struktur ( baik plat, kolom,dan balok ) maupun ketentuan tebal selimut beton minimum yang diperlukan agar dapat mencapai ketahanan dalam kebakaran sesuai dengan ACI 216.1

### 2.3.4 Pengaruh Ketebalan Struktur Terhadap Perubahan Temperatur

Dijelaskan oleh David E. Allen dan Tiam T. Lie (1977), mengenai pengaruh ketebalan terhadap ketahanan menahan beban, yang dilakukan dengan pembakaran. Menjelaskan bahwa ketebalan struktur dapat lebih memberikan ketahanan lebih terhadap ketahanan kebakaran. Sehingga dapat menahan beban lebih lama



**Gambar 2.7 Grafik pengaruh ketebalan terhadap beban pada dinding yang di bakar pada kedua sisinya**

Sumber David E. Allen dan Tiam T. Lie

### 2.3.5. Ketahanan dan Kekuatan Beton Akibat Temperatur Tinggi

Umumnya beton pada temperatur 100°C akan mengalami penguapan pada air-air kapilernya. Kemudian pada suhu 200°C air yang terserap di dalam agregat mulai menguap. Hal ini dapat menyebabkan penyusutan pasta. Pada 400°C maka pasta semen yang sudah terhidrasi terurai kembali sehingga kekuatan beton mulai terganggu (Paul Nugraha & Antoni, teknologi Beton hal 220)



Pada struktur yang mengalami kebakaran, kekuatan beton akan dipengaruhi oleh perubahan temperatur, tingkat dan lamanya pemanasan, jenis dan perilaku pembebanan, jenis dan ukuran agregat, dan faktor air semen ( Abdul Rohman, 2006:95 ). Tetapi jika beton mengalami temperatur tinggi dalam waktu yang singkat, tidak membuat kekuatan beton menurun drastis. Begitu juga dengan adanya suhu yang tidak terlalu tinggi tetapi dalam waktu yang lama.

Pada saat suhu pembakaran, keadaan panas yang diterima beton di permukaan berbeda dengan suhu yang ada di tengah suatu beton. Sehingga terkadang tingkat kerusakan beton hanya terjadi di permukaan saja yang ditandai dengan retak rambut. Dalam penelitian ini, suhu beton akan diatur secara homogen sehingga didapat suhu yang rata untuk setiap bagian beton. Beton akan mengalami proses pemanasan dan pendinginan secara bergantian. Panas yang dialami beton akan diterima langsung oleh permukaan beton pada semua sisinya, sedangkan suhu di dalam beton ( tengah ) masih dingin. Hal ini akan menyebabkan kerusakan pada beton.

Beton yang terkena suhu pembakaran / beton yang terbakar, sebenarnya pada suhu 200°C biasanya struktur beton belum akan terpengaruh, meskipun secara teoretis pada suhu 100°C air yang terkandung dalam pori sudah menguap. Tetapi berhubung air tersebut terjebak di antara pori, maka air tersebut baru akan habis menguap pada suhu 200°C. Pada suhu antara 200°C - 600°C air dalam pori sudah menguap seluruhnya dan meninggalkan pori-pori kosong yang akan mengurangi kuat tekan beton. Meskipun demikian penurunan kuat tekan beton pada fase ini relatif sangat kecil sehingga dapat diabaikan. Selama pemanasan akan terjadi penguapan air yang terdapat pada pori-pori sehingga tekanan uap pada pori beton akan meningkat dan mengakibatkan terjadi *explosive spalling* yang menyebabkan sebagian segmen beton terlepas dari permukaan beton. Sedangkan pada suhu 700°C - 900°C akan terjadi proses kalsinasi, yaitu  $\text{CaCO}_3$  akan berubah menjadi  $\text{CaO}$  dan  $\text{CO}_2$  yang akan mengakibatkan *crack* pada beton sehingga kuat tekannya akan menurun secara signifikan ( Sudarmoko, 2000:1 ).

Pada beton yang belum berumur 28 hari, dimana proses hidrasi panas belum selesai, temperatur tinggi yang mengenai suatu beton tersebut akan menjadikan kuat tekannya tinggi. Hal ini dikarenakan mempercepat proses hidrasi panas tersebut.

### **2.3.6. Kerusakan pada beton akibat temperatur tinggi**

Kerusakan beton dapat disebabkan oleh perbedaan angka mulai antara agregat dan pasta semen. Perbedaan ini menyebabkan kerusakan pada interfacial zone sehingga

lekatan antar batuan menjadi berkurang banyak. Namun yang paling nyata kerusakan beton mengelupas disebabkan oleh tekanan uap air (5-7%) atau gas yang terperangkap di dalam beton yang dikenal dengan teori *moisture clog spalling*. Beton yang semakin rapat (hal ini berarti mutu beton tinggi dengan nilai faktor air semen yang rendah) akan semakin mudah terjadi pengelupasan oleh panas, karena uap air tidak mudah mengalir melalui pori ke dalam daerah yang lebih dingin (letaknya lebih dalam). Oleh peningkatan temperatur yang cepat diikuti oleh hambatan aliran air di sebelah dalam akan berpotensi timbulnya suatu ledakan (Priyosulistyo,2000:4).

Akibat terjadinya kebakaran pada suatu struktur bangunan, mengakibatkan adanya kerusakan-kerusakan pada beton. Kerusakan-kerusakan tersebut antara lain :

1. Keretakan ( cracking )

Sedangkan jenis kerusakan yang sering terjadi pada struktur beton akibat kebakaran antara lain :

- a. Retak Ringan, yakni pecah pada bagian luar beton yang berupa garis-garis yang sempit dan tidak terlalu panjang dengan pola menyebar. Retak ini disebabkan oleh proses penyusutan beton pada saat terjadi kebakaran.
- b. Retak berat, yakni ukuran retak lebih dalam dan lebar, terjadi secara tunggal atau kelompok ( Triwiyono, 2000:2 ).

2. Spalling ( pengelupasan )

Spalling dapat diartikan tertekan dengan penampakan bagian permukaan beton yang keluar/lepas/terpisah.

- a. Beton keropos dan kualitas beton buruk
- b. Suhu tinggi akibat kebakaran ( Munaf & siahaan, 2003:14 )

3. Voids

Lubang-lubang yang cukup dalam atau keropos yang biasanya disebabkan oleh pemadatan saat pelaksanaan yang kurang baik dimana mortar tidak dapat mengisi rongga-rongga antar agregat.

#### 2.4. Retak Susut dan Retak Akibat Perubahan Suhu

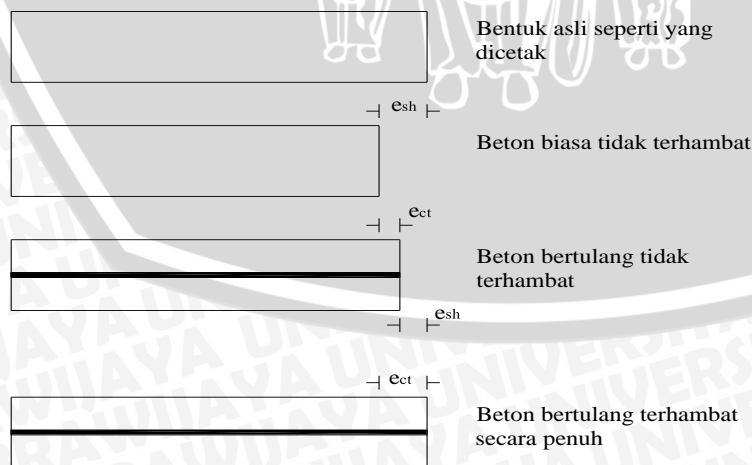
Pada saat beton mengeras, terjadi pengurangan volume (susut) yang kemungkinan besar menyebabkan retak pada beton, tetapi juga memiliki pengaruh yang menguntungkan sebagai penguat pelekatan antara beton dan tulangan baja. Susut mulai terjadi segera setelah beton diaduk, disebabkan pertama-tama karena penyerapan air oleh beton dan agregat. Susut selanjutnya disebabkan oleh penguapan air yang naik ke

permukaan beton. Selama proses pembentukan, hidrasi semen menimbulkan sejumlah besar panas dan dengan mendinginya beton, susut lebih lanjut terjadi akibat penurunan panas. Bahkan berbulan-bulan, dan setiap pembasahan dan pengeringan berikutnya dapat menyebabkan muai dan susut. Susut akibat perubahan suhu dapat dikurangi dengan pembatasan suhu selama hidrasi, yang dapat dilakukan dengan prosedur berikut

1. Mempergunakan sustu rencana adukan dengan kadar semen rendah;
2. Menghindarkan pemanasan cepat dan penggunaan semen halus, bila memungkinkan;
3. Menjaga agar agregat dan air pengaduk tetap dingin;
4. Mempergunakan acuan baja dan mendinginkanya dengan siraman air;
5. Membongkar acuan waktu dini untuk memungkinkan panas hidrasi dilepaskan keluar.

Suatu rasio air-semen yang rendah akan membantu mengurangi susut akibat pengeringan dengan menjaga volume air yang dapat hilang pada suatu batas minimum.

Apabila perubahan volume beton dapat berlangsung secara bebas tanpa hambatan, maka tidak akan terjadi perubahan tegangan didalam beton. Hambatan terhadap terjadinya susut, sebaliknya akan menimbulkan tegangan dan regangan tarik. Tegangan susut yang disebabkan oleh tulangan di dalam suatu bagian konstruksi yang diperlihatkan dalam gambar 2.2 mempunyai ragangan susut bebas  $\epsilon_{sh}$  bila terbuat dari beton biasa, akan tetapi perubahan menyeluruh ini berkurang dengan adanya tulangan, yang memberikan regangan tekan  $\epsilon_{sc}$  di dalam baja dan menyebabkan suatu regangan tarik efektif  $\epsilon_{ct}$  di dalam beton.

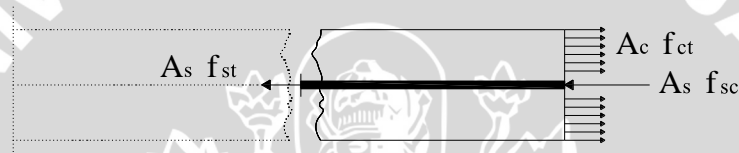


**Gambar 2.8. Regangan Susut**

Sumber : W.H.Mosley dan J.H.Bungey, 1989:7

Kalau bagian konstruksi terhambat penuh, maka baja tidak dapat berada dalam tekanan karena  $\varepsilon_{sc} = 0$  dan karena itu  $f_{sc} = 0$ . Dalam hal ini regangan tarik yang timbul didalam beton,  $\varepsilon_{ct}$ , harus sama dengan regangan susut bebas  $\varepsilon_{sh}$  dan tegangan yang timbul mungkin akan cukup tinggi untuk menyebabkan retak pada beton yang belum cukup umur. Di mana  $f_{ct}$  adalah tegangan tarik didalam beton dengan luas  $A_c$  dan  $f_{sc}$  adalah tegangan tekan di dalam baja dengan luas  $A_s$ .

Pada waktu retak terjadi panjang beton yang tidak retak cenderung untuk mengerat sehingga baja yang dibungkusnya berada dalam keadaan tekan, sedangkan baja di daerah retakan berada dalam keadaan tarik. Keadaan ini disertai dengan pecahnya perlekatan lokal di dekat setiap retakan. Keseimbangan antara beton dan baja tulangan diperlihatkan dalam gambar 2.3 dan perhitungan dapat dikembangkan untuk menghubungkan lebar dan jarak retan.



**Gambar 2.9. Gaya Susut di Dekat Sebuah Retakan**

Sumber : W.H.Mosley dan J.H.Bungey, 1989:9

Dari hari ke hari muai beton akibat panas dapat menjadi lebih besar dari pada perubahan yang disebabkan oleh susut. Tegangan dan regangan akibat panas dapat dikontrol dengan menempatkan siar gerak atau siar muai (*movement or expansion joints*) dengan posisi yang betul pada suatu konstruksi.

Apabila tegangan tarik yang disebabkan oleh susut dan perubahan suhu melampaui kekuatan beton, akan terjadi retakan. Untuk mengontrol lebar retak, tulangan baja harus ditempatkan dekat dengan permukaan beton; untuk maksud ini pedoman-pedoman praktek menentukan jumlah minimum tulangan di dalam suatu bagian konstruksi.

Berhubung koefisien muai panas dari baja dan beton ( $\alpha_s$  dan  $\alpha_c$ ) hampir sama besarnya perbedaan perubahan antara baja dan beton akan kacil sekali dan mungkin tidak akan menimbulkan retakan

Seluruh konstruksi beton akibat panas bagaimanapun seringkali efektif dalam menghasilkan retak pertama dalam bagian-konstruksi yang terhambat. Berhubung perubahan suhu yang diperlukan dapat terjadi dengan mudah dalam semalam pada bagian yang baru dicetak, meskipun sudah dalam pengawasan yang baik terhadap panas yang ditimbulkan selama proses hidrasi (W.H.Mosley dan J.H.Bungey, 1989:6).

## 2.5 Rangkak (Creep)

Rangkak adalah deformasi kontinu dari suatu bagian konstruksi selama waktu memikul beban. Perilaku yang tepat dari suatu beton tertentu tergantung pada agregat dan rencana adukan, tetapi pola umumnya diilustrasikan dengan meninjau suatu bagian konstruksi yang mengalami tekanan aksial. Karakteristik rangkak adalah :

1. Deformasi akhir dari bagian-konstruksi dapat menjadi tiga atau empat kali dari deformasi elastik jangka pendek.
2. Secara kasar, deformasi ini sebanding dengan intensitas pembebanan dan berbanding terbalik dengan kekuatan beton.
3. Apabila beban diiadakan, hanya deformasi elastik seketika yang akan pulih deformasi plastik tidak.
4. Terdapat redistribusi beban diantara beton dan baja yang ada.

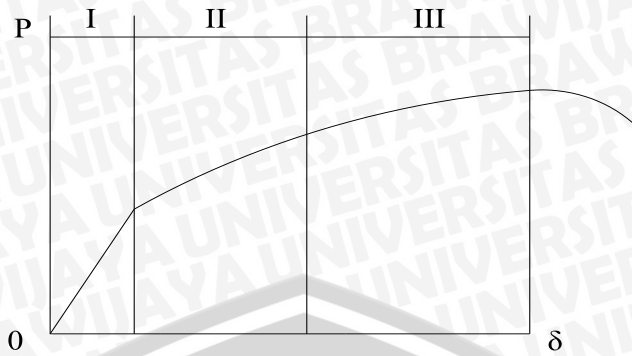
Redistribusi beban ini disebabkan oleh perubahan regangan tekan yang dipindahkan kepada baja tulangan. Jadi tegangan tekan di dalam baja meningkat sehingga baja mengambil bagian beban yang lebih besar.

Pengaruh rangkak terutama penting didalam balok-balok, dimana bertambahnya lendutan mungkin menyebabkan menganganya retakan, merusak lapis penyelesaian dan penempatan tidak segaris dari peralatan mekanis. Redistribusi tegangan diantara beton dan baja mula-mula terjadi dalam daerah tekan yang tidak retak dan mempunyai pengaruh kecil terhadap tulangan tarik selain daripada menurunkan tegangan susut dalam beberapa keadaan. Penyediaan tulangan didaerah tekan dari bagian yang melentur, bagaimanapun seringkali membantu menahan lendutan akibat rangkak (W.H.Mosley dan J.H.Bungey, 1989:10).

## 2.6. Perilaku Keruntuhan Balok

Perilaku balok yang dibebani hingga runtuh dinyatakan dengan kurva hubungan antara beban dengan lendutan.

- Daerah I = tahap praretak
- Daerah II = tahap pasca retak
- Daerah III = tahap retak pasca kemampuan layan, dimana tegangan dalam tulangan tarik telah mencapai keadaan batas leleh.



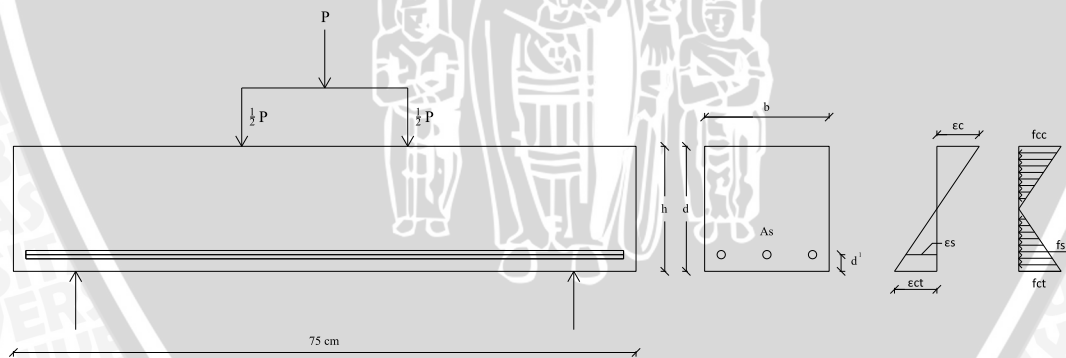
**Gambar 2.10. Grafik Hubungan Beban (P) dengan Lendutan (δ) Balok Beton Bertulang yang Didapat dari Hasil Pengamatan**

Sumber : Nawy, E.G, 1990 : 256

Taraf keruntuhan menurut Grafik terbagi atas :

**2.6.1. Taraf Praretak (Daerah I)**

Pada daerah ini batang-batang struktural bebas retak. Kurva beban-lendutan pada dasarnya berupa garis lurus yang memperlihatkan perilaku elastis penuh. Tegangan tarik maksimum pada balok dalam daerah ini lebih kecil dari pada kekuatan tariknya akibat lentur dan besarnya berbanding lurus dengan regangan yang terjadi. Pada pembebanan yang terjadi, selama tegangan tarik maksimum beton lebih kecil dari modulus kehancuran, maka seluruh beton dapat dikatakan efektif dalam memikul tegangan.



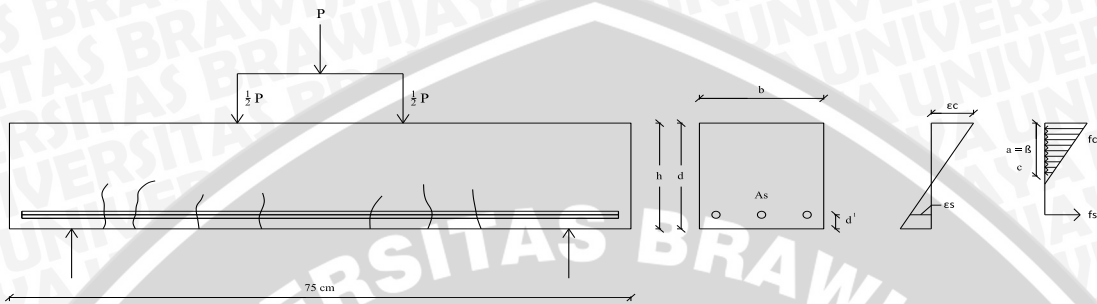
**Gambar 2.11. Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Praretak**

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

**2.6.2. Taraf Beban Pasca Retak (Daerah II)**

Apabila beban ditambah terus, maka kekuatan tarik beton akan segera tercapai dan mulai terjadi retak-retak akibat tarik yang menjalar keatas sampai mendekati garis netral. Garis netral tersebut kemudian bergeser keatas kemudian diikuti dengan menjalarnya retak-retak. Apabila sudah terjadi retak lentur, kontribusi kekuatan tarik

beton dikatakan sudah tidak ada lagi. Ini berarti kekuatan lentur penampangnya telah berkurang sehingga kurva beban-penurunan di daerah ini semakin landai dibandingkan dengan taraf praretak. Pada taraf ini tegangan balok tidak mencapai kurang lebih sebesar  $0,5 f^l_c$ , maka hubungan antara tegangan dan regangan akan terus berlangsung mendekati hubungan yang berbanding lurus.

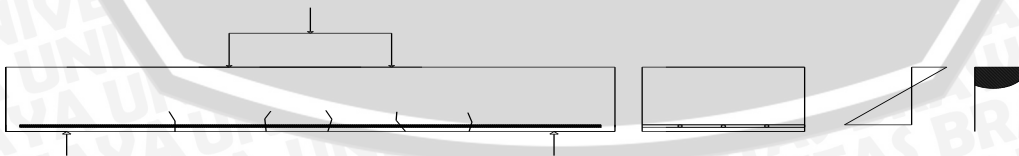


**Gambar 2.12. Diagram Tegangan dan Regangan Pada Balok Taraf Pasca Retak**

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

### 2.6.3. Taraf Retak Pasca-Serviceability dan Keadaan Limit (Daerah III)

Diagram beban-penurunan pada daerah III jauh lebih datar dari pada daerah I dan II yang diakibatkan oleh hilangnya kekakuan penampang karena retak yang sudah cukup banyak dan lebar disepanjang bentang. Apabila beban terus bertambah tegangan dan regangan juga akan naik dan hubungan antara kedua tidak lagi berbanding lurus. Regangan tulangan baja  $\epsilon_s$ , pada sisi yang tertarik akan terus bertambah melebihi regangan lelehnya  $\epsilon_y$ . Balok yang tulangan tariknya mulai leleh dikatakan mulai runtuh secara struktural. Balok ini terus menerus mengalami defleksi, retaknya semakin terbuka sehingga garis netralnya mendekati serat tepi yang tertekan. Pada akhirnya terjadi keruntuhan tekan yang dapat mengakibatkan kehancuran total beton pada daerah momen maksimum dan segera diikuti dengan terjadinya kehancuran.



**Gambar 2.13. Diagram Tegangan dan Regangan Pada Taraf Balok Serviceability.**

Sumber : Winter, 1993 hal. 49

## 2.7. Perilaku Retak Beton

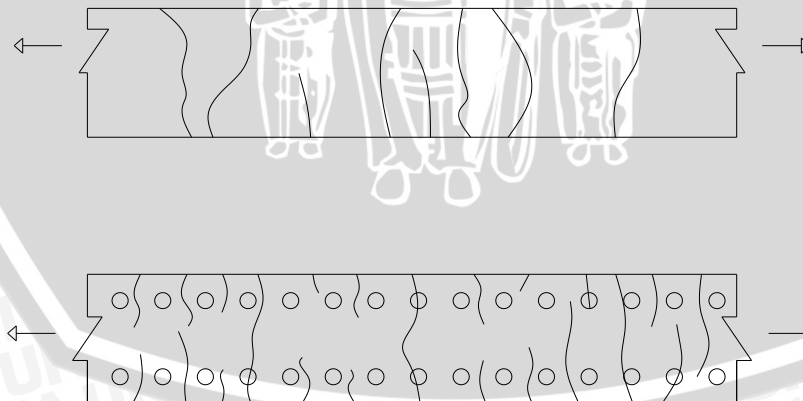
Pada struktur bangunan, dewasa ini banyak digunakan bahan-bahan kuat tinggi, termasuk penggunaan bahan beton dan baja tulangan. Apabila komponen struktur terlentur penulangannya menggunakan baja kuat tinggi, agar mencapai tegangan tinggi diperlukan kemampuan regangan yang lebih besar pula baik bagi baja maupun beton. Bagian struktur beton pada daerah yang mengalami tarik umumnya memperlihatkan suatu fenomena retak pada permukaannya. Retak-retak ini tidak merugikan kecuali bila lebar retaknya menjadi melebihi batas, dalam hal ini keawetan beton terganggu karena kondisi tulangnya menjadi terbuka terhadap korosi.

Retak pada beton merupakan kontribusi dan awal dari kesan yang lebih parah lagi yaitu berlangsungnya proses korosi tulanga baja, rusaknya permukaan beton dan dampak kerusakan jangka panjang lainnya. Oleh karena itu pengetahuan perilaku retak dan pengendalian lebar retak merupakan hal penting dalam memperhitungkan kemampulayakan komponen struktur pembebanan jangka panjang.

## 2.8. Tipe-tipe retak

Tegangan yang disebabkan oleh beban, momen dan geser menyebabkan bermacam model kenampakan pola retak pada beton.

Beton yang mengalami gaya tarik akan mengalami retak sepanjang penampang melintang dengan jarak retak bervariasi antara 0,75 sampai 2 kali ketebalan beton.

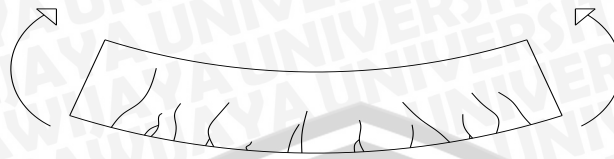


**Gambar 2.14. Retak Beton Akibat Gaya Tarik.**

Suatu beton yang mempunyai ketebalan yang besar dengan perkuatan tulangan di setiap permukaannya akan mempunyai lebar retak permukaan yang kecil pada lapisan yang terdapat perkuatan. Pertemuan retak masing-masing sisi terjadi ditengah-tengah. Dari gambar yang dapat dilihat bahwa lebar retak di B lebih besar daripada di A.



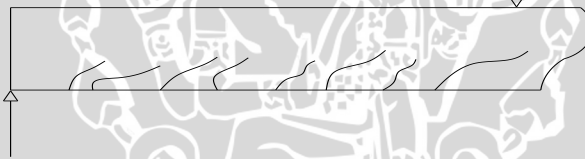
Beton bertulang yang mengalami momen akan mengalami retak seperti pada gambar berikut :



**Gambar 2.15. Retak Beton Akibat Momen.**

Dalam hal ini terjadi retak vertikal yang arahnya menuju pada titik beban. Pada balok yang tinggi (3-4 ft) jarak retak relatif lebih dekat dengan sebgaiian retak akan bergabung. Lebar retak di bagian B lebih besar dari pada di A. Retak-retak yang terjadi pada  $\frac{1}{3}$  tinggi balok adalah retak lentur.

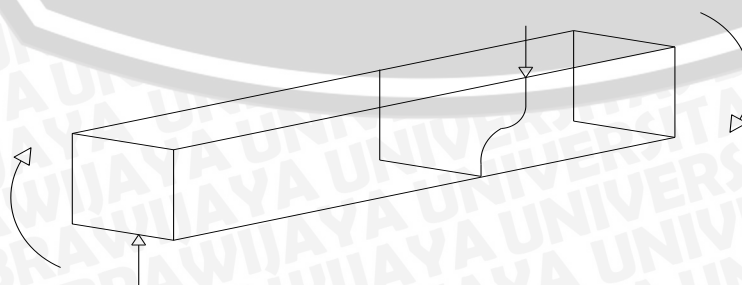
Retak yang disebabkan oleh geser mempunyai karakteristik kenampakan yang miring.



**Gambar 2.16.. Retak Beton Akibat Geser.**

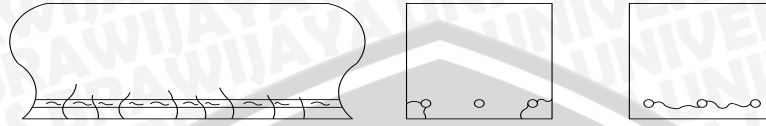
Retak-retak ini setinggi garis netral beton dan kadang-kadang juga sampai pada daerah tekan.

Retak akibat torsi murni akan mengelilingi beton. Pada beton normal yang juga mengalami momen dan geser keretakan cenderung kelihatan pada permukaan dimana terjadi tegangan geser yang menyebabkan penambahan torsi.



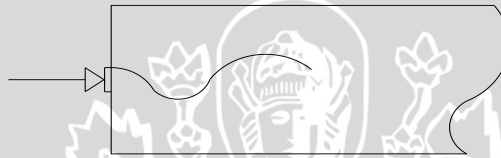
**Gambar 2.17. Retak Beton Akibat Torsi.**

Retak juga bisa terjadi disepanjang tulangan karena pada daerah ini terjadi tegangan yang disebabkan interaksi beton pengikat dengan baja tulangan.



**Gambar 2.18. Retak Beton Akibat Tegangan Lekat.**

Beban terpusat juga dapat mengakibatkan retak belah atau "retak pecah"



**Gambar 2.19. Retak Beton Akibat Tegangan Lekat.**

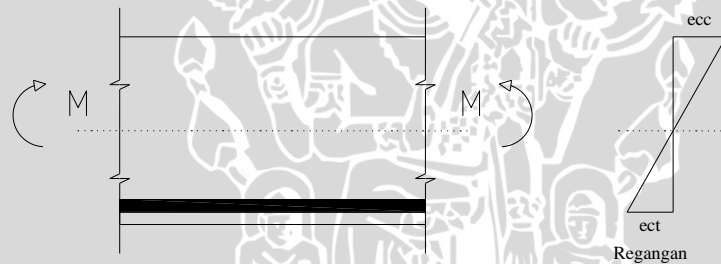
### 2.9. Retak Lentur

Bagian-bagian konstruksi yang mengalami lentur pada umumnya memperlihatkan suatu rangkaian retak-retak lentur (flexural cracking) yang tersebar walaupun hanya terdapat beban kerja. Retak-retak ini tidak mencolok dan tidak merugikan kecuali bila lebarnya menjadi melebihi batas, dalam hal ini untuk kerja dan keawetan terganggu karena tulangan terbuka terhadap korosi.

Lebar retak yang sesungguhnya di dalam konstruksi beton bertulang akan bervariasi di antara batas-batas yang luas, dan tidak dapat ditafsir secara tepat, jadi syarat pembatasan yang harus dipenuhi adalah bahwa kemungkinan lebar maksimum melampaui sesuatu harga yang memuaskan adalah kecil. Harga maksimum yang dapat diterima dan dianjurkan oleh BS 8110 sebesar 0,3 mm pada saat posisi pada permukaan beton dalam keadaan keliling yang normal, meskipun beberapa pedoman-pedoman lain menganjurkan harga- harga yang lebih rendah untuk bagian-bagian konstruksi yang penting (W.H.Mosley dan J.H.Bungey, 1989:124).

### 2.9.1 Mekanisme Retak Lentur

Mekanisme ini dapat digambarkan dengan meninjau perilaku suatu bagian konstruksi yang mengalami momen merata. Suatu panjang balok yang diperlihatkan dalam gambar 2.12 mula-mula akan bersifat elastis seluruhnya, pada saat momen merata  $M$  yang dipikul dinaikan. Apabila batas regangan tarik beton tercapai, maka akan terjadi retak, dan daerah tarik yang berdekatan tidak akan dipengaruhi lebih jauh lagi oleh gaya-gaya tarik langsung. Akan tetapi kelengkungan balok menyebabkan tegangan-tegangan tarik langsung selanjutnya menimbulkan retak pada suatu jarak dari retak semula, untuk mempertahankan kesetimbangan-dalam. Ini berturut-turut menyebabkan terjadinya retak-retak lebih lanjut, dan proses ini akan berlanjut sampai jarak antara retak-retak tidak memungkinkan lagi timbulnya tegangan-tegangan tarik yang cukup untuk menyebabkan retak-retak selanjutnya. Retak-retak awal ini disebut retak primer, dan jarak rata-ratanya dalam suatu daerah momen konstan, secara percobaan telah didapatkan sebesar kira-kira  $1,67(h-x)$  dan tidak akan dipengaruhi oleh detail tulangan.



**Gambar 2.20. Lentur dari Suatu Panjang Balok.**

Sumber : W.H.Mosley dan J.H.Bungey, 1989:125

Bagitu momen yang dipikul meningkat diatas tarik ini, maka terjadinya retak banyak dipengaruhi oleh tulangan. Tegangan-tegangan tarik didalam beton yang mengelilingi batang-batang tulangan disebabkan oleh lekatan, sambil dengan meningkatnya tegangan didalam tulangan. Tegangan-tegangan ini meningkat dengan semakin jauhnya jarak dari retak-retak primer dan mungkin dapat menyebabkan terbentuknya retak-retak lebih lanjut kira-kira di tengah-tengah antara retak-retak primer. Aksi ini mungkin akan berlanjut dengan kenaikan momen sampai lekatan antara beton dan baja tulangan tidak mampu lagi menimbulkan tarikan di dalam beton yang cukup untuk menyebabkan retak-retak selanjutnya pada jarak di antara retak-retak yang telah ada. Berhubung terjadinya tegangan-tegangan tarik secara langsung disebabkan

oleh adanya batang-batang tulangan, maka jarak retak-retak itu akan dipengaruhi oleh jarak-jarak tulangan. Kalau batang-batang tulangan cukup dekat sehingga daerah-daerah pengaruhnya saling menutup, maka retak-retak sekunder akan menyambung melintasi bagian konstruksi, sedang bila sebaliknya, retak-retak ini akan terbentuk hanya didekat batang-batang individu. Dari percobaan-percobaan telah ditetapkan bahwa jarak rata-rata dari retak-retak sepanjang garis yang sejajar dengan, dan pada jarak  $\alpha_{cr}$  dari, suatu batang tulangan pokok tergantung pada efisiensi pelekatan, dan dapat diambil sebesar  $1,67 \alpha_{cr}$  untuk batang yang diprofilkan, atau  $2,0 \alpha_{cr}$  untuk batang bulat polos (W.H.Mosley dan J.H.Bungey, 1989:125).

### 2.10. Evaluasi Lebar Retak.

Lebar retak yang sesungguhnya di dalam struktur beton bertulang akan bervariasi diantara batas-batas yang tidak dapat ditaksir secara tepat, jadi syarat pembatasan yang harus dipenuhi adalah bahwa kemungkinan lebar maksimum melampaui harga yang memuaskan adalah kecil. Harga maksimum yang dapat diterima dianjurkan sebesar 0,18 mm pada setiap posisi pada permukaan beton dalam keadaan keliling yang normal dan dianjurkan harga yang lebih rendah untuk bagian konstruksi yang penting seperti pada konstruksi penahan air.

Pada evaluasi lebar retak ini, untuk meramalkan besar lebar maximum dan retak yang terjadi pada permukaan tarik suatu gelagar, dipakai rumus :

$$W = 11 \times 10^{-6} \beta f_s (dc \cdot A)^{1/3}$$

(SK SNI 03-284-2002 pasal 10.6 ayat 4)

Dimana:

W = Lebar retak maksimum dan retak yang diberi satuan dalam seperseribu inch. (0,001 inch/ 0,0254 mm)

F<sub>s</sub> = Tegangan maximum pada tulangan untuk taraf beban kerja yang apabila tidak dihitung dapat digunakan 0,6 f<sub>y</sub>

β = Perbandingan jarak dan permukaan tarik dari pusat tulangan terhadap sumbu netral

$$\beta = \frac{h-c}{d-c} \text{ dengan } \beta = 1,2$$

dc = Tebal selimut beton sampai pusat tulangan

A = Luas penampang beton yang mengelilingi suatu tulangan

Apabila kuat luluh rencana baja  $f_y$  lebih dari 300 Mpa, harus diperhatikan dan dilakukan pemeriksaan secara khusus dalam rangka menjamin bahwa letak atau susunan batang tulangan di daerah tarik telah tersebar secara merata. Untuk balok maupun plat dengan penulangan satu arah, pemeriksaan penyebaran letak batang tulangan baja dilakukan dengan menghitung bilangan  $z$ , sebagai berikut:

$$Z = f_s (d_c \cdot A)^{1/3}$$

SK SNI 0,3-284-2002 pasal 10,6 ayat 4

dimana:  $z$  = bilangan sebagai batas penyebaran penulangan lentur dengan batas maximum 30MN/m bagi struktur terlindung dan 25 MN/m untuk struktur terbuka yang terpengaruh oleh cuaca luar.

Pedoman ACI menentukan bahwa  $z$  tidak melampaui 175 untuk permukaan yang berada di dalam ruangan dan 145 untuk permukaan yang berada di luar ruangan. Harga batas ini masing-masing berhubungan dengan lebar retak maximum sebesar 0,016 dan 0,813 inch.

Penggunaan besaran  $F_s=0,6 f_y$  sebagai pengganti perhitungan tegangan baja aktual yang dapat di terapkan pada struktur-struktur yang normal. Dalam sebuah penyerdehanaan berdasarkan studi statistik terhan data tes dari perumusan Gergely-Lutz, sebagai berikut :

$$W_{maks} = 0,076 \beta f_s \times \sqrt[3]{dcA}$$

(EDWARD G. NAWY JILID 1)

Dimana :  $W_{maks}$  = lebar retak dalam satuan sebesar 0,0001 inci (0,0254 mm)

$\beta$  =  $(h - c)/(d - c)$  = faktor kedalaman, harga rata-rata = 1,20

$dc$  = ketebalan penutup ke pusat lapis batang-batang yang pertama (inci)

$F_s$  = tegangan maks (ksi) dalam baja pada saat tingkat beban sama dengan 0,6  $F_y$  untuk dipergunakan jika tidak ada perhitungan yang tersedia

$A$  = luasan beton dalam tarik dibagi dengan jumlah batang (inch<sup>2</sup>)

=  $bt^{\gamma}_{bc}$  didefinisikan sebagai jumlah batang jumlah batang-batang pada sisi tarik

## 2.11. Lebar Retak Izin.

Lebar retak maximum yang diizinkan pada suatu elemen struktur bergantung pada fungsi khusus elemen tersebut dan kondisi lingkungan elemen struktur tersebut. ACI *commitee* 224 memberikan petunjuk mengenai lebar retak maximum yang diizinkan untuk berbagai kondisi lingkungan.

**Tabel 2.7.** Toleransi Lebar Retak Beton.

No	Kondisi lingkungan	Lebar Retak	
		Inch	mm
1	Udara kering / membran terlindung	0,016	0,41
2	Udara lembab tanah	0,012	0,3
3	Senyawa kimia	0,007	0,18
4	Air laut basah / kering	0,006	0,15
5	Struktur penahan air (tidak termasuk pipa tak bertekanan)	0,004	0,10

Sumber : Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar , G. Nawwy, Edward

### 2.12. Hipotesis Penelitian.

Hipotesis dari penelitian yaitu akan diteliti pengaruh tebal selimut beton terhadap lebar retak akibat temperatur tinggi yakni akibat suhu pembakaran dan sifat beton :

- Diduga variasi faktor suhu pembakaran akan memberikan pengaruh terhadap lebar retak beton bertulang pasca bakar
- Diduga variasi faktor tebal selimut beton akan memberikan pengaruh terhadap lebar retak beton bertulang pasca bakar.