

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Beton

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang telah umum digunakan untuk bangunan gedung, jembatan, jalan, dan lain-lain. Beton ini didapatkan dengan cara mencampur agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), atau jenis agregat lain dan air, dengan semen, bisa juga ditambahkan dengan bahan tambahan (additif) yang bersifat kimiawi ataupun fisikal pada perbandingan tertentu, sampai menjadi satu kesatuan yang homogen. Campuran tersebut akan mengeras seperti batuan.

Berdasarkan SNI-03-2847-2002 definisi beton adalah campuran antara semen *portland* atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk massa padat. Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f'c$ ) pada usia 28 hari.

#### 3.2. Baja Tulangan

Menurut SNI 07-2052-2002 Baja tulangan adalah baja berbentuk batang berpenampang bundar yang digunakan untuk penulangan beton, yang diproduksi dari bahan baku billet dengan cara canai panas (*hot rolling*). Baja tulangan terdiri dari 2 jenis yakni baja tulangan beton polos dan baja tulangan beton sirip. Baja tulangan beton polos adalah baja tulangan beton berpenampang bundar dengan permukaan rata, disingkat BjTP. Sedangkan baja tulangan beton sirip adalah baja

tulangan beton dengan bentuk khusus yang permukaannya memiliki sirip melintang dan rusuk memanjang yang dimaksudkan untuk meningkatkan daya lekat dan guna menahan gerakan membujur dari batang secara relative terhadap beton, disingkat BjTS.

### 3.3. Nilai Slump

Nilai *slump* digunakan untuk pengukuran terhadap tingkat kelecekan suatu adukan beton, yang berpengaruh pada tingkat pengerjaan beton (*workability*). Semakin besar nilai *slump* maka beton semakin encer dan semakin mudah untuk dikerjakan, sebaliknya semakin kecil *slump*, maka beton akan semakin kental dan semakin sulit untuk dikerjakan. Penetapan nilai *slump* untuk berbagai pengerjaan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Penetapan Nilai *Slump* Adukan Beton

Pemakaian beton (berdasarkan jenis struktur yang dibuat)	Nilai Slump (cm)	
	Maksimum	Minimum
Dinding, plat fondasi dan fondasi telapak bertulang	12,5	5
Fondasi telapak tidak bertulang, kaison, dan struktur bawah tanah	9	2,5
Pelat, balok, kolom, dinding	15	7,5
Perkerasan jalan	7,5	5
Pembetonan masal (beton massa)	7,5	2,5

Sumber: Tjokrodimulyo, 2007

### 3.4. Sika Viscocrete-1003

Sika ViscoCrete-1003 adalah generasi terbaru dari *Superplasticizer* untuk beton dan mortar. Secara khusus dikembangkan untuk produksi beton dengan

kemudahan mengair dan sifat mengalir yang tahan lama serta mengurangi segregasi dan *bleeding* secara signifikan

Sika Viscocrete-1003 memberikan pengurangan air dalam jumlah besar, kemudahan mengalir yang sangat baik dalam waktu bersamaan dengan kohesi yang optimal dan sifat beton yang memadat dengan sendirinya.

Sika ViscoCrete-1003 digunakan untuk tipe-tipe beton sebagai berikut :

1. Beton dengan kemampuan mengalir yang tinggi.
2. Beton yang memadat dengan sendirinya (*Self-compacting concrete/SCC*).
3. Beton dengan kebutuhan pengurangan air yang sangat tinggi (hingga 30%)
4. Beton kedap air (*Watertight concrete*).
5. Beton berkekuatan tinggi.

### **3.5. Beton Serat**

Menurut Ahadi (2011) beton serat merupakan beton yang ditambahkan serat (*fiber*) kedalam campurannya. Serat tersebut dapat berupa serat kayu, serat tali, serat kelapa, serat baja, dan zat-zat tambahan lainnya yang dapat menambah mutu beton. Beton serat ini sangat berguna untuk memperbaiki atau menaikkan sifat mekanik beton. Sifat mekanik beton yang dimaksud adalah kuat tarik, kuat tekan, kuat lentur.

Ada beberapa jenis atau kelompok beton *fiber* (serat) yang sudah dikenal saat ini, antara lain *metallic fibers*, *mineral fibers*, *polimeric fibers*, dan *naturally occurring fibers*

### 1. *Metalic Fibers*

*Metalic Fibers* terdiri dari serat baja. Serat baja biasanya digunakan sebagai pengganti agregat kasar. Berdasarkan sebuah studi yang dilakukan oleh Hendra seorang mahasiswa Teknik Sipil UGM pada tahun 2006, beton *fiber* dengan tambahan serat baja mampu menaikkan kuat tekan beton.

### 2. *Mineral Fibers*

*Mineral Fibers* terdiri dari serat gelas, serat gelas merupakan serat kaca. Serat kaca berasal dari kaca cair yang ditarik hingga berdiameter 0,005 mm – 0,01 mm.

### 3. *Polimeric Fibers*

*Polimeric fibers* adalah serat polimer, yaitu serat yang berasal dari serat sintetis. Serat ini dibuat dengan proses kimia. Serat polimer terdiri dari *polypropylene, polyethylene, polyester, nylon, carbon, dan acrylic*.

### 4. *Naturally Occuring Fibers*

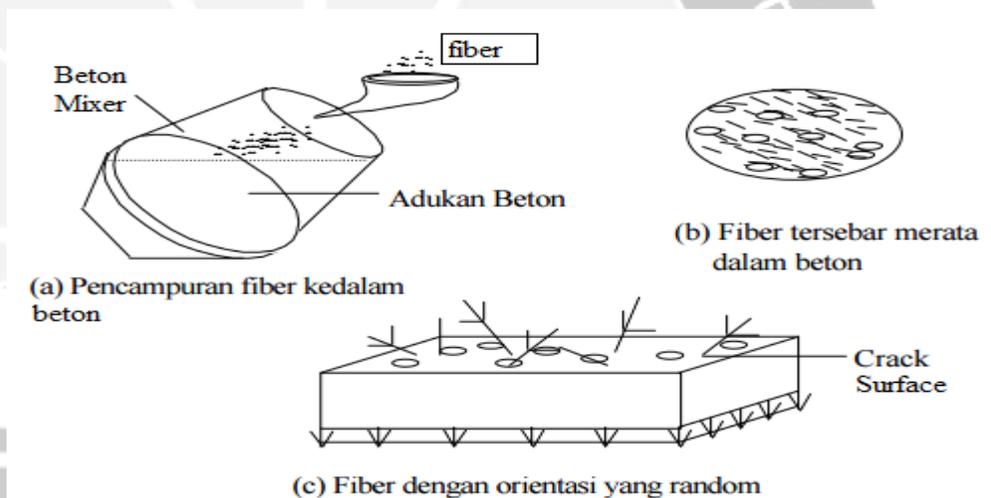
*Naturally Occuring Fibers* adalah serat alami yang berasal dari alam. Baik itu dari hewan maupun tumbuhan. Contoh serat alami yang paling sering digunakan dalam campuran beton adalah serat tebu, serat kelapa, dan serat kayu (serbuk kayu). Serat alami terbukti dapat memperbaiki sifat mekanis beton seperti kuat tekan yang lebih tinggi dari beton normal. Selain itu, serat alami seperti serat tebu juga mampu mendukung pembuatan beton busa (beton ringan).

### 3.5.1. Sifat Struktural Beton Serat

Peningkatan sifat struktural yang diperlihatkan oleh beton serat dipengaruhi oleh hal-hal sebagai berikut:

a. Orientasi Penyebaran (*Dispersion*) *Short Fiber* yang *Random*

*Fiber dispersion* adalah teknik pencampuran adukan agar serat yang ditambahkan dapat tersebar merata dengan orientasi yang random dalam beton. Cara yang dianjurkan oleh Soroushian dan Bayasi (1987).



Gambar 3.1. Konsep beton berserat (Soroushian & Bayasi, 1987)

Arah penyebaran serat yang *random* dan terdistribusi secara merata akan menyebabkan peningkatan sifat struktural yang optimal. Untuk mencapai hal ini maka faktor yang perlu diperhatikan adalah metode

penyebaran dan pencampuran serat ke dalam adukan, konsentrasi dan aspek rasio serat.

b. Lekatan Pada Alur Retakan

Ukuran serat yang pendek dan tidak menerus, memungkinkan terjadinya alur retak tidak melewati serat, sehingga lekatan antara serat dan partikel penyusun beton dalam komposit menjadi tidak optimal. Apabila lekatan serat yang terjadi pada masa beton lebih kecil dari pada kuat tarik serat, maka kekuatan beton serat akan ditentukan oleh kuat lekat serat (*bond strength*).

c. Panjang Tertanam Serat yang Tidak Teratur (*Random*)

Gaya aksial yang diakibatkan oleh tegangan lekat serat pada pasta semen, merupakan fungsi dari panjang tertanam minimum serat pada bidang retak. Panjang tertanam serat ini juga tidak teratur. Untuk mengatasi keadaan ini dapat diusahakan dengan memberikan aspek rasio yang tepat.

### 3.5.2. Konsep Beton Serat

Dalam pemakaian beton serat, ada dua istilah yang sering digunakan untuk memudahkan perencanaan dan pengenalan kuantitas dan kualitas yang dihasilkan oleh penambahan serat:

a) *Fiber Volume Fraction (V<sub>f</sub>)*

*Fiber Volume Fraction (V<sub>f</sub>)* adalah presentase volume serat (*fiber*) yang ditambahkan pada setiap volume beton. Dalam kenyataannya,

persentase yang digunakan adalah berat seratnya. Ini dapat diketahui dari berat jenis serat. Umumnya semakin besar *volume fraction* ( $V_f$ ) akan meninggikan kualitas beton, tetapi *volume fraction* juga mempengaruhi *workabilitas* adukan beton serat, sehingga *volume fraction* mempunyai nilai yang optimal jika meninjau *workabilitas*-nya.

b) *Fiber Aspect Ratio* ( $l/d$ )

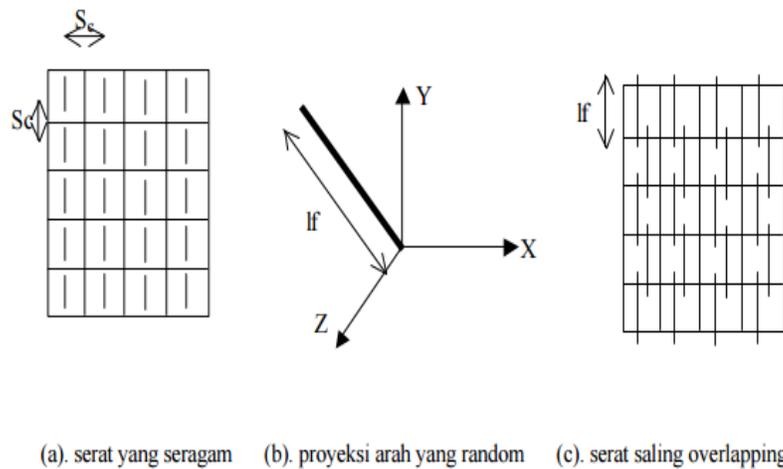
*Fiber aspect ratio* ( $l/d$ ) merupakan rasio antara panjang serat ( $l$ ) dan diameter serat ( $d$ ). Rasio perbandingan panjang dan diameter juga mempengaruhi kekuatan beton serat dan *workabilitas*-nya.

### 3.5.3. Mekanisme Kerja Serat dalam Beton

Teori yang dipakai sebagai pendekatan untuk dapat menjelaskan mekanisme kerja serat di dalam beton sehingga dapat memperbaiki sifat atau perilaku beton menurut Soroushian dan Bayasi (1987) ada dua teori, yaitu:

a. *Spacing Concept*

Dalam teori ini dengan mendekatkan jarak antar serat didalam campuran beton maka beton akan lebih mampu membatasi ukuran retak dan mencegah berkembangnya retak menjadi lebih besar. Serat bekerja lebih efektif jika berjajar secara urut dan seragam tanpa adanya *overlapping*. Tetapi keadaan sesungguhnya dari susunan tersebut tidak teratur dan saling *overlapping*, seperti yang terlihat pada Gambar 3.2:



Gambar 3.2. Susunan serat (*fiber*) dalam beton menurut *spacing concept*

b. *Composite Material Concept*

Konsep material komposit merupakan salah satu pendekatan yang cukup populer untuk memperkirakan kuat tarik ataupun kuat lentur dari *fiber reinforced concrete*. Konsep ini dikembangkan untuk memperkirakan kekuatan material komposit pada saat timbul retak pertama (*first crack strength*). Dalam konsep ini diasumsikan bahan penyusun saling melekat sempurna. Bentuk serat menerus (*continuous fiber*) dan angka poisson dianggap sama dengan nol.

Karena serat yang digunakan dalam *fiber reinforced concrete* adalah ukuran pendek (*short fiber*) dan bukan *continuous fiber*, maka dari persamaan tersebut perlu dikoreksi berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut:

- A. Orientasi dari *short fiber* yang *random* akan mengurangi efisiensi penulangan serat terhadap material komposit.
- B. Lekatan yang tidak sempurna serta ukuran serat yang pendek dapat menyebabkan alur retakan yang tidak melewati serat.
- C. Distribusi alur retak yang tidak sembarang menyebabkan alur retak tidak selalu memotong serat tepat ditengah-tengah
- D. Efektifitas beton pada saat menahan tarik pada saat timbul retak

Teori lain yang menggambarkan mekanisme kerja serat dalam beton berupa *dowel action*, yang merupakan kombinasi *pull-out resistance* dan *bending resistance*. Dalam teori ini *pull-out resistance* diartikan sebagai ketahanan tarik yang dimiliki oleh lekatan serat terhadap matrik beton (Suhendro, 2000) sehingga memungkinkan terjadinya perpindahan tegangan (*stress transfer*) dari matrik beton ke serat atau dari serat ke beton (Sadoshi dan Hannant, 1994; Jurnal ACI Material, 1994). Sedangkan *bending resistance* berkaitan dengan kelenturan dan keliatan serat sebagai tulangan mikro beton yang membantu menahan tegangan-tegangan dalam yang terjadi (tegangan normal dan tegangan geser).

Dengan adanya mekanisme *dowel action* dalam beton serat, telah terbukti mampu secara efektif dan efisien menunda terjadinya retakan-retakan mikro beton yang pada akhirnya mampu meningkatkan berbagai sifat mekanik beton. (Suhendro, 2000).

### 3.6. Berat Jenis Beton

Menurut Tjokrodimaljo (1992), jenis-jenis beton dapat dikelompokkan berdasarkan berat jenis beton tersebut. Untuk pengelompokkannya secara jelas dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Berat Jenis Beton dan Pemakaiannya

Jenis Beton	Berat Jenis Beton (gr/cm <sup>3</sup> )	Pemakaian
Beton Sangat Ringan	<1.00	Non Struktur
Beton Ringan	1.00-2.00	Struktur Ringan
Beton Normal	2.30-2.50	Struktur
Beton Berat	>3.00	Perisai Sinar

(Tjokrodimaljo, 1992)

Untuk mendapat berat jenis beton, dilakukan penimbangan berat rerata beton dan pengukuran dimensi silinder beton. Perhitungan yang digunakan yaitu berat silinder beton dibagi dengan volume silinder beton sehingga diperoleh berat jenis beton

### 3.7. Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan persatuan luas. Kuat tekan beton mengidentifikasi mutu dari sebuah struktur. Perbandingan dari air semen merupakan faktor utama dalam menentukan kekuatan beton. Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatannya. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan

pekerjaan akan tetapi menurunkan kekuatan (Wang, C. K dan C. G. Salmon, 1990)

Rumus yang digunakan untuk mencari kuat tekan beton adalah :

$$f'c = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3-1)$$

Keterangan :

- $f'c$  = kuat tekan beton (MPa)
- P = beban tekan (N)
- A = luas penampang benda uji ( $\text{mm}^2$ )

Benda uji yang digunakan untuk pengujian nilai kuat tekan beton adalah beton berbentuk silinder. Dimensi silinder yang dipakai adalah tinggi = 300 mm dan diameter = 150 mm. Kuat tekan masing-masing benda uji ditentukan oleh tegangan tekan tertinggi ( $f'c$ ) yang dicapai benda uji pada umur 28 hari akibat tekan selama percobaan (Dipohusodo, 1996).

### **3.8. Kuat Tarik Belah Beton**

Nilai kuat tarik beton hanya berkisar 9%-15% dari kuat tekannya. Pada penggunaan sebagai komponen struktural bangunan, umumnya beton diperkuat dengan batang tulangan baja sebagai bahan yang menahan gaya tarik (Dipohusodo, 1994). Pengujian menggunakan uji silinder berdiameter 150 mm dan panjang 300 mm, diletakkan pada arah memanjang di atas alat penguji kemudian beban tekan diberikan merata arah tegak dari atas pada seluruh panjang silinder. Apabila kuat tarik terlampaui, benda uji terbelah menjadi dua bagian dari ujung ke ujung.

Dari pembebanan maksimum yang diberikan, kekuatan tarik belah dihitung dengan rumus:

$$f_t = \frac{2.P}{\pi.L.D} \dots\dots\dots(3-2)$$

Keterangan:

$f_t$  = kuat tarik belah beton (N/mm<sup>2</sup>)

P = beban maksimum yang diberikan (N)

D = diameter benda uji silinder (mm)

L = panjang benda uji silinder (mm)



Gambar 3.3 Alat Uji Kuat Tarik Belah

### 3.9. Modulus Elastisitas

Nilai modulus elastisitas bervariasi tergantung dari kekuatan beton, umur beton, jenis pembebanan, dan karakteristik dan perbandingan semen dan agregat.

Ada beberapa definisi mengenai modulus elastisitas:

- a. Modulus awal adalah kemiringan diagram tegangan-regangan pada titik asal dari kurva.

- b. Modulus *tangen* adalah kemiringan dari salah satu tangen (garis singgung) pada kurva di titik tertentu di sepanjang kurva, misalnya pada 50% dari kekuatan maksimum beton.
- c. Kemiringan dari suatu garis yang ditarik dari titik asal kurva ke suatu titik pada kurva tersebut di suatu tempat di antara 25% sampai 50% dari kekuatan tekan maksimumnya disebut *Modulus sekan*.
- d. Modulus yang lain, disebut *modulus semu (apparent modulus)*, ditentukan dengan menggunakan tegangan dan regangan yang diperoleh setelah beban diberikan selama beberapa waktu.

Nilai modulus elastis juga dapat ditentukan secara empiris, yaitu dari nilai kuat tekan beton. Semakin besar kuat tekan beton, semakin besar pula nilai modulus elastisitasnya. Hubungan modulus elastis terhadap kuat tekan beton

(SNI-03-2847, 2002) adalah:

$$E_c = 4700\sqrt{f_c'} \dots\dots\dots(3-3)$$

### **3.10. Tegangan Lekat**

Menurut Park dan Paulay (1975:394), kekuatan lekatan merupakan hasil dari berbagai parameter, seperti adhesi antara beton dengan permukaan tulangan baja. Kemudian tekanan beton kering terhadap tulangan adalah akibat adanya susut pengeringan pada beton. Selain itu saling bergeseknya permukaan baja dan beton disekitarnya, yang disebabkan oleh perpindahan mikro tulangan tarik, menyebabkan peningkatan tahanan terhadap gelincir. Efek total ini disebut sebagai lekatan (*bond*). Tegangan lekat terutama merupakan saling geser (*shear*

*interlock*) antara elemen tulangan dan beton sekitarnya yang disebabkan oleh berbagai faktor. Efek ini dapat dinyatakan sebagai tegangan geser per satuan luas permukaan tulangan. Tegangan langsung ini ditransformasikan dari beton ke permukaan tulangan sehingga mengubah tegangan tarik tulangan diseluruh panjangnya. Tulangan dapat meningkatkan kekuatan lekatan yang disebabkan oleh terjadinya keterpautan (*interlocking*) antara tonjolan (*rib*) dengan beton di sekelilingnya (Park dan Paulay, 1975:396).

Tegangan lekat (*bond strength*) dapat diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$\tau = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot l_d} \dots\dots\dots(3-4)$$

Keterangan :

$\tau$  = Tegangan Lekat (MPa)

$P$  = Beban Tarik (N)

$D$  = Diameter Tulangan (mm)

$l_d$  = Panjang Penyaluran (mm)

### **3.11. Kuat Lekat Tulangan**

Yang dimaksud dengan kuat lekat tulangan adalah kemampuan antara baja tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara baja tulangan dan beton (Winter, 1993).

Kuat lekat beton sangat dipengaruhi oleh daya alir beton segar, semakin tinggi faktor air semen akan meningkatkan kelecakan dan daya alir beton segar sehingga beton dapat menyelimuti permukaan tulangan secara sempurna (Fu dan Cheng, 1997).



Gambar 3.4 Uji kuat lekat tulangan pada beton

### **3.12. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Kuat Lekat Tulangan**

Nawy (1990), secara umum mengatakan tegangan lekat antara beton dan tulangan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

#### **A. Adhesi**

Adhesi merupakan ikatan kimiawi yang terbentuk pada seluruh bidang kontak antara beton dan tulangan akibat adanya proses reaksi pengerasan semen.

#### **B. Friksi**

Friksi merupakan tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci pada saat elemen penguat atau tulangan mengalami tegangan tarik. Mekanisme ini

terbentuk karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara beton dan tulangan.

#### C. Interlocking

Mekanisme ini terbentuk karena adanya interaksi antara ulir atau tonjolan tulangan (rib) dengan matriks beton yang ada di sekitarnya, mekanisme ini sangat bergantung pada kekuatan, dan kepadatan material beton, geometri dan diameter tulangan.

#### D. Gripping

Efek memegang (*gripping*), akibat susut/pengeringan beton di sekeliling tulangan.

#### E. Efek kualitas beton

Kualitas beton meliputi kuat tarik dan kuat tekan. Akibat desakan oleh tegangan radial, beton mengalami tegangan tarik keliling, jika tegangan tarik ijin beton terlampaui maka akan mengakibatkan retak belah.

#### F. Efek mekanisme penjangkaran ujung tulangan

Efek penjangkaran dapat berupa panjang lewatan/tanam, bengkokan tulangan dan persilangan tulangan.

#### G. Diameter, bentuk dan jarak tulangan

Diameter, bentuk dan jarak tulangan mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan retak radial, Diameter tulangan terlalu kecil akan mengakibatkan keruntuhan putus pada tulangan karena kuat lekatnya jauh lebih tinggi dari pada kuat putus baja atau tulangannya, sedangkan diameter terlalu besar akan

mengakibatkan keruntuhan slip, karena kuat tarik baja atau tulangan jauh lebih besar dari pada kuat lekatnya sehingga akan terjadi slip yang didahului oleh retak belah yang sangat cepat. Bentuk tulangan polos keruntuhan akan berupa slip karena kuat lekat beton sangat kecil, sedangkan bentuk tulangan ulir akan mengalami keruntuhan belah. Jika jarak tulangan terlalu dekat bila dibandingkan dengan selimut beton, maka akan terjadi keruntuhan belah.

#### H. Selimut beton

Selimut beton yang tidak mencukupi untuk mengakomodasi tegangan tarik keliling akan mengakibatkan retak belah yang selanjutnya mengakibatkan kehancuran belah.

#### I. Korosi

Karat atau korosi pada tulangan akan mengakibatkan menurunnya adhesi, gripping dan friksi antara beton dan tulangan sehingga mengurangi kuat lekat.

### **3.13. Keruntuhan Lekatan Baja Tulangan dan Beton (*Bond Stress Failure*)**

Keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton yang mungkin terjadi pada saat dilakukan pengujian biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih dari peristiwa berikut ini (Nuryani TA, 2005:12) :

#### A. *Transverse Failure*

Adanya retak pada beton arah transversal/melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.

#### B. *Splitting Failure*

Adanya retak pada beton arah longitudinal/memanjang akibat tegangan radial geser yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.

C. *Pull Out Failure/Slip*

Kondisi dimana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan geser yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton.

D. Baja tulangan mencapai leleh

Apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi/pengecilan diameter tulangan, hal ini mengakibatkan tidak berfungsinya lekatan terhadap beton yang mengelilinginya, sehingga akan menurunkan atau bahkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton.