

# **BAB II**

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1. Tinjauan Umum**

Materi yang dibahas dalam penelitian ini berdasarkan referensi maupun peraturan mengenai teknologi beton yaitu:

- Teori tentang beton
- Bahan dasar pembentukan beton
- Perencanaan pencampuran beton (*Mix Design*)
- Sistem Kaping dengan Topi baja, Belerang, dan Teflon
- Pola Retak Beton

### **2.2. Teori Beton**

Beton didefinisikan sebagai material komposit yang disusun oleh butiran agregat kasar, agregat halus sebagai pengisinya yang dikombinasikan dengan air dan semen sebagai pengikat, selanjutnya akan mengisi rongga yang ada dan akan melekat sebagai satu kesatuan (*Sydney Mindess, 2003*). Tetapi belakangan ini pengertian beton sudah semakin luas, beton adalah bahan yang terbuat dari berbagai macam tipe semen, agregat, dan juga bahan pozzolan, abu terbang, terak dapur tinggi, sulfur, serat dan lain-lain (*Neville and Brooks, 1987*). DPU-LPMB mendefinisikan tentang beton sebagai campuran antara semen portland atau semen hidrolik yang lainnya, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan yang membentuk massa padat (*SNI 03-2847-2002*).

#### **2.2.1 Kuat Tekan Beton**

Nilai kekuatan beton diketahui dengan melakukan pengujian kuat tekan terhadap benda uji pada umur 28 hari yang dibebani dengan gaya tekan sampai dengan hancur.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dari material penyusunnya ditentukan antara lain oleh:

##### **1. Faktor Air Semen**

Perbandingan antara air dengan semen atau yang disebut faktor air semen (FAS) adalah untuk menentukan jumlah air yang diperlukan dalam campuran

beton. Secara umum jika nilai FAS semakin tinggi maka mutu beton akan rendah, namun jika nilai FAS rendah tidak berarti mutu beton akan semakin tinggi. Air dalam pembuatan beton berfungsi untuk ; membasahi agregat (untuk penyerapan atau absorpsi), untuk memberikan kemudahan dalam pengerjaan beton (*workability*), dan untuk proses kimiawi semen (hidrasi semen).

## 2. Agregat Halus (Pasir)

Syarat mutu SII.0052-80, “*Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*” untuk agregat halus umumnya mempunyai MHB (Modulus Halus Butir) sekitar 1,5 sampai 3,8. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai MHB sekitar  $2,5 < MHB < 3,0$  umumnya menghasilkan beton mutu tinggi (*Larrard, 1990*). Gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat halus akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi sela (*gap*) atau seragam. Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton segar maupun beton keras.

## 3. Agregat Kasar

Ukuran butir maksimum agregat kasar akan mempengaruhi mutu beton yang dibuat. Hasil penelitian Larrard (1990) menyebutkan bahwa butiran maksimum yang memberikan bukti nyata untuk membuat beton mutu tinggi tidak boleh lebih dari 15 mm. Namun demikian pemakaian butiran agregat sampai dengan 25 mm masih memungkinkan diperolehnya beton mutu tinggi dalam proses produksinya. Menurut syarat mutu SII.0052-80, “*Mutu dan Cara Uji Agregat Beton*” untuk agregat kasar umumnya mempunyai MHB (Modulus Halus Butir) sekitar 6,0 sampai 7,1.

Gradasi yang baik dan teratur (*continuous*) dari agregat kasar akan menghasilkan beton yang mempunyai kekuatan tinggi dibandingkan dengan agregat yang bergradasi sela (*gap*) atau seragam. Kebersihan agregat juga akan sangat mempengaruhi mutu beton yang akan dibuat terutama dari zat-zat yang dapat merusak baik pada saat beton segar maupun beton keras.

## 4. Bahan Tambah

Bahan tambah ialah bahan selain unsur pokok beton (air, semen, dan agregat) yang ditambahkan pada adukan beton, sebelum, segera, atau selama pengadukan

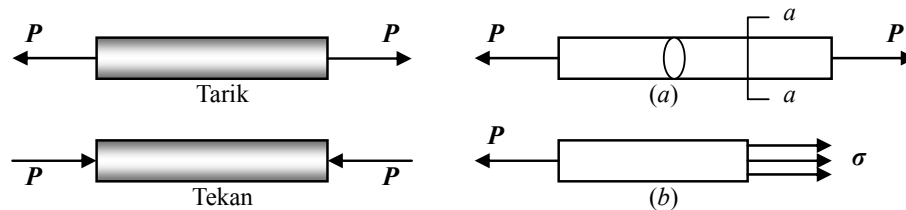
beton. Tujuannya ialah untuk mengubah satu atau lebih sifat-sifat beton sewaktu masih dalam keadaan segar atau setelah mengeras, misalnya: mempercepat pengerasan, menambah encer adukan, menambah daktilitas, mengurangi retak-retak pengerasan.

### 5. Kontrol Kualitas

Untuk menghasilkan beton yang bermutu tinggi, faktor kontrol terhadap kualitas proses produksi beton pada saat pengambilan sampel, pengujian maupun proses penakaran sampai perawatan mutlak menjadi perhatian penting.

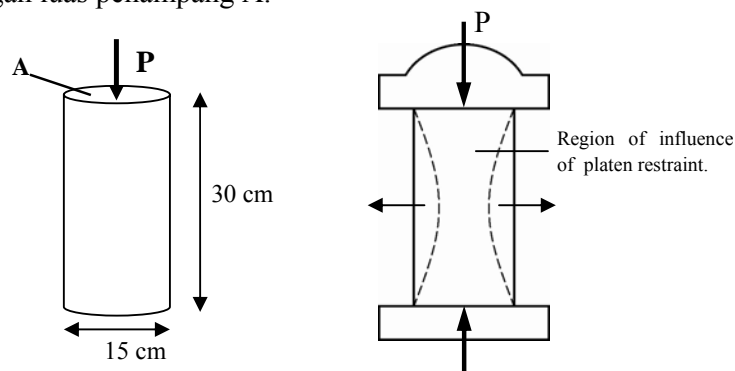
### 2.2.2. Tegangan dan Regangan Beton

Tegangan didefinisikan sebagai tahanan terhadap gaya-gaya luar. Intensitas gaya yaitu gaya per satuan luas disebut tegangan dan diberi notasi huruf Yunani " $\sigma$ " (*sigma*). Gaya  $P$  yang bekerja tegak-lurus (normal) pada penampang melintang  $a-a$  ini secara aktual merupakan resultan distribusi gaya-gaya yang bekerja pada penampang melintang dengan arah normal.



Gambar 2.1. Tegangan normal (*normal stress*) pada batang

Dengan mengasumsikan bahwa tegangan terbagi rata di seluruh penampang, kita dapat melihat bahwa resultannya harus sama dengan intensitas  $\sigma$  dikalikan dengan luas penampang  $A$ .



Gambar 2.2 Arah tegangan normal (*normal stress*) dan pola retak pada silinder

Dengan demikian didapatkan rumus :

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

dimana :

$\sigma$  = tegangan (N/mm<sup>2</sup>)

P = gaya aksial (N)

A = luas penampang (mm<sup>2</sup>)

Persamaan ini memberikan intensitas tegangan merata pada batang prismatis yang dibebani secara aksial dengan penampang sembarang. Apabila batang ini ditarik dengan gaya P, maka tegangannya adalah tegangan tarik (*tensile stress*); apabila gayanya mempunyai arah sebaliknya, sehingga menyebabkan batang tersebut mengalami tekan, maka terjadi tegangan tekan (*compressive stress*). Karena tegangan ini mempunyai arah yang tegak lurus permukaan potongan, maka disebut tegangan normal (*normal stress*). Jadi, tegangan normal dapat berupa tegangan tarik dan tegangan tekan (*Gere & Timoshenko, 1997*).

Jika suatu benda ditarik atau ditekan, gaya P yang diterima benda mengakibatkan adanya ketegangan antarpartikel dalam material yang besarnya berbanding lurus. Perubahan tegangan partikel ini menyebabkan adanya pergeseran struktur material regangan atau himpitan yang besarnya juga berbanding lurus. Karena adanya pergeseran, maka terjadilah deformasi bentuk material misalnya perubahan panjang menjadi L +  $\Delta L$  (atau L -  $\Delta L$ ). Dimana L adalah panjang awal benda dan  $\Delta L$  adalah perubahan panjang yang terjadi. Rasio perbandingan antara  $\Delta L$  terhadap L inilah yang disebut *strain* (regangan) dan dilambangkan dengan “ $\epsilon$ ” (*epsilon*). Dengan demikian didapatkan rumus :

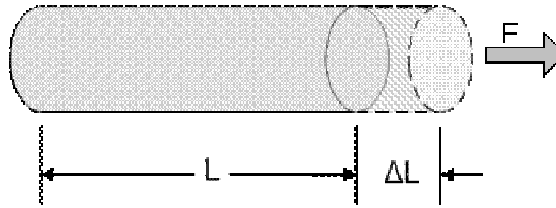
$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.2)$$

dimana :

$\epsilon$  = regangan/ strain ( $\mu\text{m}/\text{m}$  atau  $\mu\epsilon$ )

L = panjang benda mula-mula (m)

$\Delta L$  = perubahan panjang benda ( $\mu\text{m}$ )



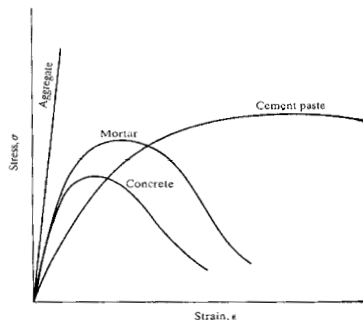
Gambar 2.3. Regangan (*strain*)

Jika batang tersebut mengalami tarik, maka regangannya disebut regangan tarik (*tensile strain*), yang menunjukkan perpanjangan bahan. Jika batang tersebut mengalami tekan, maka regangannya adalah regangan tekan (*compressive strain*) dan batang tersebut memendek. Regangan tarik bertanda positif dan regangan tekan bertanda negatif. Regangan ( $\epsilon$ ) disebut regangan normal karena regangan ini berkaitan dengan tegangan normal (*Gere & Timoshenko, 1997*).

### 2.2.3. Kurva Tegangan-Regangan Beton

Sebagaimana beban aksial yang bertambah bertahap, pertambahan panjang terhadap panjang *gage* diukur pada setiap pertambahan beban dan ini dilanjutkan sampai terjadi kerusakan (*fracture*) pada spesimen. Dengan mengetahui luas penampang awal spesimen, maka tegangan normal, yang dinyatakan dengan  $\sigma$ , dapat diperoleh untuk setiap nilai beban aksial dengan menggunakan hubungan dimana  $P$  menyatakan beban aksial dalam (Newton) dan  $A$  menyatakan luas penampang awal ( $\text{mm}^2$ ). Dengan memasangkan pasangan nilai tegangan normal ( $\sigma$ ) dan regangan normal ( $\epsilon$ ), data percobaan dapat digambarkan dengan memperlakukan kuantitas-kuantitas ini sebagai absis dan ordinat. Gambar yang diperoleh adalah diagram atau kurva tegangan-regangan.

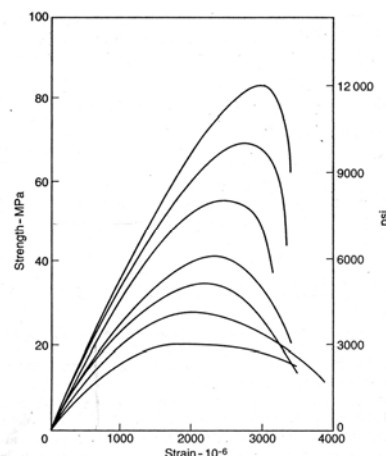
Berdasarkan Sidney Mindess, J.Francis Young dan David Darwin (2003) kurva *stress-strain* tipikal untuk agregat, pasta semen, mortar dan beton sebagai berikut :



Gambar 2.4. Kurva *stress-strain* tipikal untuk agregat, pasta semen, mortar dan beton  
(Sumber : *Concrete, Sidney Mindess, 2003*)

Beton adalah suatu material heterogen yang sangat kompleks dimana reaksi terhadap tegangan tidak hanya tergantung dari reaksi komponen individu tetapi juga interaksi antar komponen. Kompleksitas interaksi diilustrasikan dalam gambar 2.4. dimana ditunjukkan kurva tegangan-regangan tertekan untuk beton dan mortar, pasta semen dan agregat kasar. Agregat kasar adalah suatu material getas elastis linier, dengan kekuatan signifikan diatas beton. Pasta semen mempunyai nilai modulus elastisitas rendah, tetapi kuat tekan lebih tinggi dibandingkan dengan mortar atau beton. Penambahan agregat halus ke pasta semen menjadi mortar mengakibatkan suatu peningkatan modulus elastisitas, tetapi mereduksi kekuatan. Penambahan agregat kasar ke mortar, dalam ilustrasi diatas, hanya sedikit mempengaruhi modulus elastisitas, tetapi mengakibatkan penambahan reduksi kuat tekan. Secara keseluruhan, perilaku beton adalah serupa dengan unsur pokok mortar, sedangkan perilaku mortar dan beton secara signifikan berbeda dari perilaku baik pasta semen atau agregat.

Kurva tegangan-regangan pada Gambar 2.5. dibawah menampilkan hasil yang dicapai dari hasil uji tekan terhadap sejumlah silinder uji beton standar berumur 28 hari dengan kekuatan beragam. Dari kurva tersebut dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu : semakin tinggi mutu beton, maka modulus elastisitasnya akan semakin besar sehingga beton dengan kekuatan lebih tinggi bersifat lebih getas (*brittle*); sedangkan beton dengan kekuatan lebih rendah lebih *ductile* (ulet) daripada beton berkekuatan lebih tinggi, artinya beton tersebut akan mengalami regangan yang lebih besar sebelum mengalami kegagalan (*failure*).

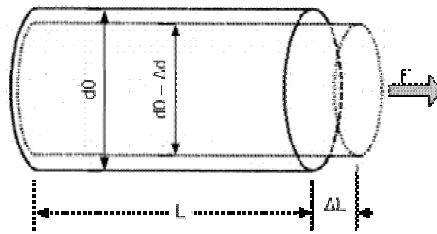


Gambar 2.5. Contoh kurva tegangan-regangan pada beton dengan berbagai variasi kuat tekan  
(Sumber : *Properties of Concrete*, A.M.Neville, 2003)

#### 2.2.4. Rasio Poisson (*Poisson's Ratio*)

Ketika sebuah silinder beton menerima beban tekan atau beban tarik, silinder tersebut tidak hanya berkurang atau bertambah tingginya tetapi juga mengalami ekspansi (pemuaian) dalam arah lateral yaitu kontraksi tegak lurus arah beban. Regangan lateral disetiap titik pada setiap titik pada suatu batang sebanding dengan regangan aksial di titik tersebut jika bahannya elastis linear.

Bahan yang mempunyai besaran sama dalam semua arah (aksial, lateral dan di antaranya) disebut *isotropik*. Jika besarannya berbeda, maka disebut *anisotropik*.



Gambar 2.6. Regangan longitudinal dan lateral

ket. gambar,

$L$  = Panjang Benda Mula-mula (m)

$\Delta L$  = Perubahan Panjang Benda ( $\mu\text{m}$ )

$d_0$  = Diameter Penampang Mula-mula (m)

$\Delta d$  = Perubahan Diameter Penampang ( $\mu\text{m}$ )

Sebagaimana gambar di atas, setiap batang yang ditarik (atau ditekan) selain mengalami perpanjangan (atau pemendekan), juga mengalami penyusutan (atau perluasan) pada permukaan penampangnya. Keduanya dapat disebut sebagai regangan. Oleh karenanya, dibuatlah kesepakatan bahwa :

- Regangan yang arahnya segaris dengan arah gerak gaya disebut **regangan Longitudinal**. Dengan rumus :

$$(\epsilon_1 = \frac{\Delta L}{L}) \quad (2.3)$$

- Regangan yang arahnya tegak lurus terhadap arah gerak gaya disebut **regangan Lateral**. Dengan rumus :

$$(\epsilon_2 = \frac{\Delta d}{d_0}) \quad (2.4)$$

Besarnya nilai perbandingan antara regangan lateral ( $\epsilon_2$ ) terhadap regangan longitudinal ( $\epsilon_1$ ) pada suatu bahan/ material adalah tetap (konstan). Nilai perbandingan inilah yang disebut dengan **Rasio Poisson** dan dilambangkan dengan “ $\nu$ ” ( $\nu$ ).

$$\nu = \left| \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \right| \quad (2.5)$$

Nilai rasio poisson untuk beton berkisar antara 0,15 - 0,25. Apabila regangan di suatu bahan menjadi besar, rasio poissonnya berubah (Gere, Timoshenko, 1997).

### 2.2.5. Modulus Elastisitas Beton

Modulus elastisitas atau modulus Young merupakan hubungan linier antara tegangan dan regangan untuk suatu batang yang mengalami tarik atau tekan. Semakin besar harga modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi pada suatu tingkat pembebanan tertentu, atau dapat dikatakan material tersebut semakin kaku (*stiff*). Pada grafik tegangan-regangan (Gambar 2.4.), modulus kekakuan tersebut dapat dihitung dari slope kemiringan garis elastis yang linier, diberikan oleh:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \text{ atau } E = \tan \alpha \quad (2.6)$$

dimana  $\sigma$  adalah tegangan aksial searah sumbu benda uji,  $\epsilon$  adalah regangan aksial,  $\alpha$  adalah sudut yang dibentuk oleh daerah elastis kurva tegangan-regangan dan E adalah konstanta proporsionalitas yang dikenal dengan modulus elastisitas bahan tersebut. Modulus elastisitas suatu material ditentukan oleh energi ikat antar atom-atom, sehingga besarnya nilai modulus ini tidak dapat dirubah oleh suatu proses tanpa merubah struktur bahan. Modulus elastisitas adalah kemiringan kurva tegangan-regangan di dalam daerah elastis linier pada sekitar 40% beban puncak (*ultimate load*) (Gere & Timoshenko, 1997).



### **2.3. Bahan Dasar Pembentukan Beton**

Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat kasar dan agregat halus) sekitar 60% - 75%. Untuk mendapatkan mutu yang baik, maka sifat dan karakteristik dari masing-masing bahan material penyusun tersebut perlu dipelajari.

Agregat normal baik agregat kasar dan agregat halus harus memenuhi syarat mutu sesuai dengan syarat ASTM C.33 - 02a, "*Standard Specification for Concrete Aggregates*".

### **2.4. Perencanaan Campuran Beton (*Mix Design*)**

Tujuan utama mempelajari sifat-sifat beton adalah untuk perencanaan campuran (*mix design*), yaitu pemilihan bahan-bahan beton yang memadai, serta menentukan proporsi masing-masing bahan untuk menghasilkan beton ekonomis dengan kualitas yang baik (*Antoni-P.Nugraha, 2007*). Dalam penelitian ini, *mix design* dilaksanakan menggunakan cara DOE (*Department of Environment*). Perencanaan dengan cara DOE dipakai sebagai standar perencanaan oleh Departemen Pekerjaan Umum di Indonesia dan dimuat dalam buku standar SK SNI T-15-1990. Pemakaian metode DOE dikarenakan metode ini yang paling sederhana dengan menghasilkan hasil yang akurat, diantaranya penggunaan rumus dan grafik yang sederhana dan kondisi agregat waktu pencampuran beton pada kondisi SSD (*Saturated Surface Dry*).

Secara garis besar langkah perhitungan *mix design* cara DOE dapat diuraikan sebagai berikut: menentukan kuat tekan rata-rata rencana ( $f'c$ ); faktor air semen; nilai slump; besar butir agregat maksimum; kadar air bebas; proporsi agregat; berat jenis agregat gabungan, dan menghitung proporsi campuran beton.

### **2.5. Bahan kaping**

Pada setiap pengujian silinder beton harus menggunakan bahan atau material tambahan untuk silinder beton. Hal ini menjelaskan tentang prosedur mendapatkan permukaan yang rata di bagian ujung silinder beton yang baru dicetak, beton keras, atau beton inti hasil pengeboran bila permukaan ujungnya tidak rata dan tidak memenuhi persyaratan tegak lurus sesuai standar yang berlaku. Pada saat pengujian permukaan silinder beton harus rata sehingga

penekanannya beban menyebar di semua permukaan silinder beton tersebut. Bahan kaping harus tidak lebih lemah dari dari beton dalam spesimen, namun kekuatan tutup dipengaruhi oleh ketebalan. Terlalu besar perbedaan kekuatan yang dianggap tidak diinginkan karena kuat topi sangat mungkin menghasilkan pengekangan lateral yang besar dengan demikian mengakibatkan peningkatan jelas dalam kekuatan.maka disarankan tebal topi 3-8 mm dan harus mempunyai ikatan baik terhadap beton. Dalam hal ini ada tiga jenis material yang digunakan yaitu : belerang, Teflon, dan topi baja.

### 2.5.1. Belerang

Belerang berwarna kuning pucat, padatan yang rapuh, yang tidak larut dalam air tapi mudah larut dalam  $CS_2$  (karbon disulfida). Dalam berbagai bentuk, baik gas, cair maupun padat, unsur belerang terjadi dengan bentuk alotrop yang lebih dari satu atau campuran. Dengan bentuk yang berbeda-beda, akibatnya sifatnya pun berbeda-beda.

Dalam pengujian silinder beton, belerang sering digunakan untuk membantu uji tekan. Bantuan yang dimaksud adalah membuat permukaan silinder beton tersebut menjadi rata. Sehingga pada saat pengujian, kekuatan yang diberikan oleh mesin tes kuat tekan menyebar secara rata. Bahan pembuatan belerang tersebut terdiri dari 100% bubuk belerang yang dipanaskan kemudian menjadi cair dan dituang ke alat cetak yang selanjutnya ditimpa oleh silinder beton dan mengeras menutup permukaan beton. Campuran belerang dari uji silinder dapat dipakai kembali digunakan sampai dengan lima kali.



Gambar 2.7. (A) Bubuk belerang, (B). Belerang sebagai kaping

### 2.5.2. Topi Baja

Meskipun belerang sebagai kaping yang memuaskan untuk operasi uji kuat tekan beton, namun penggunaan belerang sedikit membosankan dan berpotensi bahaya untuk kesehatan manusia. Untuk alasan ini, sejumlah upaya telah dilakukan untuk mengembangkan kaping tidak berikat. Ini adalah dalam bentuk pad elastomer yang dimasukkan ke dalam topi logam kaku yang berfungsi menahan atau mereduksi beban atau juga sering disebut topi baja. Topi baja harus pas sesuai tutup diameter internal sekitar 6 mm lebih besar dari diameter silinder beton. Hal ini sangat penting karena silinder beton akan konsentris terhadap tutup. Penggunaan topi baja tersebut diijinkan di Australia, di Australia telah ditemukan bahwa tutup harus sepenuhnya dicetak (dan tidak menekan) dan karet yang berbeda harus digunakan sesuai dengan kuat tekan beton. Hal ini merupakan faktor rumit jika kekuatan perkiraan silinder tidak dapat diantisipasi. Sedangkan topi baja tidak dianjurkan untuk beton dengan kekuatan mutu rendah. Dalam hal ini kekuatan minimal 20 mpa, karena pada kekuatan yang lebih rendah penggunaan topi baja mengakibatkan nilai kekuatan lebih rendah dari mutu yang direncanakan.



Gambar 2.8. Topi baja sebagai kaping silinder beton

### 2.5.3 Teflon

Penggunaan Teflon sebagai pelapis untuk uji tekan silinder beton mulai dikembangkan. Tujuan dari penelitian ini diharapkan mendapat keakurasian angka yang didapat tanpa pengaruh ikatan maupun kekuatan kaping seperti penggunaan belerang dan topi baja.

Van Vliet dan Van Mier dari Universitas Teknik Delft menyarankan untuk menggunakan lapisan teflon yang baru dikembangkan (yang terdiri dari dua

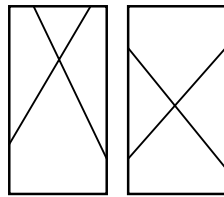
jenis, ketebalan 100  $\mu\text{m}$  dan 50  $\mu\text{m}$ , dengan pelumasan di antaranya. Mereka mengamati peningkatan tegangan maksimum dengan menurunkan kelangsingan (sampai dengan 200%), ketika spesimen dimuat antara mesin tekan, tegangan maksimum hampir konstan ditemukan dengan penerapan antar lapisan teflon.



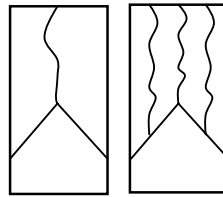
Gambar 2.9. Lembaran Teflon

## 2.6. POLA RETAK

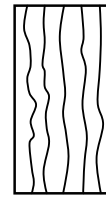
Berdasarkan ASTM C 39/C 39M – 05 pola retak dibedakan menjadi 6 tipe, yaitu :



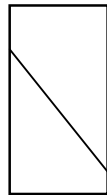
**Tipe 1**  
Pola retak yang berbentuk kerucut pada kedua ujung.



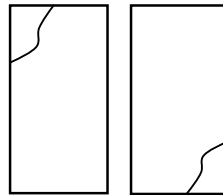
**Tipe 2**  
Pola retak yang berbentuk kerucut pada satu ujung, retak vertical hingga ujung satunya.



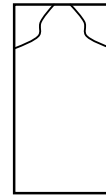
**Tipe 3**  
Pola retak yang berbentuk retak vertical dari ujung ke ujung.



**Tipe 4**  
Pola retak yang berbentuk retak geser arah diagonal pada kedua sisi benda uji.



**Tipe 5**  
Pola retak yang terjadi pada salah satu samping ujung benda uji. Ujung atas atau bawah.



**Tipe 6**  
Pola retak yang terjadi pada kedua samping ujung atas benda uji.

Gambar 2.10. Tipe Pola Retak (ASTM C 39/C 39M-05)

Keenam pola retak tersebut dapat terjadi dikarenakan penyebaran tegangan pada benda uji akibat proses ikat pengangan benda uji. Dan terpengaruh terhadap homogenitas agregat penyusun beton.