



# SUSUT PADA BETON

*Ridwan Suhud*

## RINGKASAN

*Tulisan ini menyajikan masalah susut pada beton. Susut pada beton ini tidak dapat dihindari, bagaimanapun baiknya mutu beton. Yang dapat dilakukan adalah mengurangi susut tersebut.*

*Susut pada beton terjadi dalam jangka waktu yang lama, namun susut yang besar terjadi pada waktu beton masih muda. Pengurangan besarnya susut akan sangat berarti, baik bagi beton bertulang maupun beton prategang. Bagi beton bertulang, susut mungkin akan mengakibatkan retak-retak dan bagi beton prategang akan menimbulkan kehilangan tegangan pada tulang prategang.*

*Untuk mendapatkan informasi yang lebih jelas mengenai susut ini telah dilakukan percobaan-percobaan terhadap balok beton bertulang. Balok ini mempunyai penampang segi-4, dan percobaan ini dilakukan di Laboratorium Struktur, Departement de Ge'nie Civil, INSA - Toulouse, Perancis.*

## SUMMARY

*This paper presents the problem of shrinkage in concrete structure. Shrinkage in concrete can not be avoided, even in a high quality concrete. So that the only thing to do is to reduce this phenomenon. It occurs in quite long term, but a large part of this, will take place at early age of concrete.*

*Reduction of the shrinkage will be profitable for reinforced concrete, as will as prestressed concrete. For reinforced concrete, the shrinkage my caused some cracks and loss of prestress in prestressed concrete stuctures.*

*Some tests were carried out to obtain more information in this field. The reinforced concrete beams were tested after their casting and they had rectangular cross sections.*

*These tests were carried out at the Laboratory of Structures, Department of Civil Engineering, INSA - Toulouse, France.*

## I. PENDAHULUAN

Dalam pekerjaan beton sehari-hari, susut dalam beton dapat dikatakan tidak begitu dipersoalkan. Namun apabila kita menghadapi pekerjaan - pekerjaan yang memerlukan ketelitian, misalnya beton prategang atau pekerjaan - pekerjaan penelitian di Laboratorium, baru masalah susut ini muncul, karena akan menimbulkan awal baik pada tulangan maupun pada beton.

### 1.1. Macam - macam Susut

Ditinjau dari penyebabnya, susut pada beton ada tiga macam :

#### a). Susut hidrolis sebelum pengikatan semen.

Susut ini terjadi misalnya karena penguapan yang berlebihan, seperti apabila pada waktu pengecoran, cuaca panas, angin cukup besar atau di bawah sinar matahari langsung. Atau juga apabila cetakan betonnya terlalu berpori sehingga dapat banyak mengisap air.

#### b). Susut Termik.

Proses pengikatan dari semen yang diikuti dengan pengerasan, beton akan mengeluarkan panas hidrasi. Pada waktu beton ini mendingin, maka akan terjadi penyusutan.

#### c). Susut hidrolis setelah pengikatan.

Susut ini yang lebih umum dikenal orang, salah satu pendapat mengenai susut ini adalah pendapat Freyssinet. Pendapat ini mengemukakan, bahwa beton ini merupakan benda padat yang mengandung banyak kapiler. Kapiler ini pada waktu permulaan beton mengeras penuh dengan air. Hidrasi dan penguapan secara bersama-sama berusaha mengosongkan atau mengurangi air dalam kapiler-kapiler tersebut. Kalau kapiler yang tadinya penuh dengan air, kemudian airnya kosong atau berkurang, maka akan timbul tegangan pada dinding kapiler yang bersangkutan, sehingga kapilernya akan mengecil.

## 1.2. Faktor-faktor yang mempengaruhi Susut

Adapun faktor - faktor yang mempengaruhi susut adalah :

### a). Jenis Semen.

Umumnya semen yang mengeluarkan panas hidrasi yang tinggi akan mempunyai susut yang lebih besar dari pada semen yang mengeluarkan panas hidrasi yang rendah. Tinggi rendahnya panas hidrasi yang dikeluarkan oleh suatu jenis semen tergantung dari besar kecilnya persentase komponen - komponen tertentu yang terkandung oleh semen tersebut.

### b). Kehalusan Semen.

Dalam campuran beton, semen mempunyai butiran yang lebih kecil daripada pasir (agregat halus). Seperti halnya bahan butiran (pasir dan kerikil), besar butiran semen juga tidak seragam. Tetapi apabila butiran semen makin halus berarti makin banyak menyerap air, karena permukaan spesifiknya makin besar, di mana hal ini akan memperbesar susut.

### c). Kuantitas Semen.

Susut makin besar apabila kuantitas semen makin besar. Hal ini mudah dimengerti karena semen dalam suatu campuran beton merupakan bahan padat yang mempunyai butiran halus. Dengan demikian apabila jumlahnya makin besar, maka jumlah air yang diserapnya akan makin banyak.

### d). Kelembaban Udara.

Apabila kelembaban udara turun (udara makin kering), penyusutan beton akan besar, karena air dari beton yang menguap makin bertambah.

### e). Kekompakan Beton.

Beton yang kompak berarti beton yang padat. Kepadatan beton makin baik, susut makin kecil.

### f). Dimensi Dari Elemen Struktur.

Susut makin besar apabila perbandingan antara permukaan dengan volume makin besar, karena penguapan air dari beton, akan melalui bagian yang kontak dengan udara luar.

## II. PERHITUNGAN TEORITIS

### 2.1. Perhitungan Susut Beton

Untuk meramalkan besarnya susut yang akan terjadi, **CEB-FIP/1970 (2)** menyajikan rumus sebagai berikut :

$$\epsilon_r = \epsilon_c \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_p \cdot K_t$$

Di mana :

$\epsilon_r$  = Deformasi akibat susut

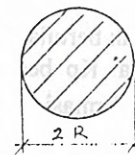
$\epsilon_c$  = koefisien yang tergantung dari kelembaban relatif udara

$K_b$  = koefisien yang tergantung dari komposisi dari beton, yaitu jumlah semen tiap  $m^3$  beton dan

perbandingan  $\frac{\text{air}}{\text{semen}}$

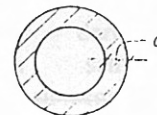
$K_c$  = Koefisien yang tergantung dari dimensi dari elemen struktur, di mana digunakan istilah tebal fiktif  $e_m$  yang dinilai sama dengan luas penampang dibagi dengan setengah keliling yang kontak dengan udara. Adapun penjelasannya sebagai berikut :

- Penampang Lingkaran Penuh (masif) :



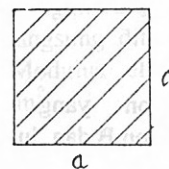
$$e_m = R \text{ (jari jari)}$$

- Penampang Pipa



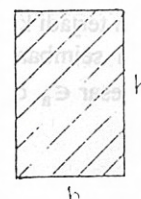
$$e_m = d \text{ (tebal pipa)}$$

Penampang Bujur Sangkar dengan sisi a



$$e_m = \frac{a}{2}$$

- Penampang Segi Empat dengan ukuran b x h



$$e_m = \frac{b \cdot h}{b + h}$$

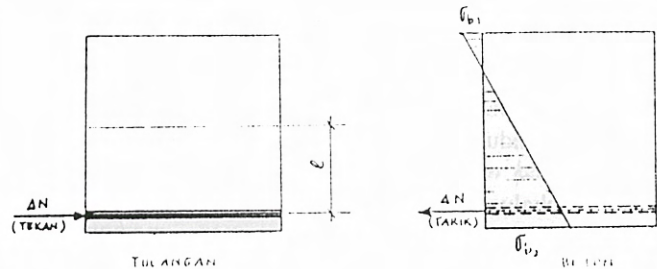
- Pelat dengan tebal  $d$



$$e_m = d$$

Untuk dapat dicapai keseimbangan bidang 1'2' tersebut, harus bekerja gaya tekan pada tulangan dan gaya tarik pada beton, di mana gaya ini harus sama besar tetapi arahnya berlawanan, misalnya sebesar  $\Delta N$ .

Gambar 2  
KESEIMBANGAN GAYA



$K_p$  = koefisien yang tergantung dari persentase geometri tulangan memanjang  $p$ , di mana :

$$K_p = \frac{1}{1 + np}, \text{ dengan } n = 20$$

$K_t$  = Koefisien yang tergantung dari umur beton dan dimensi elemen struktur ( $e_m$ )

Koefisien - koefisien di atas disajikan oleh CEB - FIP dalam bentuk diagram-diagram.

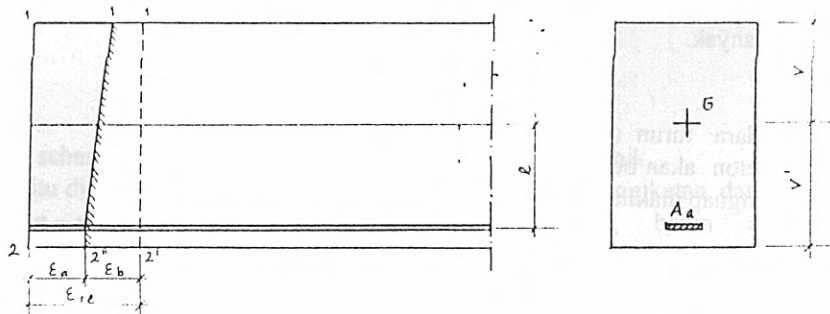
### 2.2. Tegangan - tegangan yang Timbul Akibat Susut

Apabila susut terjadi pada beton tidak bertulang, berarti tidak ada pengaruh tulangan, maka  $K_p$  bernilai sama dengan 1. Dengan demikian deformasi susut  $\epsilon_r$  merupakan deformasi susut bebas ( $\epsilon_{r1}$ ).

Selanjutnya apabila :

- $A_a$  = luas tulangan
- $B_b$  = luas beton
- $I_b$  = momen inersia beton
- $E_a$  = modulus elastisitas tulangan
- $E_b$  = modulus elastisitas beton

Gambar 1  
MEKANISME SUSUT PADA BETON BERTULANG



Misalkan sebuah balok beton yang mempunyai penampang segi-4 dengan luas beton  $B$  dan luas tulangan  $A$ , yang berjarak  $e$  dari titik berat  $G$ , seperti pada Gbr 1. Jika terjadi susut bebas bidang 1'2' akan bergerak menjadi bidang 1'2', dimana jarak bidang 1'2' dan bidang 1'2' adalah  $\epsilon_{r1}$ . Oleh karena susut bebas ini ditahan oleh tulangan, maka tulangan ini akan tertekan dan sebaliknya beton akan tertarik. Akhirnya akan terjadi keseimbangan bidang 1'2', dan dalam keadaan seimbang ini terjadi deformasi tekan pada tulangan sebesar  $\epsilon_a$  dan deformasi tarik pada beton sebesar  $\epsilon_b$ ,

$$\text{maka : } \epsilon_a = \frac{\Delta N}{A_a \cdot E_a} \dots \dots \dots (2)$$

$$\epsilon_b = \frac{\Delta N}{E_b} \left( \frac{1}{B_b} + \frac{e^2}{I_b} \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{di mana : } \epsilon_{r1} = \epsilon_a + \epsilon_b \dots \dots \dots (1)$$

Jika persamaan (2) dan (3) dimasukkan ke dalam persamaan (1) :

$$\epsilon_{r1} = \frac{\Delta N}{A_a \cdot E_a} + \frac{\Delta N}{E_b} \left( \frac{l}{B_b} + \frac{e^2}{l_b} \right)$$

$$\Delta N = \frac{\epsilon_{r1}}{\frac{l}{A_a \cdot E_a} + \frac{l}{E_b} \left( \frac{l}{B_b} + \frac{e^2}{l_b} \right)}$$

$$= \frac{\epsilon_{r1} A_a B_b}{A_a E_a + \frac{e^2 B_b}{l_b} \left( 1 + \frac{A_a E_a}{B_b E_b} \right)}$$

Jika :  $\frac{E_a}{E_b} = n$  ;  $\frac{A_a}{E_b} = p$  , dan

$$1 + \frac{e^2 B_b}{l_b} = k, \quad \text{maka}$$

$$\Delta N = \frac{\epsilon_{r1} A_a B_b}{1 + n p k} \quad (4)$$

$\epsilon_{r1}$  dapat diketahui (dihitung) tersendiri dengan rumus CEB - FIB / 1970 di atas.

Selanjutnya dapat dihitung tegangan - tegangan yang terjadi pada tulangan dan pada beton.

Tegangan pada tulangan  $\sigma_a = \frac{\Delta N}{A_a}$  dan tegangan pada beton :

- Pada serat atas :  $\sigma_{b1} = \Delta N \left( \frac{l}{B_b} - \frac{e.v}{l_b} \right)$

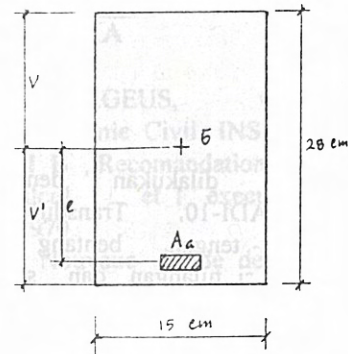
- Pada serat bawah :  $\sigma_{b2} = \Delta N \left( \frac{l}{B_b} + \frac{e.v}{l} \right)$

### III. PERCOBAAN

#### 3.1. Karakteristik Benda Uji

Benda uji merupakan balok bertulang, yang mempunyai penampang segi-4 dan panjang 4 m. Adapun ukuran penampang dan lain-lainnya seperti terlihat pada Gbr. 3.

Gambar 3  
KARAKTERISTIK PENAMPANG



- luas beton :  $B_b = 415 \text{ cm}^2$
- momen meosis :  $I_b = 26763 \text{ cm}^4$
- eksentrisitas tulangan =  $e = 11,6 \text{ cm}$
- jarak serat atas dari titik berat :  $V = 14,10 \text{ cm}$
- jarak serat bawah dari titik berat :  $V' = 13,9 \text{ cm}$ .
- luas tulangan  $A_a = 5,08 \text{ cm}^2$

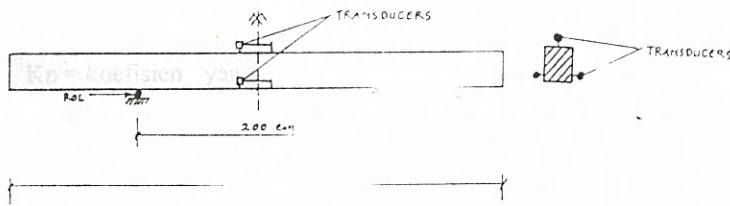
Beton terbuat dari batu pecah dan abu batu dengan jumlah semen  $400 \text{ kg/m}^3$  beton dan perbandingan air semennya sama dengan 0,5. Dengan batu pecah sebanyak  $1159 \text{ kg/m}^3$  beton dan abu batu  $665 \text{ kg/m}^3$  beton, ketebalan beton ditunjukkan dengan slump test sebesar 5 cm.

Cetakan beton terbuat dari baja profil (UNP) sehingga tidak ada air yang meresap ke dalam cetakan dan setelah beton dicor langsung ditutup plastik, untuk menghindari penguapan. Modulus elastisitas tulangan beton adalah :  $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

#### 3.2. Pengukuran

Cetakan beton dibuka setelah beton berumur 3 hari. Mulai saat ini baru diadakan pengukuran susut. Untuk pengukuran susut tersebut balok diletakan seperti Gambar 4, agar pengaruh berat sendiri dapat diabaikan.

## PERKEMBANGAN SUSUT



Pengukuran susut dilakukan dengan bantuan tiga transducers CADI-10. Transducers tersebut diletakan di tengah-tengah bentang balok, dua diletakan pada tumpuan tulangan dan satu pada serat atas. Pengukuran tersebut dilakukan sampai beton berumur 28 hari.

## IV. HASIL PENELITIAN

Perhitungan teoritis susut bebas ( $\epsilon_{r1}$ ) menurut CEB-FIP/1970 adalah :

- Pada umur 14 hari ;  $\epsilon_{r1} = 9,61 \cdot 10^{-5}$
- Pada umur 28 hari ;  $\epsilon_{r1} = 13,38 \cdot 10^{-5}$

Apabila harga-harga ini dimasukkan pada rumus (4) maka :

- Pada umur 14 hari ;  $\Delta N = 583,4 \text{ Kg}$
- Pada umur 28 hari ;  $\Delta N = 813 \text{ Kg}$

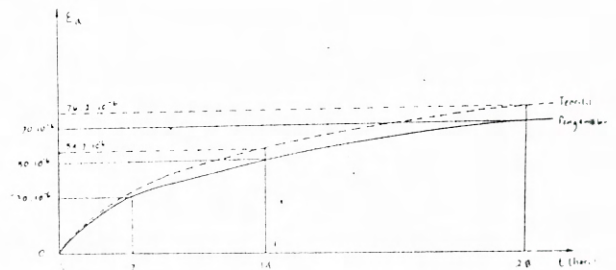
Dengan mengambil contoh  $E_a = 2,1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2$ , maka dapat diperoleh deformasi - deformasi tulangan sebagai berikut :

Tabel 1  
DEFORMASI TULANGAN

Deformasi Tulangan	7 Hari	14 Hari	28 Hari
Harga Teoritis	-	$54,7 \cdot 10^{-6}$	$76,2 \cdot 10^{-6}$
Pengamatan	$30 \cdot 10^{-6}$	$50 \cdot 10^{-6}$	$70 \cdot 10^{-6}$

Jika hasil-hasil ini digambarkan dalam bentuk kurva, maka bentuknya seperti terlihat pada gambar-5. Gambar ini juga menggambarkan perkembangan susut beton di tempat tulangan.

Gambar 5  
PERKEMBANGAN SUSUT BETON DI TEMPAT TULANGAN



Apabila tegangan-tegangan pada umur beton 28 hari di hitung, maka hasilnya seperti terlihat pada Tabel 2

Tabel 2  
TEGANGAN-TEGANGAN BETON PADA 28 HARI

Gaya dan tegangan	Gaya Pada Tulangan N(Kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Pada Tulangan $\sigma_a$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Beton Pada Serat Atas $\sigma_{b1}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tegangan Beton Pada Serat bawah $\sigma_{b2}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
Teoritis	+ 813	+ 160	+ 3	- 7
Pengamatan	+ 750	+ 148	+ 2,77	- 6,33

Keterangan : Tanda + = Tekan  
Tanda - = Tarik

## V. PEMBAHASAN

Dari tabel-2 dapat dilihat, bahwa harga-harga teoritis dan pengamatan sangat dekat. Tegangan tarik yang timbul ( $\sigma_{b2}$ ) cukup besar, yaitu sama dengan  $7 \text{ Kg/cm}^2$ , di mana serat ini pada waktu pelayanan (struktur telah berfungsi) akan mengalami tarikan juga. Padahal tegangan tarik akibat susut tersebut terjadi pada beton mutu tinggi, di mana kekuatan tekan selinder ( $\sigma_{bc}$ ) mempunyai harga rata-rata sama dengan  $435 \text{ Kg/cm}^2$  dan kekuatan tariknya ( $\sigma_{bt}$ ) sama dengan  $33 \text{ Kg/cm}^2$ . Apabila merujuk kepada P. B. I - 1971 [4], tegangan tarik  $7 \text{ Kg/cm}^2$  itu sama dengan tegangan tarik yang diizinkan untuk K-225, beton yang cukup tinggi mutunya. Dengan demikian, andaikata mutu beton kurang dari K-225 maka kemungkinan akan terjadi retak prematur pada beton tersebut akibat susut yang terjadi.

Dapat ditambahkan, bahwa apabila ditinjau dari besarnya deformasi yang terjadi pada umur 28 hari, maka nilai susut yang bersangkutan adalah kecil, yaitu 7  $\mu$  atau 0,07 mm setiap meternya, tetapi menimbulkan tegangan yang cukup berbahaya pada beton yang bersangkutan.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Evaluasi teoritis tentang susut beton yang disajikan oleh CEB-FIP / 1970 sangat memuaskan. Bagi tulangan beton, tegangan akibat susut ini tidak membahayakan, karena tegangan pada tulangan tersebut merupakan tegangan tekan, sedangkan pada waktu memikul beban, tulangan ini akan memikul tegangan tarik.

Sebaliknya untuk beton, tegangan akibat susut beton cukup riskan, karena di samping tegangan yang timbul merupakan tegangan tarik, juga besarnya tegangan cukup berarti dibandingkan dengan kekuatan tarik dari beton itu sendiri. Hal ini mungkin akan menimbulkan retak prematur pada beton.

### 6.2. Saran

Untuk mengurangi kemungkinan terjadinya susut yang besar, maka harus diperhatikan konsistensi (kekentalan) dari beton. Sebaiknya beton yang digunakan mempunyai keenceran maksimum sama dengan konsistensi plastik (mempunyai nilai slump  $\pm 7$  cm).

Dewasa ini ada kecenderungan, bahwa untuk memudahkan pengecoran, konsistensi beton diencerkan dengan menambahkan air pengaduk.

Kemudian untuk mencapai kekuatan yang diisyaratkan, maka beton tersebut ditambah semen. Dari segi kekuatan mungkin akan meningkat, akan tetapi dari segi besarnya susut pasti akan melonjak, karena jumlah semen dan air pengaduk merupakan faktor yang dominan dalam masalah susut dalam beton.

## DAFTAR PUSTAKA

1. CHARLES - GIBAGEUS, Cours de Beton Departement de Genie Civil, INSA
2. C E B - F I P, Recomandation Internationales pour le calcul et l'execution des ouvrages en beton - 1970
3. G .DREUX, Nouvaue Guide de Beton, Editions Egorlles, Paris 1979
4. P . B . I, Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 - N.I. - 2

### Penulis :

Prof. Dr.Ir. H.Ridwan Suhud, DEA, , dosen pada jurusan Teknik Sipil ITB. S3 Bidang Beton Prategang Persial dari Institute National Des Sciences Appliques (INSA) Toulouse - Perancis