

# HUBUNGAN ANTARA TEGANGAN-REGANGAN (STRESS - STRAIN RELATIONSHIPS) PADA BETON

**Muhammad Hasbi Arbi**

Dosen Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Almuslim

## ABSTRACT

*Thereinforced concrete structures has been used more of structureswhere the compressive force was endured by concrete coused compressive stress and steel has tensile strength so it be coused tensile stress be holded by steel.The compressive strength concrete is usually obtained from cylinders with a hight to diameter ratio of 2. The cylinders are loaded longitudinally at a slow strain rate to reach maximum stress in 2 Or 3 minutes. The stress-strain curves obtained from concrete cylinders loaded in uniaxial compression in a test conducted over several minutes. The stress-strain relationships can be showed at stress-strain curve , where this curve can be obtained from cylinders test with uniaxial compressive test, biaxial compressive test and triaxial compressive test, with high intensity repeated axial compressive cycle loading. The axial stress-strain curve obtained by Richart at all for compression test conducted on concrete cylinders. The cyliders confined laterally by fluid pressure. For each curve the fluid pressure held constant while the axial compressive stress was increased to failiure and the axial strain measured.The tensile strength of concrete generally less than 20 % of compressive strength, can be obtained directly from tension specimens. Tensile strength of concrete may be measured indirectly in term of the computed stress at wich a cylinder placed horizontally in a testing machine and loading along the loaded diameter will split, and can be also be evaluated by means of bending test conducted on plane concrete beams.The tension stress-strain relationships can be obtained from those testings.*

**Key Words:** *Stress - Strain Relationships*

## PENDAHULUAN

Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan, baik untuk bangunan ringan maupun bangunan berat, karena beton mempunyai kuat tekan yang besar sedangkan gaya tarik sangat kecil. Jika dilihat dari komposisi beton terdiri dari campuran agregat, semen dan air atau bahan tambahan lainnya, bahan-bahan tersebut menjadi padat dan keras karena semen dan air mengalami proses kimia mengikat agregat sampai menjadi sangat keras. Dalam struktur bangunan, beton dipercayakan untuk menahan gaya tekan sedangkan gaya tarik ditahan oleh tulangan baja, maka beton yang diberi tulangan disebut beton bertulang (*reinforced concrete*).

Beton yang mengalami gaya tekan tentunya menimbulkan tegangan (*stress*) di dalam beton. Tegangan ini menyebabkan bahan beton mengalami regangan (*strain*), sehingga perlu kiranya untuk mengetahui hubungan antara tegangan dan regangan pada beton.

### Sifat Tegangan Satu arah (*Uniaxial Stress Behavior*)

Dalam praktek beton jarang menunjukkan tegangannya dalam satu arah (*uniaxial stress*), untuk ini banyak dari konstruksi beton structural, tegangan yang terjadi bersamaan dengan arah gaya yang diberikan, dengan kata lain suatu uniaxial stress dapat terjadi dalam segala arah.

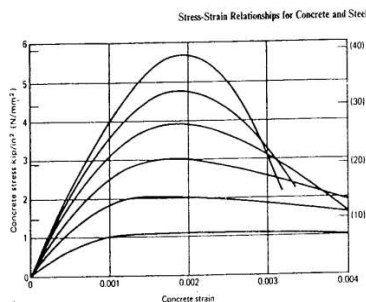
### Sifat Tegangan Tekan (*Compressive Stress Behavior*)

Kekuatan tekan dari beton biasanya diperoleh dari contoh (*sumple*) berbentuk silinder dengan ketinggian dan diameter berbanding: 1 : 2, sehingga sampel tersebut dibebani dalam arah memanjang secara pelan-pelan, sehinggatercapai tegangan maksimum dalam 2 atau 3 menit.Umumnya bentuk standar dari silinder, tinggi = 12 inchi ( 305 mm), diamerter = 6 inchi (152 mm) dan kekuatan tekan diperoleh setelah beton berumur 28 hari adalah lebih kurang 80 % dari kuat tekan maksimum beton

tersebut,yaitu antara 2000 dan 8000 psi (13,3- 55,2 N/mm<sup>2</sup>).

Untuk ukuran silinder yang lebih kecil atau kubus juga digunakan khususnya untuk mengontrol kekuatan tekan dan ternyata kubus memperoleh penyimpangan dari hasil testing diperoleh kekuatan lebih besar. Dengan memperhatikan faktor perbandingan dari kedua bentuk sampel tersebut, diperolehlah suatu hasil sehingga dapat menentukan bentuk standar dari sampel yang mempunyai kekuatan yang hampir sama. Gambar: 1, menunjukkan macam-macam kurva : tegangan-regangan diperoleh dari hasil test sampel silinder yang dibebani satu arah (*uniaxial*) dalam bebe-rapa menit. Kurva-kurva tersebut mendekati garis lurus kira-kira 1 – 1/2 kekuatan tekan. Puncak kurva untuk beton bermutu tinggi berbentuk agak tajam, sedangkan untuk beton bermutu lebih rendah, bentuk kurva- nya agak tumpul. Dari berat nominan beton,  $E_c$  dapat diambil:

$$E_c = 57.000 V_f^c \text{ (psi) atau } 4730 V_f^c \text{ (N/mm}^2\text{)}$$



Gambar 1 Kurva tegangan-regangan untuk beton pada sampel silinder dengan gaya satu arah (*uniaxial*)

Besar regangan (*strain*) pada tegangan (*stress*) maksimum  $\pm 0.002$ , regangan semakin besar jika tegangan maksimum dilampaui, tegangannya masih ada walaupun dalam arah parallel dengan arah gaya menjadi lebih nyata. Untuk test plastisitas beton digunakan mesin test yang lebih besar, jika beton tidak dapat mempertahankan gaya regangan dari mesin test, ketika tegangan beton maksimum dilewati, sehingga sampel menjadi hancur (*failuare*).

Medulus elastisitas dari beton :

$$E_c = W^{1.5} \cdot 33V_f^c \text{ (psi)}$$

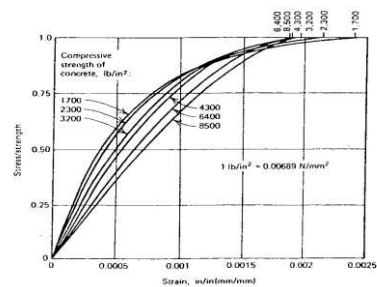
Dimana :

$W$  = dencity beton (lb/ft<sup>3</sup>)

$f'_c$  = kekuatan tekan sampel

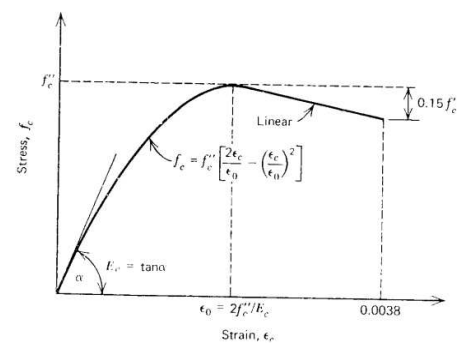
$W$  diambil antara 90 – 155 lb/ft<sup>3</sup>, ditentukan oleh: Pauw dengan test pembebanan sementara:  $E_c$  pada stress  $\pm 0,5 f'_c$  .

Test yang dilakukan oleh *Rusch*, menunjukkan bahwa bentuk kurva : tegangan - regangan sebelum tegangan maksimum, tergantung dari kekuatan beton (lihat Gambar 2).



Gambar 2 Hubungan antara tegangan dan regangan untuk beton yang berbeda mutu.

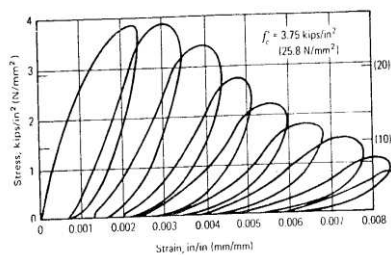
Bagaimanapun pada umumnya digunakan suatu perkiraan untuk bentuk dari kurva Stress-strain sebelum stress maksimum adalah bentuk para bola yang kedua. Contoh: Penelitian yang sering dilakukan oleh; Hognestard, tentang curva: tegangan – regangan (Stress–strain) ditunjukkan dalam gambar 3, dimana:  $f'_c$  adalah tegangan maksimum yang dicapai dalam beton.



Gambar 3 Kurva tegangan-regangan standar untuk beton dengan beban satu arah

Setelah tegangan maksimum dilewati, sumpel mengalami retak yang besarnya tergantung dari batas ketahanan regangan

beton. Tegangan tekan maksimum yang dicapai oleh beton yang mengalami lenturan murni  $f_c$  boleh menyimpang dari hasil testing kekuatan beton yang berbentuk silinder ( $f_c'$ ) karena perbedaan ukurannya. Ketika beban diberikan pada suatu batang yang mempunyai regangan yang tetap, kedua dari modulus elastisitas dan kekuatan beton bertambah, hal ini telah diketahui bahwa untuk besar regangan 0,001 mm/sec, kekuatan beton bertambah 17 %. Pada pemberian gaya tekan yang besar secara berulang, menghasilkan suatu histerisis efek dari kurva tegangan – regangan (*stress-strain*). (Gambar. 4)



Gambar 4 Kurva stress-strain untuk silinder beton dengan intensitas tinggi pembebanan aksial secara berulang (*Compressive cyclic loading*)

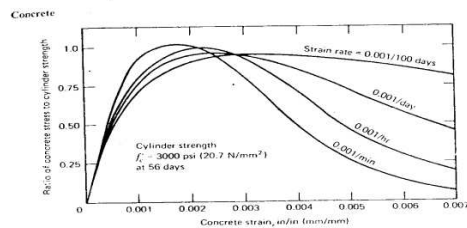
Oleh *Shinka, Gerstle dan Tulin*, untuk perubahan regangan yang lambat. Test mereka dan *Karsan & Jirsa*, menunjukkan bahwa the envelope curve hampir sama dengan kurva yang diperoleh dari suatu pembebanan yang tetap.

*Rusch* yang telah menggabungkan antara test dengan pembebanan tetap, telah diperoleh bahwa kekuatan tekan untuk pembebanan tetap hanya diperoleh 80 % dari kekuatan untuk menahan beban sementara. Dimana pembebanan sementara memberikan kekuatan lebih besar untuk sampel yang sama, yang mana pembebanan tersebut diberikan sampai betonnya hancur dalam waktu 10 menit.

Dalam praktek kekuatan beton diperhatikan dalam perencanaan konstruksi, biasanya berdasarkan pada pembebanan pada umur beton mencapai 28 hari dengan beban sementara. Kekuatan beton berkurang jika beton tersebut dibebani dengan pembebanan tetap dan maka dapat

diingat bahwa, kekuatan beton berkurang apabila dibebani dengan muatan tetap dan mutu dari beton untuk mencapai kekuatan yang lebih besar, pada saat umur beton lebih lama.

Hal ini juga kapasitas factor reduksi adalah hasil ketika tegangan tekan beton mencapai titik kritis. Regangan karena pembebanan tetap sering kali menyebabkan perubahan dalam bentuk kurva stress – strain. Beberapa kurva diperoleh oleh *Rusch* untuk bermacam muatan (Gambar. 5) yang menunjukkan bahwa, dengan mengurangi besarnya regangan, harga dari tegangan maksimum tercapai, maka regangan berkurang perlahan-lahan, tetapi penurunan ujung dari kurva agak lebih lambat, regangan pada tegangan maksimum bertambah.



Gambar 5 Stress – Strain curve dengan bermacam-macam besarnya beban axial.

### Sifat Tegangan Tarik (*Tensile Stress Behavior*)

Tegangan tarik beton lebih kecil dari 20 % tegangan tekan beton, ini dapat diperoleh langsung dari percobaan dengan ditarik pada kedua ujungnya. Bagaimanapun sukarnya untuk memegang sumpel pada kedua ujung waktu ditarik, tentunya juga menimbulkan tegangan-tegangan skundaer yang disebabkan oleh alat pemegang. Test tarik secara langsung jarang dilakukan terkecuali untuk maksud riset. Tegangan tarik beton diukur, waktu menghitung tegangan tarik dengan meletakkan sebuah sampel (silinder) beton pada arah horizontal mesin test yang kemudian dibebani sampai diameter sampel putus, Cara pelaksanaan testing, berkurangnya tegangan sepanjang diameter sama dengan yang didapat dari teori elastis yang terlukis pada gambar 6 .

Tegangan tarik pada penampang putus diperoleh dari hubungan  $= 2P / \pi h d$ .

Dimana:

P = gaya tarik yang diberikan

h = panjang sampel (silinder)

d = diameter silinder

Tegangan tarik beton dapat juga dievaluasi dengan test lenturan pada suatu balok beton, Balok tersebut biasanya berukuran: 6"/6" atau 15/15 (cm). Tegangan tarik pada lenturan murni dapat diketahui dari modulus of rupture  $f_c$  dari rumus :

$$f_c = M / Z$$

Dimana:

M = Momen lentur maksimum

Z = section modulus dari penampang.

Tegangan tarik maksimum dari sampel silinder berkisar dari 50 - 75 % dari modulus of Rupture. Perbedaan ini kemungkinan besar karena adanya distribusi tegangan dalam beton akibat lenturan tidak linear ketika runtuh.

Suatu pendekatan dari modulus of rupture:

$$f'_c = K \cdot V \cdot f_c \text{ (psi)}$$

Dimana:

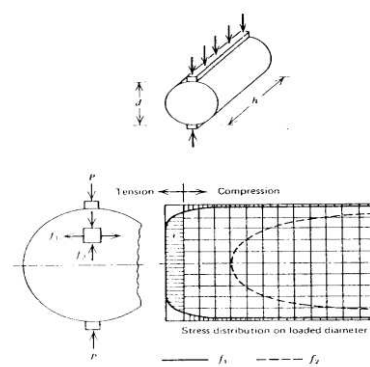
$f'_c$  = kekuatan sampel (silinder) (psi)

K = 7 dan 15 untuk pasir dan kerikil

Biasanya K diambil = 7,5

Hal tersebut menunjukkan bahwa kenaikan tegangan tekan tidak disertai oleh perbandingan naiknya *Modulus of Rupture*. Karena tegangan tarik dari beton sangat kecil, maka tegangan tarikan dari beton tidak diperhitungkan dalam perencanaan. Jika tegangan tarik diperhitungkan maka bagaimanapun kurva Stress-Strain untuk tarikan boleh dianggap sebagai garis lurus sampai batas tegangan tarik maksimum. Besaran dari *Modulus of Elasticity* (E) dalam tarikan dapat disimpulkan sama dengan tekan (*compression*).

Stress-Strain Relationships for Concrete and Steel



Gambar. 6 ,Test membelah silinder untuk kekuatan tarik.

### Poisson' Ratio

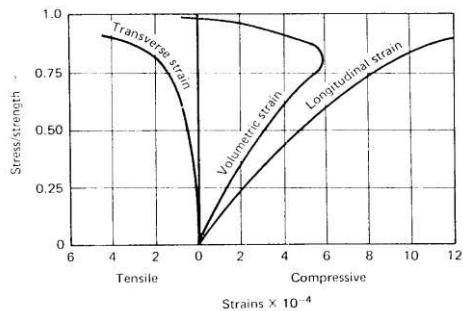
Perbandingan antara regangan arah melintang dan regangan arah gaya (memanjang) disebut *Poisson's Ratio*, yang besarnya antara: 0,15 – 0,20 untuk beton. Walaupun begitu, harga 0,10 – 0,30 telah ditetapkan. Banyak keterangan-keterangan yang diberikan, kurang dapat dipercaya untuk menyalahi variasi *Poisson's Ratio* tersebut. Tetapi umumnya bahwa *Poisson's Ratio* tergantung dari sifat beton itu sendiri, makin tinggi mutu beton makin kecil *Poisson's Ratio* nya.

Pada tegangan tekan yang besar regangan arah melintang menjadi lebih besar sampai kelihatan menjadi lebih besar sampai kelihatan memulainya membesar volume dari sampel. Regangan-regangan diukur pada sampel yang dites sampai hancur (*failure*), dilukiskan pada gambar: 7.

Selama muatan diberikan volume dari sampel mengecil, tetapi pada saat tegangan mencapai maksimum, regangan melintang mulai membesar sehingga volume sampel membesar, ini menunjukkan batas kekuatan beton. Keruntuhan sampel yang dibebani satu arah (*uniaxial*), biasanya disertai oleh belahan dalam arah sejajar dengan arah beban, dan volume sampel membesar.

### Sifat Penggabungan Tegangan (*Combined Stress Behavior*)

Pada banyak situasi dari konstruksi beton yang dibebani langsung akan menimbulkan tegangan geser kesegala arah. Dengan memperhatikan keseimbangan gaya.



Gambar 7 Pengukuran regangan beton yang dibebani dengan beban tekan satu arah yang terdapat pada suatu elemen dari beton

Menunjukkan bahwa tiap kondisi hubungan tegangan dapat dikurangi menjadi tiga tegangan normal yang bekerja bersamaan dan tegak lurus pada bidang. Ketiga tegangan normal ini adalah tegangan utama tegangan geser yang bekerja pada bidang tersebut menjadi nol. Dalam suatu riset yang terus menerus dan menjengkelkan, diperoleh suatu teori yang belum bisa dipercayai dan belum dikembangkan untuk kehancuran kekuatan beton secara umum dalam tiga dimensi.

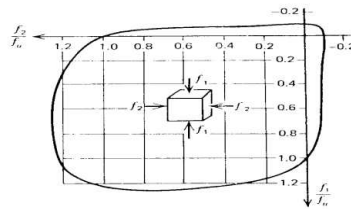
Perbaikan dari teori-teori kompen-sional tentang kekuatan material telah dicoba, tetapi tidak ada satu teori yang cocok digunakan untuk semua masalah. Dalam banyak penerapan, bagaimana pun satu dari teori-teori yang sederhana tentang kahancuran memberikan hasil yang cukup akurat.

**Sifat Tegangan dua arah (Biaxial Stress Behavior)**

Suatu kondisi tegangan dua arah terjadi jika tegangan utama bekerja hanya dalam dua arah, yaitu tegangan-tegangan bekerja pada satu bidang dan tegangan utama yang ke tiga sama dengan nol. Gambar 8, menunjukkan kombinasi dari tegangan langsung dalam dua arah yang menyebabkan kehancuran seperti diperoleh oleh Kupfer, Hilsdorf dan Rusch. Penelitian ini menyimpulkan bahwa kekuatan beton yang dibebani dalam dua arah (biaxial) diperoleh kekuatannya 27 % lebih besar dari satu arah. Dengan cara yang sama tegangan tekan dalam dua arah, kekuatan meningkat lebih kurang 16 %. Kekuatan yang

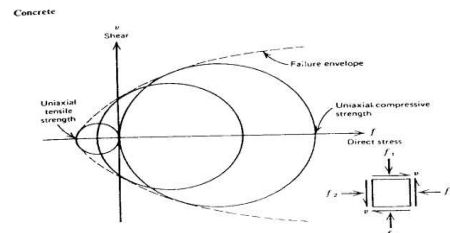
disebabkan tekanan dua arah adalah lebih kurang sama dengan kekuatan yang disebabkan oleh tekanan satu arah.

Catatan: namun begitu dengan menggabungkan gaya tarik dan gaya tekan dalam waktu yang sama, dapat mengurangi tegangan tarik dan tegangan tekan pada saat hancur (Failure).



Gambar 8 Kekuatan beton dua arah,  $f_u$  = kekuatan satu arah

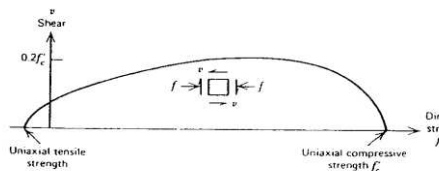
Pada bidang yang lain yaitubidang gaya geser dengan disertai tegangan geser. Theori Mohr tentang kehancuran telah digunakan untuk ramalan kekuatan pada keadaan gabungan tegangan-regangan tersebut.



Gambar 9 Kekuatan beton dalam 2 dimensi system tegangan.

Gambar 9 menunjukkan bagaimana se-kumpulan lingkaran Mohr menggambar-kan kondisi kehancuran akibat tarikan, tekanan dan kombinasi yang lain, adalah tertutup oleh selimut kurva. Setiap kombinasi tegangan mempunyai sebuah lingkaran Mohr yang bersinggungan tegak lurus atau memotong yang dapat dipandang sebagai kondisi hancur.

Sebuahkurva yang hancur (failure curve) untuk sebuah elemen dengan tegangan langsung dan tegangan geser dikombinasikan dalam satu arah seperti dilakukan oleh Bresler dan Pister, dilukiskan pada gambar 10.



Gambar 10 Kombinasi tegangan dan geser yg menyebabkan kehancuran beton.

Kurva menunjukkan bahwa kekuatan tekan dalam beton berkurang akibat adanya tegangan geser. contoh percobaan ini menunjukkan bahwa kekuatan beton pada daerah tekan pada balok dan kolom dipengaruhi oleh adanya geser.

### Sifat Tegangan Tekan dalam TigaArah / Demensi (*Triaxial Compressive Stress Behavior*)

Kekuatan dan keliatan beton meningkat sangat besar pada saat gaya tekan diberikan dalam tiga demensi. Richart, Brandtzcag, dan Brown mendapatkan hubungan sebagai berikut untuk sampel beton berbentuk silinder yang dibebani secara aksial sampai hancur dimana subject dibatasi dengan tekanan zat cair.

$$f'_{cc} = f'_c + 4,1 fl$$

Dimana:

$f'_{cc}$  = tegangan tekan aksial dari sampel yang dibatasi

$f'_c$  = Kekuatan uniaxial yang sampel yang dibatasi.

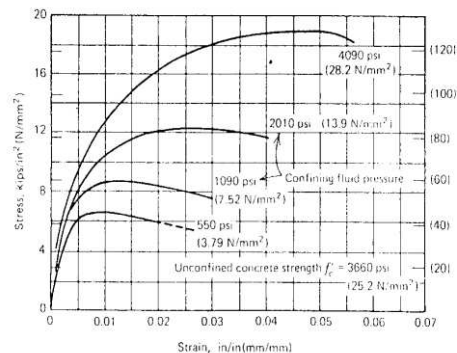
$fl$  = tekanan sisi samping dari zat cair. (lateral pressure).

Test-test yang lain oleh Balmer telah memberikan tegangan pada sisi luar yang besarnya 4,5 dan 7,0 dengan harga rata-rata 5,6 , sedikit lebih besar dari 4,1 yang

### DAFTAR PUSTAKA

Lembaga Penyelidikan Masalah Beton, Peraturan Beton. Indonesia, 1971, NI-2, Depart. Pekerjaan Umum, Bandung Park. R and Paulay.T. Reinforced Concrete Structures, A Wiley Intercience Publication John Wiley & Son's, New York. London, Sydney, Toronto, 1975.

diperoleh oleh Richard dan kawan-kawan. Harga yang besar diperoleh pada tekanan sisi samping yang kecil.



Gambar 11 Kurva tegangan–regangan dari test tekanan tiga arah pada silinder beton.(Triaxial comprssion test on concrete cylinder

Gambar 11, menunjukkan kuva tegangan-regangan oleh Richart dan kawan-kawan silinder beton. Silinder tersebut dimasukkan dalam zat cair, sehingga sisi luar silinder dibatasi/ditahan oleh zat cair. Untuk tiap silinder tekanan zat cair yang bekerja pada sisinya dijaga konstan. Walaupun tegangan tekan dinaikkan sampai silinder hancur dan regangan aksial diukur. Test ini dilakukan dalam waktu cepat. Itu ternyata bahwa setiap adanya kenaikan tekanan pada sisi luar, dapat menambah keliatan (ductility) dan juga kekuatan beton. Hal ini disebabkan karena adanya tekanan pada sisi luar (dinding) yang membatasi beton sehingga mengurangi keretakan dan pembesaran volume sebelum hancur.

Ramakrishnan V, Arthur P. D, Ultimate Strength Design for Structure Concrete, Wheeler Publishing, 1977, Delhi. Ronald C.S, Principles and Practice of Heavy Construction, Prentice-Hall Inc. New York, 1967. Rooseno. R. Ir, Beton Tulang , Cetakan keempat, Yayasan Pembangunan, 1965, Jakarta.

- Sutami, Ir , Konstruksi Beton Indonesia ,  
Diterbitkan oleh: Dept. Pekerjaan  
Umum, 1971, Jakarta.
- Vazirani V. N, Ratwani M.M, Concrete  
Structures, Khanna Publishers,  
1980, Ninth Edition, New Delhi.
- Wiratman W , Ir., Teori Kekuatan Batas,  
Dept. Pekerjaan Umum dan  
Tenaga Listrik, 1977, Jakarta.
- Wiratman W, Ir., Perhitungan Elastis  
Penampang Beton Bertulang,  
Seksi Publikasi Bagian Sipil,  
ITB, Bandung.