



# LONJAKAN DEFORMASI PADA BALOK BETON BERTULANG APABILA MENGALAMI RETAK

Oleh : H. Ridwan Suhud

## RINGKASAN

*Sampai saat ini penggunaan beton bertulang sebagai bahan struktur sangat dominan. Hal ini disebabkan karena cara pembuatannya cukup sederhana dan mudah, dengan kekuatan yang cukup andal. Seperti diketahui, bahwa konsep perhitungan beton bertulang dalam keadaan elastis didasarkan pada stadium retak. Namun demikian perjalanan dari keadaan utuh sampai retak pada beton tersebut, terjadi secara getas dan pada beban yang relatif rendah. Hal ini disebabkan karena kekuatan tarik dari beton jauh lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tekannya. Untuk mengetahui dampak retak pada beton bertulang ini, telah dilakukan percobaan-percobaan pada balok beton yang mempunyai penampang segi-4 dan dibebani dengan lentur murni. Percobaan-percobaan ini dilakukan di laboratorium struktur, Departement de Genie Civil, INSA-Toulouse, Perancis.*

## SUMMARY

*Until most recently, the use of reinforced concrete as the main material of most structures is well known. This is due to the fact that it is easy to construct and its strength is unquestionable. Basic concept used in analysing a reinforced concrete structures at elastic stage is in crack stadium. However, it is important to note that the process from uncracked to cracked section of a reinforced concrete beam occured brittly and at relatively small load. This is particularly true as tensile strength is less than its compressive one. In order to obtain more information in this field, a series of tests was carried out at Laboratory of Structures, Department of Civil Engineering, INSA-Toulouse, France. The beams were tested in pure bending and they had rectangular cross sections.*

## I. PENDAHULUAN

Beton bertulang atau beton kelas IV (1) dalam keadaan elastis direncanakan (dianalisis) berdasarkan stadium retak, sehingga timbulnya retak merupakan hal yang wajar. Namun demikian kemampuan suatu balok beton bertulang akan ditentukan ditempat retak tersebut, padahal ditempat ini geometri penampang akan berkurang dengan tajam. Seolah-olah ada kesan, bahwa beton yang terletak dibagian tarik tidak berfungsi lagi, tetapi berat sendirinya cukup dominan. Pemikiran ini menjadi dasar munculnya teknik

beton prategang. Sekalipun demikian tidak semua struktur beton bertulang dapat digantikan dengan beton prategang, sehubungan dengan kemudahan-kemudahan yang dapat diperoleh dengan menggunakan beton bertulang. Kenyataan ini tercermin dari dominasi penggunaan beton bertulang dalam struktur, baik yang ringan maupun yang berat. Memang fungsi tulangan tarik adalah untuk mengambil alih tegangan tarik yang tidak mungkin lagi dipikul oleh beton, karena betonnya sudah mengalami retak. Pada saat retak ini, akan terjadi lonjakan deformasi baik pada beton di serat tekan, maupun pada tulangan di serat tarik di tempat retak tersebut.

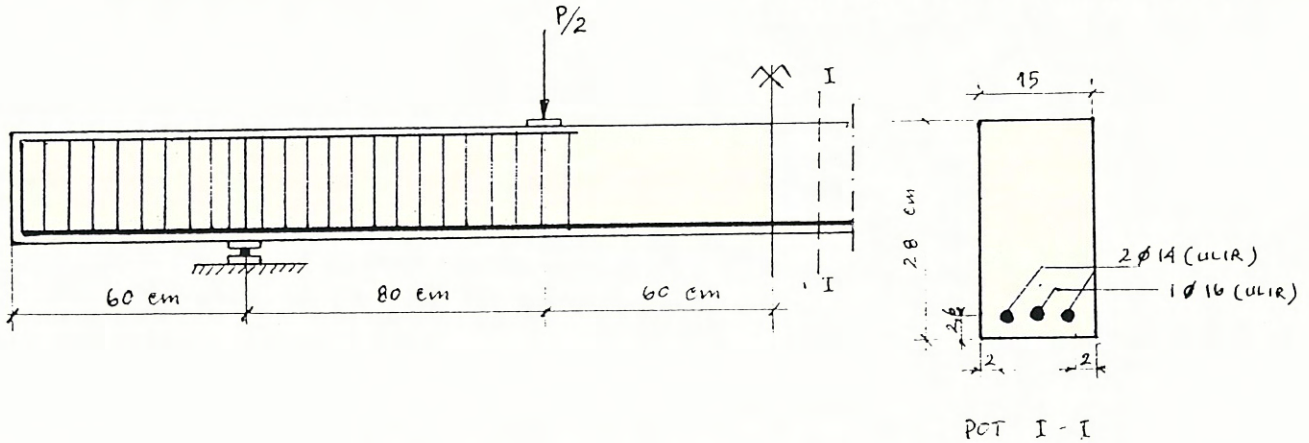
## II. PERCOBAAN

### II. 1 Karakteristik Benda Uji

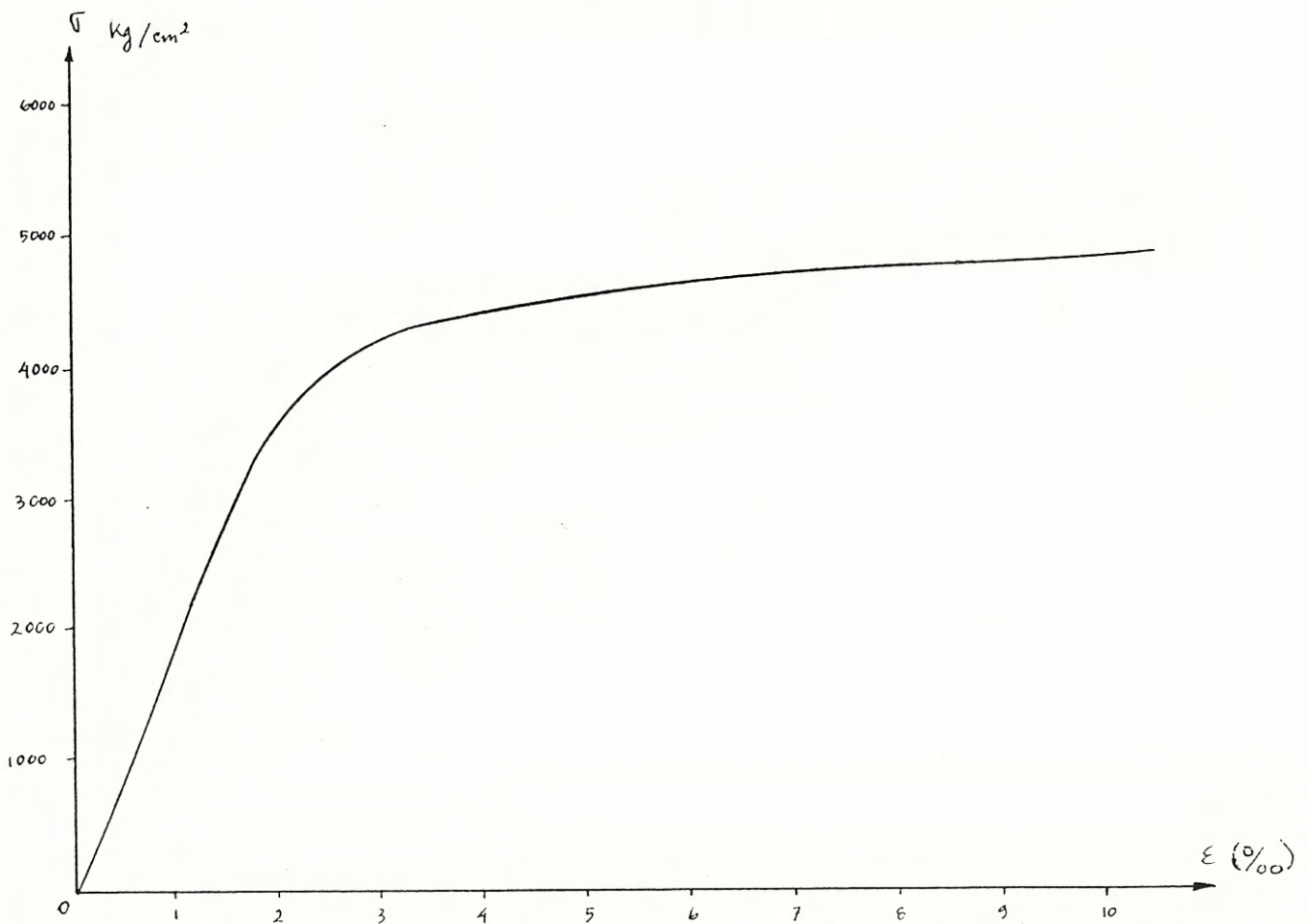
Benda Uji adalah balok beton bertulang dengan dimensi dan penulangan seperti terlihat pada gambar -1.

#### a). Besi Tulangan Biasa

Tulangan beton digunakan tulangan berulir dengan luas penampang  $5,08 \text{ cm}^2$  (1,53 %). Luas tulangan ini diambil untuk keadaan berimbang dan diagram tegangan-regangan dari tulangan tersebut seperti terlihat pada gambar -2.

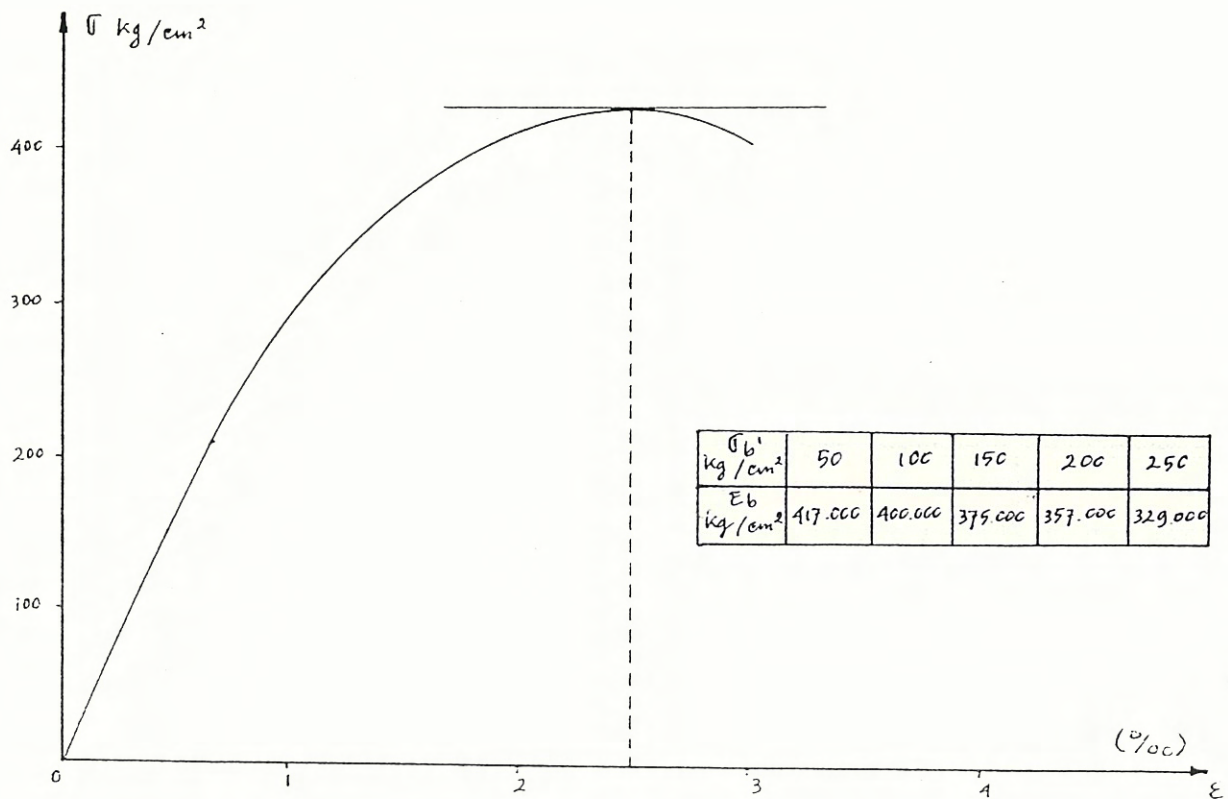


Gambar 1 : Dimensi dan pembesian balok



Gambar 2 : Diagram regangan-regangan ( $\sigma - \epsilon$ ) besi tulangan





Gambar 3 : Diagram regangan-regangan ( $\sigma - \epsilon$ ) beton pada 28 hari

Diagram ini merupakan harga rata-rata dan hasil percobaan tarik dari contoh-contoh batang tulangan yang digunakan. Regangan pada percobaan tarik ini diukur dengan bantuan transducers CADI - 30 dan diagram tersebut diperoleh dengan bantuan x - y recorder (table tragante). Besaran-besaran penting yang diperoleh adalah :

- Tegangan putus ( $\sigma_r$ ) = 5665 kg/cm<sup>2</sup>
- Batas elastis 2 % ( $\sigma_{02}$ ) = 4500 kg/cm<sup>2</sup>
- Modulus elastisitas =  $2 \cdot 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>

#### b). Beton

Adapun beton yang digunakan mempunyai komposisi sebagai berikut :

- Semen : 400 kg/cm<sup>3</sup>
- Air : 200 l/m<sup>3</sup> beton
- Agregat kasar (batu pecah) : 1159 kg/m<sup>3</sup> beton
- Agregat halus (abu batu) : 665 kg/m<sup>3</sup>

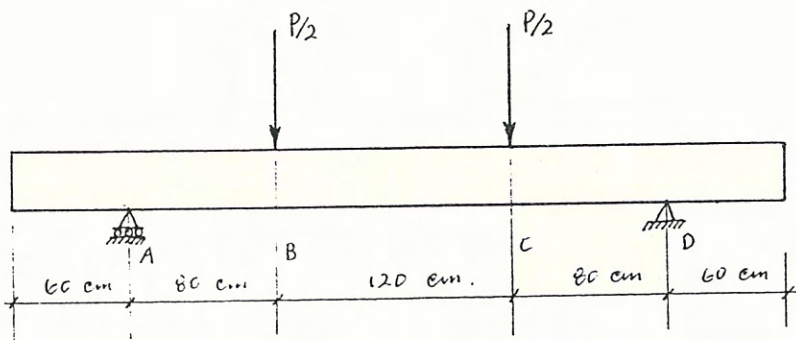
Diagram tegangan-regangan dari beton tersebut pada umur 28 hari, seperti tertera pada gambar-3.

Diagram tegangan-regangan di atas merupakan hasil rata-rata dari percobaan tekan dari benda uji silinder dengan diameter 16 cm dan tinggi 32 cm.

Regangan pada percobaan tekan ini diukur dengan bantuan transducers CADI-10 dan diagramnya diperoleh bantuan x - y recorder (table tragante). Kekuatan tekan rata-rata pada umur 28 hari tercatat 435 kg/cm<sup>2</sup>, sedangkan kekuatan tarik sebagai hasil dari percobaan belah (splitting test) dan percobaan lentur prisma beton dengan penampang-penampang 10 x 10 cm<sup>2</sup> dan panjang 50 cm adalah 33 kg/cm<sup>2</sup>.

#### II.2 Pembebanan

Balok uji dibebani seperti pada gambar - 4



Gambar 4 : Skema pembebanan

BC adalah bagian yang diamati, dimana bagian ini hanya mengalami lentur murni. Pembebanan dilakukan dalam dua tahap berturut-turut :

- dari nol sampai beban kerja ( $p_{serv} = 7500 \text{ kg}$ ), untuk lenturan dengan penambahan tegangan yang konstan
- dari beban kerja sampai runtuh dengan penambahan lendutan yang konstan ( $0,2 \text{ mm/menit}$ ). Percobaan pada balok uji ini dilakukan pada waktu beton sudah berumur 28 hari.

### II.3 Pengukuran

Deformasi (perpendekan) beton dibagian tekan diukur dengan bantuan transducers CADI-10 dan strain gauge PL-30. Deformasi (perpanjangan) tulangan dibagian tarik, juga diukur dengan bantuan transducers CADI-10, sedangkan lendutan balok dilakukan dengan bantuan transducers CADI-250 dan dial. Adapun lebar retak diukur dengan transducers CADI-10.

## III. HASIL PENELITIAN

### III.1 Deformasi

Perhitungan deformasi secara teoritis dilakukan dalam dua tahap :

- Tahap pertama, dilakukan untuk penampang sebelum beton dibagian

tarik mengalami retak. Selama penampang belum retak, penampang beton bertulang berperilaku seperti material homogen yang elastis sempurna. Tulangan dianggap terikat sempurna pada beton dan untuk karakteristik geometrik, tulangan tersebut diperhitungkan dengan koefisien ekuivalen ;

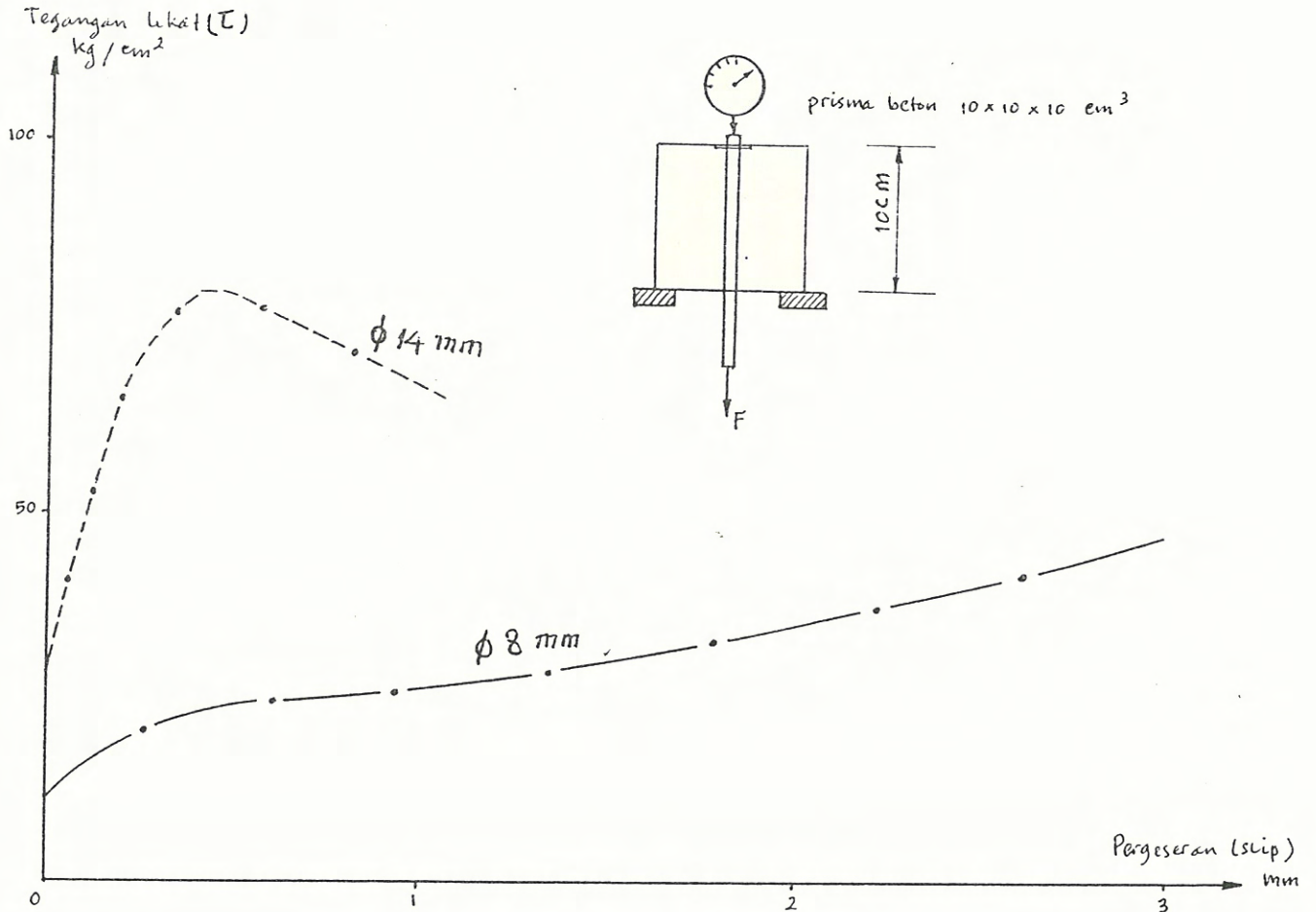
$$n = \frac{E_a}{E_b}$$

dimana :  $E_a$  = adalah modulus elastisitas tulangan (besi).  $E_b$  = adalah modulus elastisitas beton, dalam hal ini modulus sekan. Dengan demikian perhitungan deformasi secara teoritis dapat dilakukan dengan rumus mekanika yang biasa.

- Tahap kedua, perhitungan deformasi untuk penampang sesudah retak. Untuk perhitungan ini diambil hipotesis sebagai berikut :

- Penampang ditempat retak tetap datar sehingga deformasi berbanding lurus dengan jaraknya terhadap garis netral.
- Material bersifat elastis sempurna. Beton tarik dianggap memenuhi ketentuan ini selama tegangan tariknya lebih rendah dari kekuatan tarik monoaksial. Tatkala kekuatan tarik ini tercapai, beton akan retak dan kekuatan tariknya akan hilang. Sekalipun demikian tegangan tetap berbanding lurus terhadap garis netralnya, dimana tegangan pada tulangan sama dengan  $n$  kali tegangan beton yang berlekatan. Hipotesis di atas akan terpenuhi



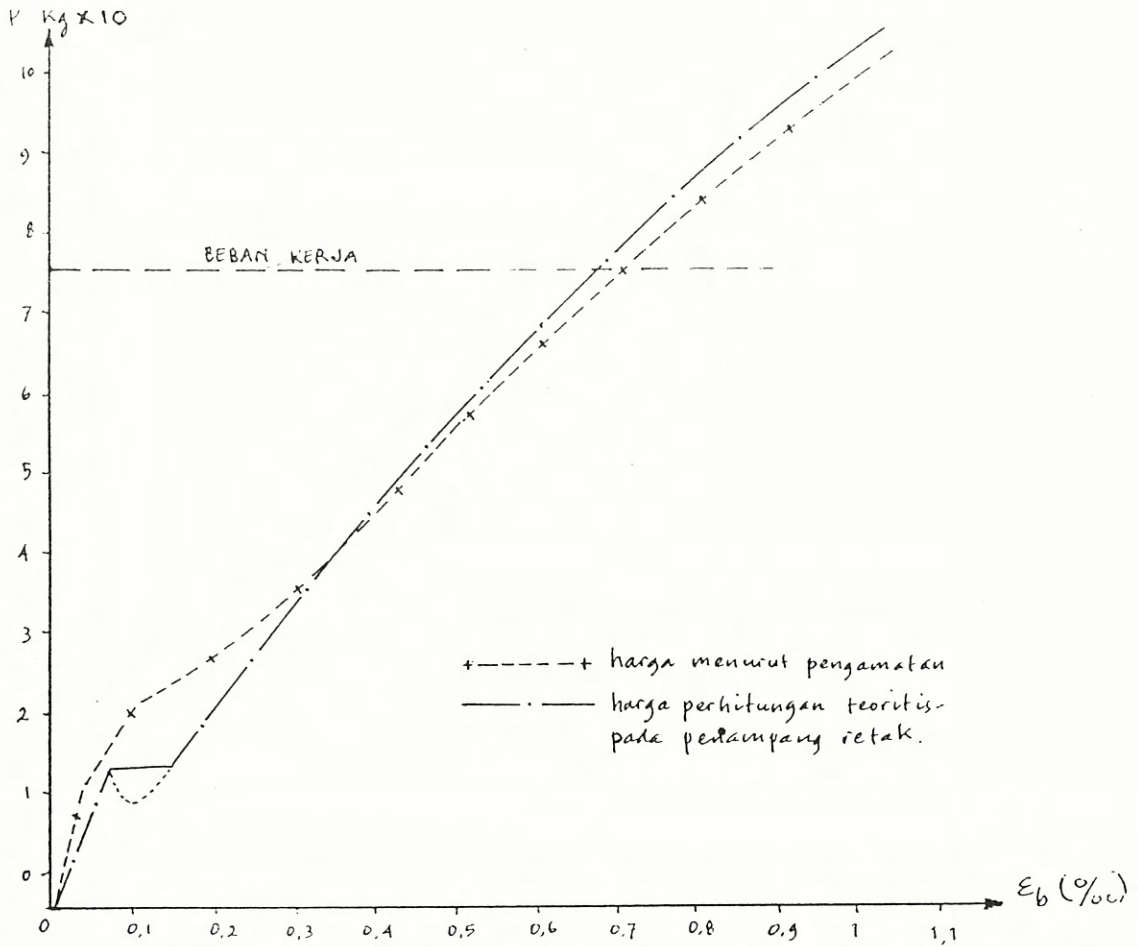


Gambar 4 : Tegangan lekat

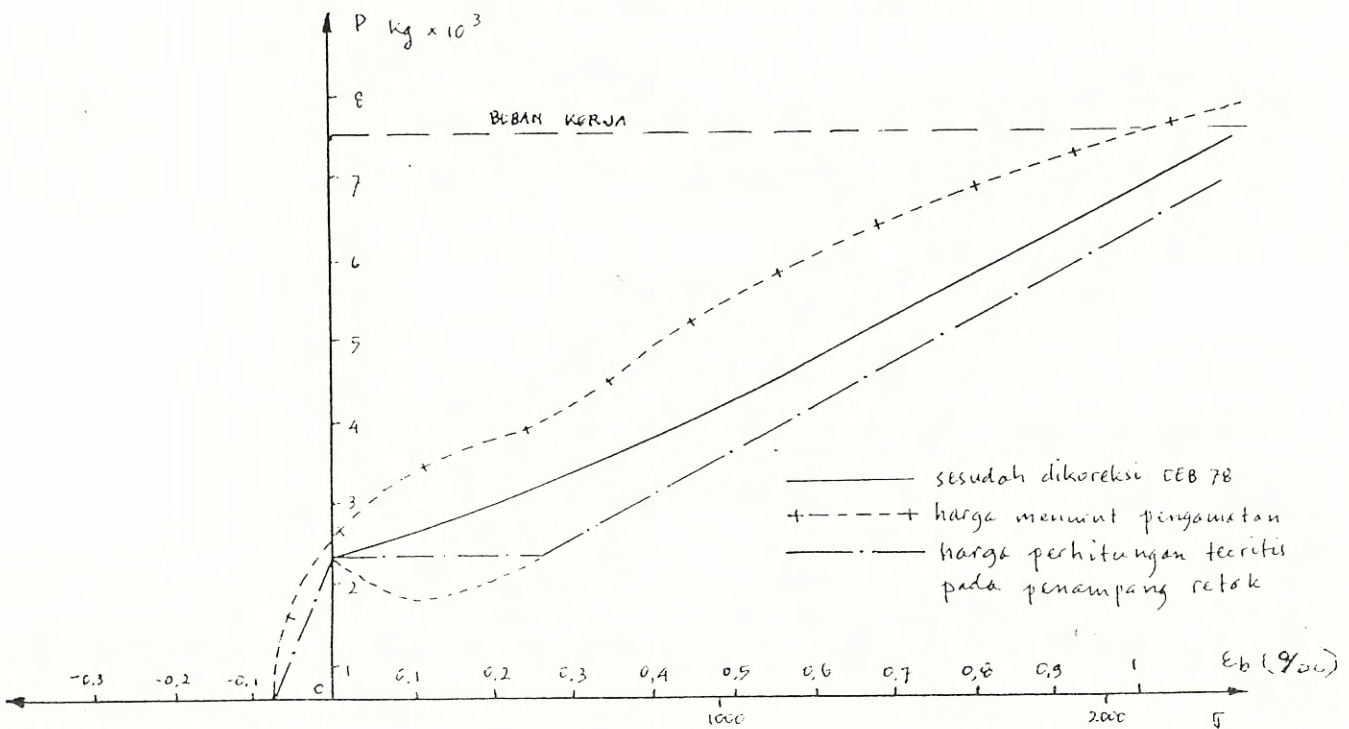
apabila lekatan tulangan dengan beton sempurna. Untuk memeriksa perilaku lekatan tulangan dengan beton ini, telah dilakukan percobaan-percobaan lekatan pada tulangan berulir dengan diameter 14 mm dan 8 mm yang ditanam pada prisma beton  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ .

Geseran (slip) dari tulangan diukur dengan bantuan transducers CADI-30 dan diagramnya diperoleh dengan bantuan x - y recorder (table tragante). Hasil percobaan ini tertera pada gambar-4. Dari hasil ini dapat disimpulkan, bahwa lekatan tulangan dengan beton cukup memuaskan. Lekatan untuk tulangan dengan diameter 8 mm lebih lemah dari pada diameter 14 mm, karena uliran tulangnya lebih sederhana. Berdasarkan diagram tegangan-regangan tulangan pada gambar-2 dan diagram

tegangan-tegangan beton pada gambar 3, maka perhitungan teoritis deformasi tahap dua ini dapat dilakukan [2]. Hasil perhitungan teoritis deformasi beton dan pengamatan tertera pada gambar-5, sedangkan gambar 6 memuat hasil perhitungan teoritis dan pengamatan dari deformasi tulangan tarik. Perhitungan teoritis deformasi tulangan ini mencakup perhitungan teoritis deformasi di tempat retak dan deformasi rata-rata, yaitu deformasi tulangan tarik, setelah dikoreksi oleh partisipasi beton yang terletak diantara dua retak [2] [3]. Baik deformasi beton maupun deformasi tulangan tidak dimulai dari nol, karena disini memperhitungkan juga pengaruh susut sebelum beton berumur 28 hari. Akibat pengaruh susut tersebut baik beton pada serat tekan (serat atas) maupun tulangan pada serat tarik (serat bawah), sebelum



Gambar 5 : Deformasi beton



Gambar 6 : Deformasi tulangan tarik

percobaan pembebanan dilakukan sudah mulai tertekan.

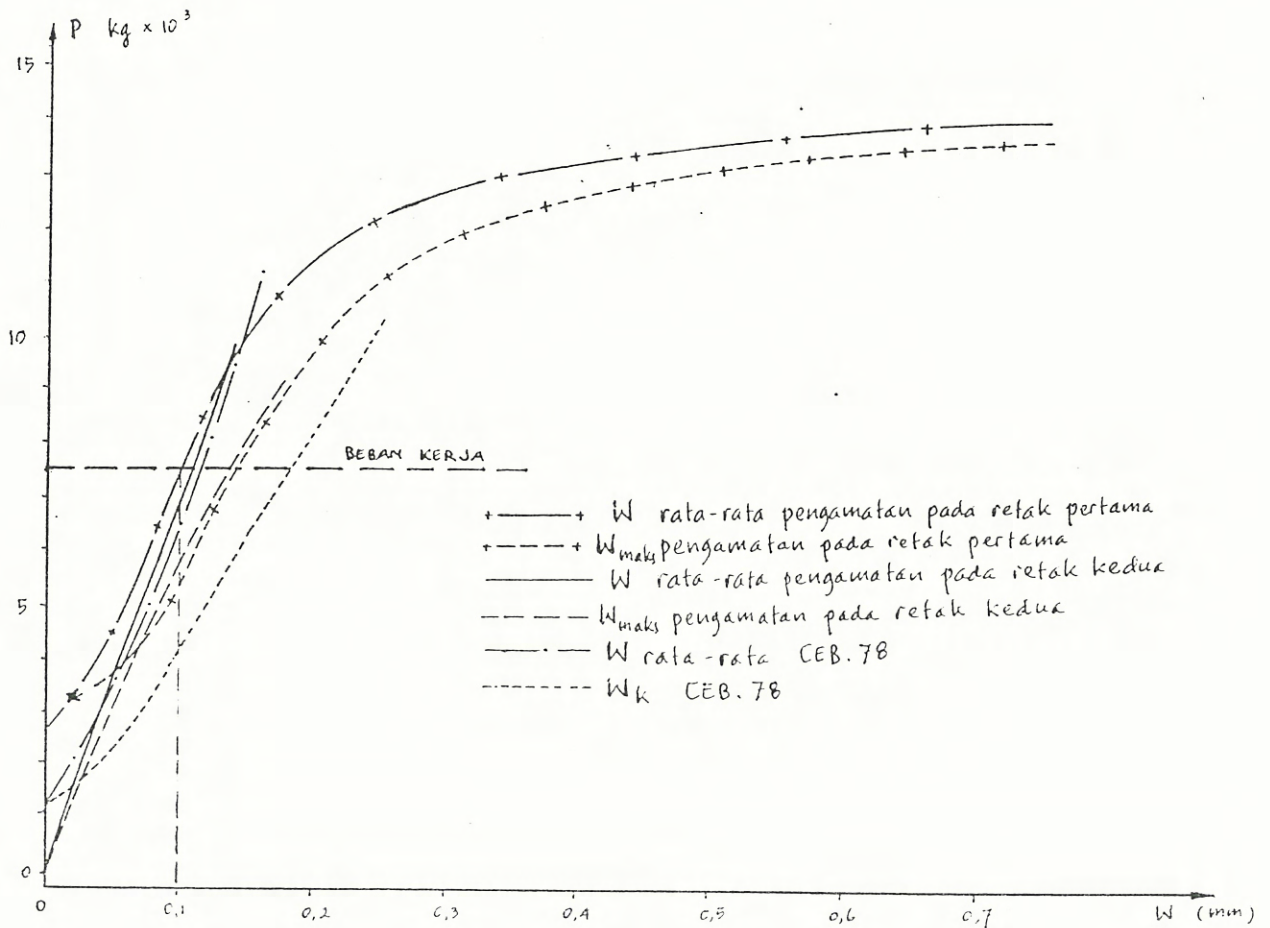
[3]. Hasil perhitungan teoritis dan pengamatan lebar retak tertera pada gambar-7.

### III. 2. Retak

Pada kurva-kurva deformasi di atas dapat diketahui beban retak, yaitu beban yang menunjukkan perubahan yang tajam pada kurva tersebut tertera pada tabel-1. Adapun lebar retak teoritis dihitung menurut rumus CEB-FIP/1978

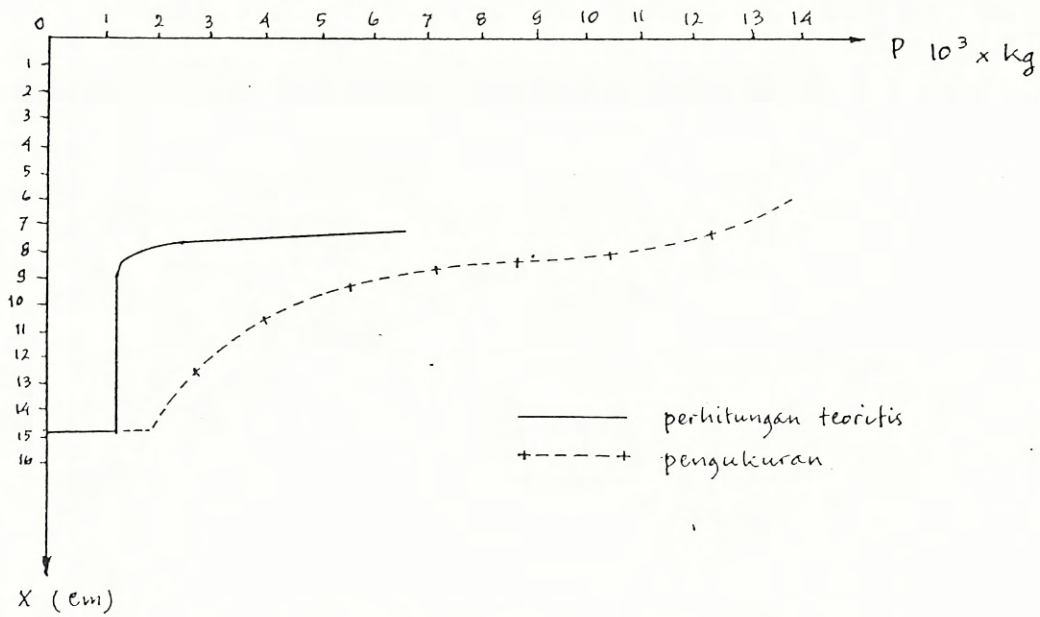
Beban/Tegangan	Keadaan		
	Teoritis	Aktual	Nyala
Beban retak pertama $P_i$ (kg)	1568	2280	2780
Momen retak pertama $M_i$ (kg m)	627	912	1112
Kekuatan tarik beton $\sigma_{bt}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	33	39	53

Tabel 1 : Beban retak

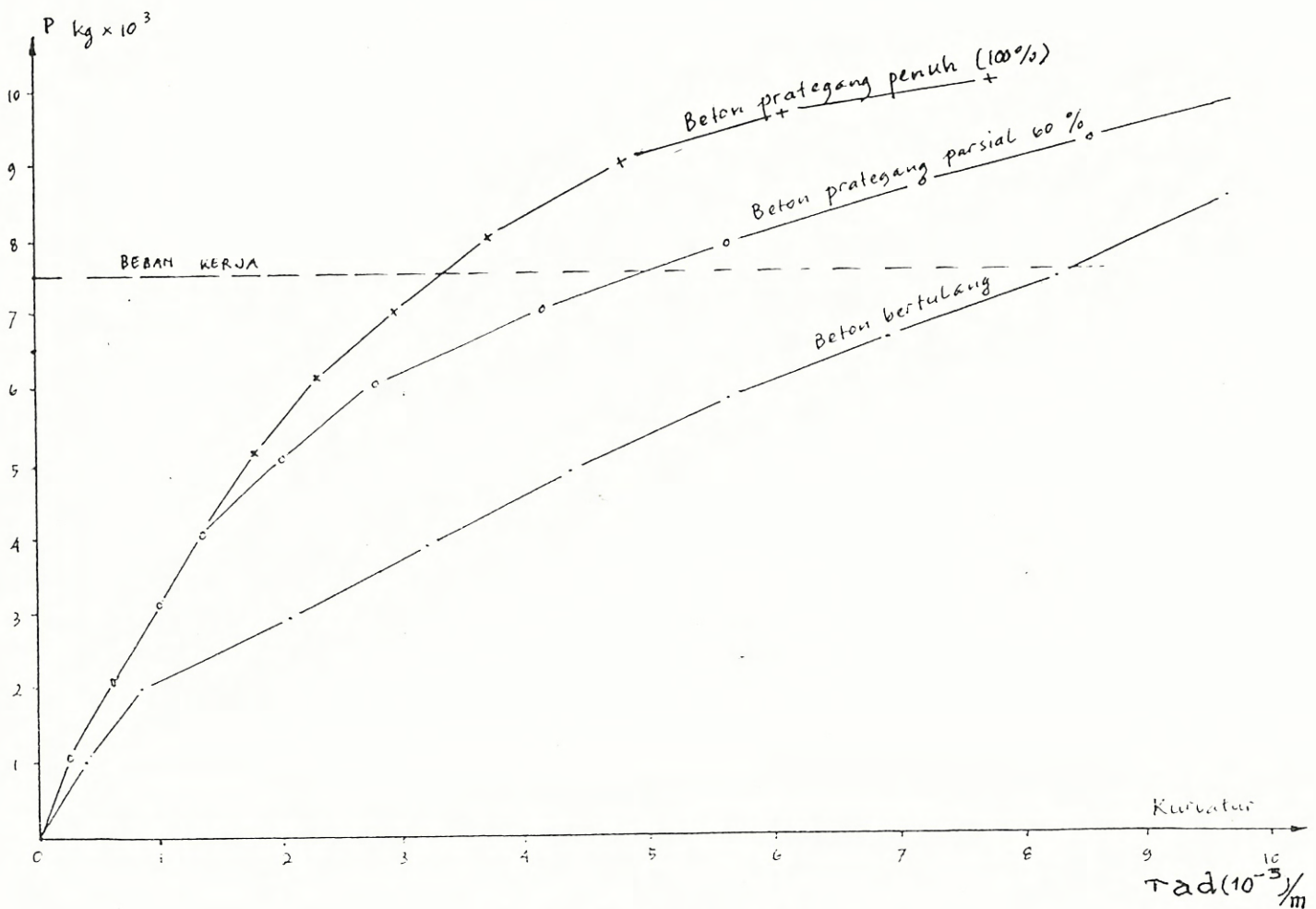


Gambar 7 : Perbandingan lebar retak teoritis dan pengamatan untuk balok beton bertulang



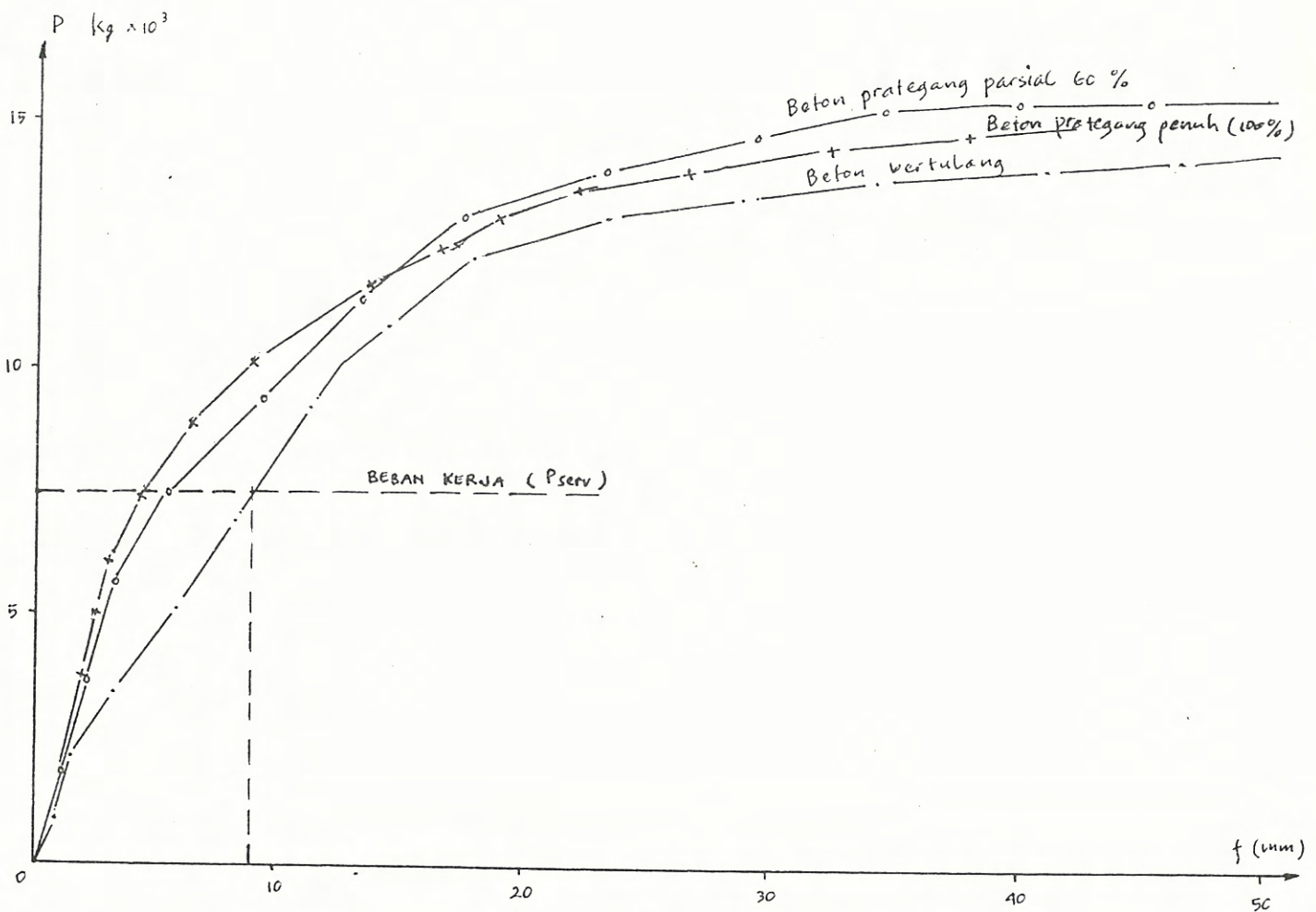


Gambar 8 : Posisi garis netral nyata



Gambar 9 : Kurvatur balok





Gambar 10 : Lendutan balok

#### IV. PEMBAHASAN

Dari kurva-kurva deformasi, baik beton maupun tulangan, dapat dilihat terjadinya lonjakan pada waktu beton diserat tarik retak. Terjadinya retak ini untuk beton bertulang jauh dibawah beban kerja (7500 kg). Lonjakan ini terjadi akibat penampang beton kehilangan inersia yang cukup besar seperti terlihat dari posisi garis netral pada gambar-8.

Gambar-8 memperlihatkan, bahwa posisi garis netral menurut pengamatan kurang drastis dibandingkan dengan hasil perhitungan teoritis. Hal ini disebabkan karena pengaruh uliran pada tulangan, yang memberikan lekatan yang tinggi pada beton. Akibatnya penambahan tinggi retak akan terhambat, karena setelah timbulnya retak pertama, apabila beban ditambah akan timbul beberapa retak baru disamping retak yang pertama tersebut [4]. Hal serupa terjadi pula pada deformasi beton dan tulangan seperti pada

gambar-5 dan gambar-6.

Apabila tulangan betonnya digunakan tulangan polos, maka posisi garis netral hasil pengamatan akan lebih mendekati hasil perhitungan teoritis. Demikian juga halnya dengan deformasi beton dan tulangan. Selanjutnya lonjakan deformasi pada waktu beton tarik retak, dimana pada beton bertulang (kelas IV), terjadinya pada beban yang jauh dibawah beban kerja, maka pada waktu bekerja beban kerja tersebut ( $P_{serv}$ ), kekakuannya cukup rendah seperti terlihat pada hasil pengamatan kurvatur pada gambar-9 dan lendutan balok pada gambar-10. Pada hasil pengamatan di atas, disertakan juga hasil pengamatan kurvatur dan lendutan untuk balok prategang penuh (100%) dan balok prategang parsial 60%. Pada gambar-9 dan gambar-10 dapat dilihat, bahwa pada pembebanan kerja (7500 kg), kekakuan balok beton bertulang (kelas IV) jauh lebih kecil dibandingkan dengan balok prategang penuh (kelas I) dan balok prategang parsial 60% (kelas III). Padahal



Keadaan Beban	Runtuh pengamatan (eksp)	Runtuh teoritis	Beban batas (ultimate)
Gaya P (kg)	14.775	14825	11625
Momen M (kgm)	5910	5930	4650

Tabel 2 : Beban runtuh dari beban batas

balok beton bertulang ini terbuat dari beton mutu tinggi seperti balok prategang penuh dan balok prategang parsial dan tulangnya digunakan tulangan berulir. Pada gambar-10 juga terlihat, bahwa pada beban kerja (7500 kg) besarnya lendutan  $\pm 8,5$  mm. Pada percobaan ini bentang balok adalah 280 cm, apabila mengambil ketentuan P.B.I.- 71 [5], bahwa lendutan maksimum yang diijinkan adalah  $1/250$  bentang, maka batas lendutan untuk balok tersebut adalah 11,2 mm. Harga ini tidak jauh dari hasil pengamatan. Dapat diperkirakan, bahwa kekakuan balok beton bertulang ini akan lebih kecil lagi apabila balok tersebut terbuat dari beton mutu menengah dan tulangnya digunakan tulangan polos. Tabel-1 memperlihatkan, bahwa beban retak aktual lebih tinggi dari pada beban retak teoritis. Hal ini mungkin karena kondisi beton tarik pada balok lebih baik dari pada benda uji, karena bagian tarik dari balok ini tidak terpengaruh oleh bleeding [1]. Mengenai lebar retak dapat dilihat, bahwa pada waktu beban kerja, lebar retak melebihi 0,1 mm. Apabila beban dihilangkan, retak tersebut menutup kembali. Akan tetapi pada pembebanan yang kedua, retak akan langsung terbuka kembali jika beban bekerja lagi, bahkan pada saat beban retak pertama ( $\pm 2500$  kg) bekerja kembali lebar retak sudah terbuka  $\pm 0,05$  mm. Namun demikian pada waktu pembebanan yang kedua, lebar retak akibat beban kerja tidak bertambah. Hal ini memberikan kesan, bahwa untuk beton bertulang (kelas IV) meskipun beban yang bekerja lebih kecil dari beban kerja (7500 kg), jika beton dibagian tarik sudah

retak, maka retaknya akan terus terbuka (retak permanen). Sekalipun beban retak jauh lebih kecil dari beban kerja dan pada beban kerja kekakuan balok beton bertulang tersebut sudah rendah, namun beban runtuhnya cukup jauh dibandingkan dengan beban batasnya seperti terlihat pada tabel-2.

Dapat dicatat bahwa  $\frac{P_{\text{runtuheks}}}{P_{\text{ult}}} = 1,27$  dan bahan kerja

$$(P_{\text{serv}}) = \frac{P_{\text{ult}}}{1.5}$$

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### V. 1 Kesimpulan

Meskipun beban runtuh masih lebih besar dari pada beban batas (ultimate), namun pada tahap beban kerja balok beton bertulang (kelas IV) sudah mempunyai kekakuan yang cukup rendah, padahal disini belum memperhitungkan rangkakan dan pengulangan beban. Disamping itu juga digunakan tulangan berulir dan beton mutu tinggi. Dapat diperkirakan apabila digunakan beton dengan mutu menengah, kekakuan balok akan lebih rendah lagi. Lebih-lebih apabila melihat kenyataan dalam masyarakat, bahwa masih sering dijumlah-



pai penggunaan kombinasi beton mutu menengah dengan tulangan polos untuk struktur beton yang cukup berat. Disamping itu apabila terjadi retak pada balok beton bertulang, maka retak ini sifatnya permanen.

#### IV. 2 Saran

Untuk bagian-bagian beton bertulang yang struktural, sebaiknya tulangan polos tidak digunakan, karena kekuatan lekatnya rendah. Hal ini akan memperbesar lebar retak dan lonjakan deformasinya akan drastis.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. CEB - FIP : Recommendation internationales pour le calcul et l'execution des ouvrages en beton-1970.

2. R. SUHUD : Deformasi tulangan tarik pada suatu penampang beton bertulang, Jurnal PUSLITBANG JALAN, Juli 1990.
3. CEB - FIP : Code Modele CEB - FIP / 1978 pour les structures en beton, Buletin d'information no. 124/125 F.
4. GOTO Y. : Cracks formed in concrete around deformend tension bar. ACI Journal, April 1972.
5. P.B.I : Peraturan beton bertulang Indonesia - 1971 N.I. - 2.

#### PENULIS :

*Dr Ir. H. Ridwan Suhud, Adalah Dosen Pada Jurusan Teknik Sipil ITB, Tahun 1983 S<sub>3</sub> Struktur (Doktor) Khusus Dalam Beton Prategang Parsial Dari Institute Nationale Des Sciences Appliques (INSA) You Louse, Perancis.*

**FORMAT ARTIKEL FORUM PENELITIAN**

**Pendahuluan  
Metoda Penelitian  
Kerangka Pemikiran  
Hasil dan Pembahasan  
Kesimpulan dan Saran  
Daftar Pustaka  
Lampiran**



