



EVALUASI LEBAR RETAK PADA BALOK BETON PRATEGANG PARSIAL YANG MENGALAMI LENTUR MURNI

H. RIDWAN SUHUD

RINGKASAN

Tulisan ini menyajikan perkembangan lebar retak pada balok beton prategang parsial dengan persentase prategang yang minimum. Sekalipun untuk beton prategang parsial, timbulnya retak merupakan hal yang wajar, namun demikian lebar retak tetap harus dibatasi, lebih-lebih bagi balok prategang parsial yang kandungan tulangan beton biasanya agak besar. Untuk mendapatkan informasi yang lebih jelas tentang ini telah dilakukan percobaan terhadap balok prategang parsial dengan persentase prategang 60 %. Balok ini mempunyai penampang segi empat, yang diprategang dengan cara pretension dan dibebani dengan lentur murni.

Percobaan ini dilakukan di Laboratorium Struktur, Département de Genie Civil, INSA Toulouse, Perancis.

SUMMARY

This paper presents Crack Width Condition in partially prestressed Concrete beam at minimum rate of prestress. Some lack of Knowledge, however, still exists, especially about the permissible crack width. The crack width must be limited, particularly when a partially prestressed concrete beam has some what large ordinary steel reinforcement. A series of tests was carried out in order to obtain more information in this field. The beam were tested in pure bending, the had rectangular cross sections and were prestressed by pre-tention at 60 % rate of prestress.

These tests were carried at Laboratory of Structures, Departement of Civil Engineering, INSA - Toulouse, France.

I. PENDAHULUAN

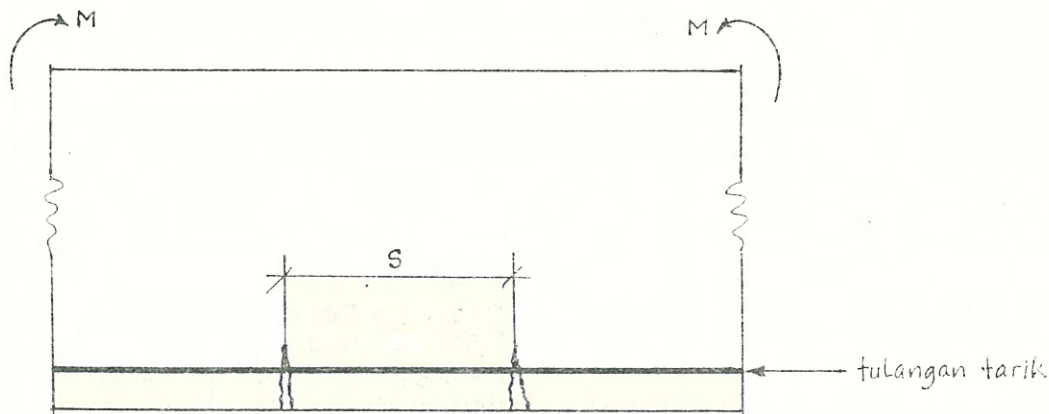
Seperti telah disepakati dalam CEB/F.I.P.-1970 [1], bahwa dalam beton prategang parsial (beton kelas III), timbulnya retak merupakan hal yang wajar, seperti halnya dalam beton bertulang biasa (beton kelas IV). Baik pada beton bertulang maupun pada beton prategang parsial, besarnya lebar retak inilah yang merupakan masalah, sehingga perlu diadakan pembatasan mengenai lebar retak tersebut. Hal ini tidak lain karena untuk menghindari timbulnya karatan (korosi) pada tulangan, lebih-lebih tulangan prategang (tulangan aktif), yang memikul tegangan jauh lebih tinggi daripada tulangan beton biasa.

Didalam peraturan-peraturan mengenai beton ber-tulang, misalnya P.B.I.-1971 [2], telah diberikan petunjuk-petunjuk untuk menghitung lebar retak, namun untuk beton prategang parsial, di mana keadaan retak ini akan menimbulkan resiko yang lebih besar, tampaknya perhitungan lebar retak tersebut tidak begitu sederhana. Dengan demikian untuk kepentingan perencanaan, diperlukan data penelitian yang akan memberikan kesimpulan, bahwa untuk persentase prategang tertentu meskipun balok prategang parsial tersebut akan retak, tetapi lebar retaknya tidak akan membahayakan. Dengan kata lain, apabila diambil persentase prategang tertentu, tanpa menghitung besarnya lebar retak,

maka struktur yang direncanakan akan terjamin keamanannya terhadap bahaya karatan.

II. PERHITUNGAN TEORITIS LEBAR RETAK

II.1 Konsep Dasar



Gambar - 1 : Pola Retak

Tulangan tarik

Apabila sebuah balok beton bertulang mengalami lenturan murni, sehingga menimbulkan retak, maka besarnya lebar retak di tempat tulangan adalah :

$$W = \epsilon_s \cdot S_r \quad \dots \dots \dots (3)$$

Di mana W = lebar retak

ϵ_s = regangan (deformasi) tulangan tarik

S_r = jarak antara dua retak

ϵ_{sm} = deformasi rata-rata tulangan tarik

S_{rm} = jarak rata-rata antara dua retak

Selanjutnya deformasi rata-rata tulangan tarik (ϵ_{sm}) dihitung dengan rumus berikut :

$$\epsilon_{sm} = \frac{\sigma_s}{E_s} \left[1 - \beta_1 \beta_2 \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right) \right] 0,4 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

Di mana :

σ_s = Tegangan dalam tulangan tarik di tempat retak pada pembebanan yang ditinjau

σ_{sr} = tegangan dalam tulangan tarik, yang dihitung dengan anggapan, bahwa suatu penampang akan retak apabila tegangan tarik maksimum yang terjadi akan mempunyai nilai yang sama dengan kekuatan tarik dari beton yang digunakan (direncanakan sebelumnya).

β_1 = Koefisien yang menunjukkan kemampuan lekat dari tulangan, di mana :

$$\beta_1 = \frac{1}{2,5 k_1}$$

II.2 Rumus Pendekatan

Besarnya deformasi tulangan tarik (ϵ_s) dan jarak antara dua retak (S) tergantung pada banyak parameter, sehingga baik para ahli maupun peraturan-peraturan tentang beton, menyajikan berbagai rumus pendekatan untuk dapat meramalkan besarnya lebar retak yang akan terjadi secara teoritis.

Salah satu rumus pendekatan tersebut telah disajikan oleh CEB /FIP-1978 [4] sebagai berikut :

$$W_m = \epsilon_{sm} \cdot S_{rm}$$

Di mana :

W_m = lebar retak rata-rata

- $\beta_1 = 1$; untuk tulangan berulir
 $\beta_1 = 0,5$ untuk tulangan polos
 β_2 = Koefisien yang menunjukkan pengaruh dari lamanya pembebanan atau penulangan beban.
 $\beta_2 = 1$; untuk pembebanan pertama
 $\beta_2 = 0,5$; untuk pembebanan jangka lama atau pembebanan siklik dengan frekuensi yang tinggi.

Kemudian jarak retak rata-rata (S_{rm}) dihitung dengan rumus :

$$S_{rm} = 2 \left(c + \frac{s}{10} \right) + k_1 k_2 \frac{\theta}{\rho_r}$$

Di mana :

- c = Tebal selimut beton
 k_1 = Koefisien yang menunjukkan kemampuan lekat dari tulangan; di mana

$$k_1 = \frac{1}{2,5 \beta_1}$$

- $k_1 = 0,4$; untuk tulangan berulir
 $k_2 = 0,8$; untuk tulangan polos
 k_2 = Koefisien yang menunjukkan pengaruh bentuk distribusi tegangan pada penampang.



$k_2 = 0,125$; untuk balok terlentur



$k_2 = 0,25$; untuk balok yang mengalami tarik murni



$k_2 = 0,25 \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2 \epsilon_1}$; untuk

balok mengalami tarik eksentris atau untuk daerah badan dari balok.

ϵ_1 dan ϵ_2 : deformasi beton yang dihitung pada penampang yang retak.

θ = diameter tulangan

$$\rho_r = \frac{A_s}{A_{c,ef}}$$

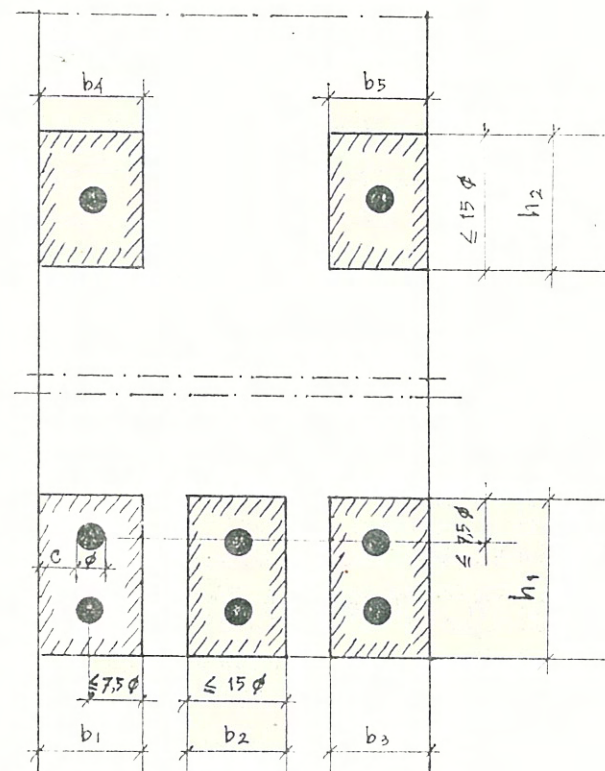
A_s = luas penampang tulangan yang terkandung dalam beton seluas $A_{c,ef}$

$A_{c,ef}$ = luas beton efektif, yaitu luas beton yang mempunyai pengaruh terhadap lebar retak.

$A_{c,ef} = b_{ef} \cdot h_{ef}$

$b_{ef} = \sum b_i$

$h_{ef} = \sum h_i$



Gambar-2 Luas Beton Effektiv

II.3 Lebar Retak Karakteristik

Beton bukan bahan yang serba sama (homogen), meskipun dibuat dengan adukan yang sama, kekuatan beton disepanjang balok belum tentu sama. Retak akan timbul (terjadi) lebih dulu di tempat yang terlemah dan tempat ini sama sekali tidak diketahui sebelumnya. Dengan demikian jarak antara dua retak tidak akan seragam, yang mengakibatkan besarnya lebar retak juga tidak akan seragam. Hal ini akan mengakibatkan adanya lebar retak yang lebih kecil daripada lebar retak rata-rata ataupun lebih besar. Lebar retak yang lebih besar dari lebar

retak rata-rata inilah yang harus dibatasi. Sehubungan dengan pembatasan ini CEB-FIP/1978 [4] mendefinisikan harga lebar retak karakteristik (W_k), yang besarnya :

$$W_k = 1,7 W_m$$

W_k ini dibatasi oleh harga 0,1 & 0,2 dan 0,4 mm, tergantung pada kondisi lengkungan dan kombinasi pembebanan.

III. PERCOBAAN

III.1 Karakteristik Benda Uji

Benda uji adalah balok prategang parsial pretension dengan persentase prategang 60 %. Persentase ini diambil karena diperkirakan merupakan persentase minimum, dimana balok ini lebih menunjukkan sifat-sifat beton prategang daripada beton bertulang [5].

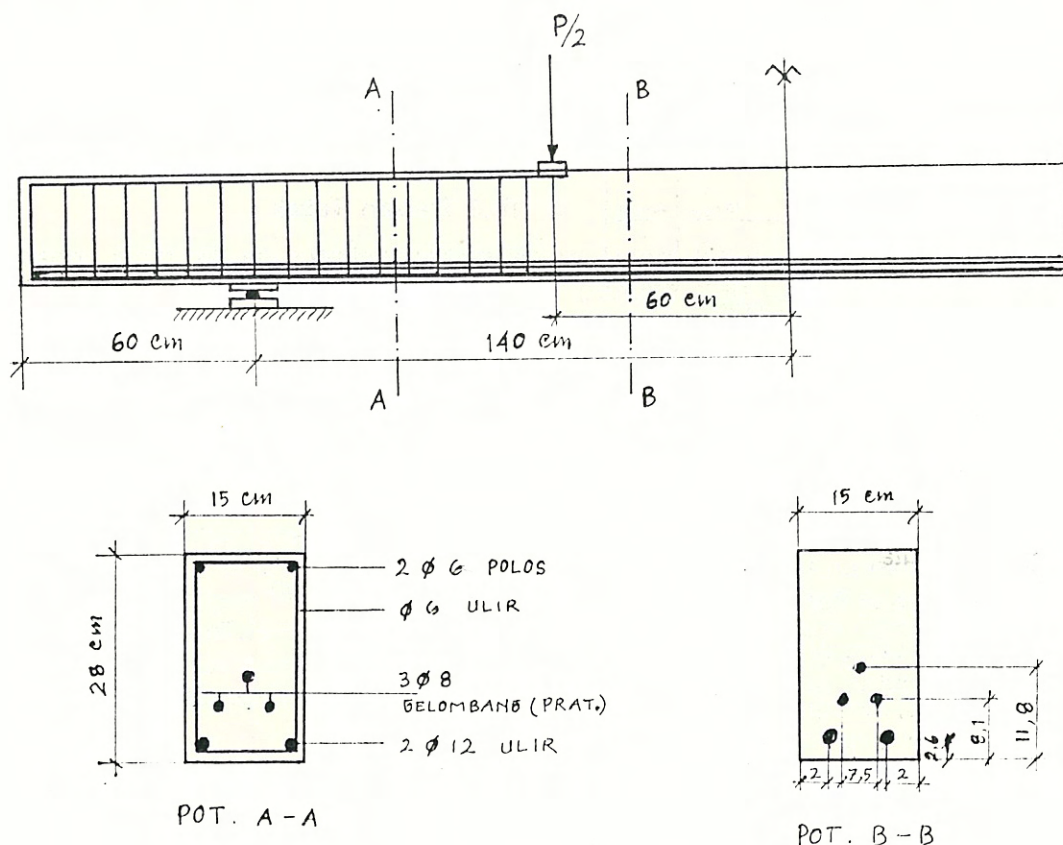
Dimensi dan penulangan balok tersebut seperti gambar berikut :

- Luas penampang baja prategang, monostrand bergelombang $A_a = 3 \varphi 8 \text{ mm} = 1,5 \text{ cm}^2$
- Luas penampang besi beton berulir;
 $A_p = 2 \varphi 12 \text{ mm} = 2,26 \text{ cm}^2$
- Persentase prategang adalah bagian momen runtuh yang diimbangi oleh baja prategang saja [6].

Batas elastis konvensional bagian regangan permanen $2 \frac{0}{00}$. (σ_{02}) dari besi beton berulir sama dengan 4685 kg/cm^2 ($468,5 \text{ MPA}$) dan modulus elastisitasnya adalah;

$2,14 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ($2,14 \cdot 10^5 \text{ MPA}$). Sedangkan batas elastis baja prategang sama dengan 15200 kg/cm^2 (1520 MPA) dan modulus elastisitasnya adalah $2,2 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ($2,2 \cdot 10^5 \text{ MPA}$).

Kekuatan tekan rata-rata dari beton pada umur 28 hari sama dengan 435 kg/cm^2 ($43,5 \text{ MPA}$) dan kekuatan tariknya adalah 33 kg/cm^2 ($3,3 \text{ MPA}$). Kekuatan tekan beton tersebut



Gambar-3 Penulangan Balok

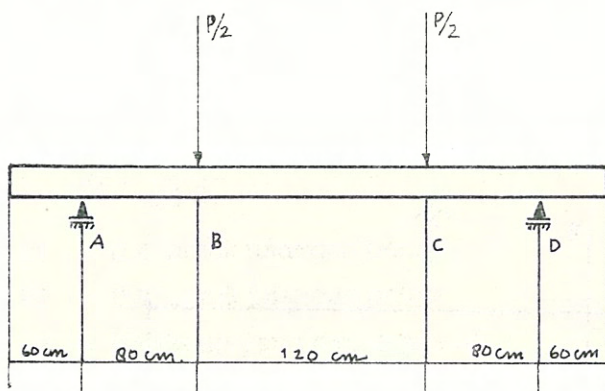
sebagai hasil dari benda uji silinder dengan diameter 16 cm dan tinggi 32 cm, sedangkan kekuatan tariknya sebagai hasil dari percobaan lentur dan percobaan belah (splitting test) [17].

Balok uji di prategang setelah beton berumur 14 hari dan percobaan pembebanan dilakukan pada waktu beton berumur 28 hari.

Tegangan awal baja prategang (σ_{ai}) sama dengan 13000 kg/cm^2 (1300 MPA), sedangkan tegangan efektif (σ_{aef}) setelah kehilangan tegangan akibat perpindahan serentak, susut, rangkai dan relaksasi adalah 11195 Kg/cm^2 (1119,5 MPA).

III.2 Pembebanan

Balok uji dibebani seperti pada gambar-4.



Gambar-4 Skema Pembebanan

Bagian BC adalah daerah yang diamati dimana bagian ini hanya memikul lentur murni.

Pembebanan dilakukan dalam dua tahap berturut-turut :

- dari nol sampai beban kerja $P = 7500 \text{ Kg}$ (75 kN), untuk lenturan dengan pertambahan tegangan yang konstan.
- dari beban kerja sampai runtuh dengan pertambahan lendutan yang konstan (0,2 mm/menit).

III.3 Pengukuran

Deteksi retak pertama dan pengukuran lebar retak dilakukan dengan bantuan transducer CADI-10, sedangkan posisi retak dicari dengan bantuan mikroskop yang mempunyai kekuatan antara 10 sampai 100 kali pembesaran.

Deteksi retak pertama dilakukan dengan transducer, karena terjadinya retak tersebut tidak dapat dilihat dengan mata telanjang.

IV. HASIL PENELITIAN

IV.1 Jarak Retak dan Perkembangan Lebar Retak

Jarak antara dua retak secara teoritis dan menurut pengamatan tertera dalam tabel-1, sedangkan perkembangan lebar retak baik secara teoritis maupun menurut pengamatan terlihat dalam Gambar-5.

Lebar retak yang diukur adalah lebar retak pada sumbu tulangan yang paling bawah.

Jarak retak teoritis CEB-FIP/1978 (mm)	Jarak retak hasil pengamatan (mm)		
	Minimum	Rata-rata	Maksimum
92	60	85	130

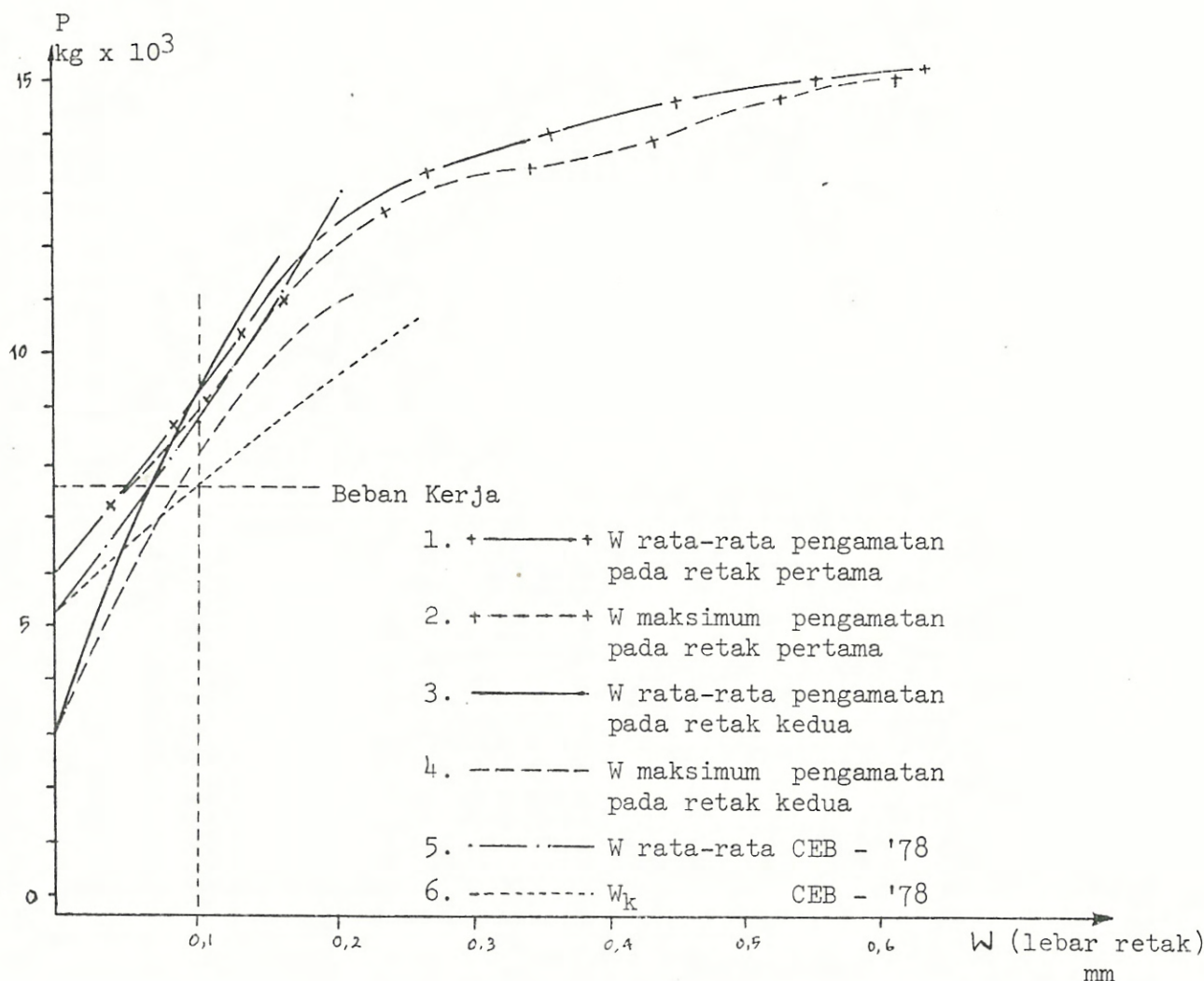
Tabel-1 Jarak Retak

IV.2 Beban Retak

Tampak penting juga diketahui beban retak pertama, baik yang sesungguhnya (aktual) dimana retak tersebut belum dapat dilihat dengan mata telanjang, maupun pada waktu retak tersebut sudah mulai dapat dilihat (nyata) untuk dibandingkan dengan harga teoritisnya. Harga-harga ini dapat dilihat didalam Tabel-2.

Keadaan	Teoritis	Aktual	Nyata
Retak Pertama			
Beban (P_{cr}) Kg (0,01 kN)	5500	5275	6275
Momen (M_{cr}) Kgm (0,01 kNm)	2200	2110	2510
Kekuatan tarik beton (σ_{br}) Kg/cm ² (0,1 MPA)	33	29	47

Tabel-2 Beban Retak



Gambar-5 Perbandingan antara lebar retak teoritis dan pengamatan untuk balok 60 % prategang.

V. PEMBAHASAN

Dari hasil-hasil diatas dapat dilihat, bahwa perbandingan antara hasil perhitungan teoritis dan pengamatan untuk lebar retak disekitar beban kerja ($P_{serv} = 7500 \text{ Kg}$) sangat dekat, dimana hasil perhitungan teoritis sedikit lebih besar dari pada hasil pengamatan. Sedangkan lebar retak hasil pengamatan ini masih dibawah batas-batas yang diijinkan, yaitu kurang dari 0,1 mm. Lebar retak sama dengan 0,1 mm tercapai pada beban 9000 Kg (diatas beban kerja), tetapi apabila beban dihilangkan, retak tersebut menutup kembali.

Dengan demikian apabila hasil perhitungan teoritis, masih sama dengan batas harga yang diijinkan, berarti masih menunjukkan harga yang aman, baik untuk lebar retak rata-rata (W_m), maupun lebar retak karakteristik (W_k).

Lebar retak hasil pengamatan menunjukkan harga yang lebih besar dari pada hasil perhitungan teoritis, apabila tulangan sudah mencapai plastis. Hasil pengamatan juga menunjukkan, bahwa apabila pembebanan disekitar beban kerja dihilangkan, maka retak yang terjadi akan menutup dengan sempurna.

Selanjutnya mengenai beban dekompresi [1], hasil perhitungan teoritis mempunyai harga sama dengan 3715 Kg, sedangkan menurut pengamatan adalah 3075 kg. Harga beban dekompresi menurut pengamatan kira-kira 50 % dari beban retak pertama. Sekalipun demikian pertambahan lebar retak pada pembebanan yang kedua tidak menunjukkan harga yang berarti, karena pada tahap pembebanan sekitar beban kerja (7500 kg),

lebar retak pada pembebanan yang kedua ini masih sekitar 0,1 mm.

Demikian halnya harga-harga beban retak pertama (P_{cr}) dan kekuatan tarik beton (σ_{br}), antara hasil perhitungan teoritis dan pengamatan, mempunyai nilai yang berdekatan.

Apabila keruntuhan balok tersebut diperhatikan, maka harga momen runtuh teoritis ($M_{rt\ th}$) dan momen runtuh pengamatan ($m_{rt\ eks}$) sangat berdekatan, yaitu momen runtuh teoritis, $M_{rt\ th}$ sama dengan 6,46 tm (64,6 kNm) dan momen runtuh pengamatan $M_{rt\ eks}$ sama dengan 6,35 tm (63,5 kNm). Harga-harga ini jauh diatas momen batasnya (M_{ult}) [6], dimana momen batas ini sebesar 4,57 tm (45,7 kNm). Ditinjau dari angka-angka diatas, maka keamanan terhadap runtuh cukup besar, sedangkan momen kerja (M_{serv}) diambil:

$$M_{serv} = \frac{M_{ult}}{1,5} \dots \dots \dots [5]$$

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

VI.1 Kesimpulan

Dengan mengambil persentase minimum dari beton prategang parsial sama dengan 60 %, lebar retak yang terjadi pada tahap beban kerja masih lebih kecil dari 0,1 mm. Harga ini lebih kecil dari pada harga-harga batas yang diijinkan, misalnya oleh CEB-FIP/1978, yaitu 0,1 mm, 0,2 mm dan 0,4 mm, tergantung pada kondisi disekeliling struktur. Dengan demikian apabila untuk suatu balok prategang parsial yang persentase prategangnya lebih besar atau sama dengan 60 %, maka tanpa menghitung lebar retaknya pun, struktur tersebut sudah aman. Hal ini disebabkan karena disamping lebar retak yang terjadi lebih kecil dari pada batas-batas yang diijinkan, juga apabila bebannya dihilangkan, retak yang telah terjadi akan menutup kembali.

Selain itu lebar retak yang akan terjadi pada level tulangan prategang (tulangan aktif) lebih kecil dari pada hasil pengamatan, karena posisi tulangan prategang lebih sentris dari pada posisi tulangan beton biasa (tulangan pasif), dimana pengamatan lebar retak tersebut telah dilakukan.

Perhitungan teoritis menurut CEB-FIP/1978 [4], baik untuk jarak antara dua retak maupun lebar retak, sangat memuaskan.

VI.2 Saran

Perhitungan secara teoritis lebar retak akan mempunyai perbedaan yang berarti dibandingkan dengan hasil pengamatan apabila evaluasi kehilangan tegangan pada tulangan prategang kurang teliti. Oleh karena itu agar lebar retak yang akan terjadi sesuai dengan hasil perhitungan teoritisnya, maka perhitungan kehilangan prategangnya harus seteliti mungkin.

DAFTAR PUSTAKA

1. CEB-FIP : *Recommandation Internationales pour le calcul et l'execution des ouvrages du beton-1970.*
2. PBI - 1971 : *Peraturan Beton Bertulang Indonesia- 1971.*
3. F.LEONHARDT : *Crack Control and Concrete Structures, IABSE SURVEYS S-4/1977.*
4. CEB-FIP : *Code Modele CEB-FIP/1978 pour les structures en beton. Bulletin d'information no.124/125F.*
5. R.SUHUD : *Contribution a l'etude du compartemen des poutres armees precontrantes par fils adherents sous chargement direct. These Docteur-Ingenieur, Toulouse, Janvier 1981.*
6. R.SUHUD : *Beton Prategang Parsial Jurnal PUSLITBANG JALAN, Juli 1990.*
7. R. SUHUD : *Disain Campuran Beton Jurnal PUSLITBANG JALAN, Juni 1991.*

PENULIS

Dr.Ir.H.Ridwan Suhud adalah Dosen pada Jurusan Teknik Sipil ITB tahun 1983 S3 Struktur (Doktor) khusus dalam beton Prategang Partial dari Institut National Des Sciences Appliquess (INSA) Toulouse, Perancis.