



# PERKEMBANGAN LEBAR RETAK APABILA TERJADI PADA BALOK BETON PRATEGANG PENUH

H. Ridwan Suhud

## RINGKASAN

Beton prategang penuh memungkinkan struktur beton lebih ekonomis, terutama untuk struktur-struktur yang mempunyai bentang yang panjang. Dalam hal ini kita tidak pernah memikirkan akan terjadinya retak.

Bagaimana apabila suatu waktu pada beton prategang penuh ini terjadi retak, misalnya karena adanya beban yang melebihi beban kerja atau evaluasi kehilangan tegangannya kurang tepat ?

Untuk mendapatkan gambaran (informasi) mengenai masalah diatas, telah dilakukan percobaan-percobaan terhadap balok-balok segi empat yang diprategang dengan persentase 80 % (prategang parsial) dan persentase 100 % (prategang penuh).

Percobaan-percobaan ini dilakukan di Laboratorium Struktur, Departement de Genie Civil, INSA - Toulouse, Perancis.

## SUMMARY

Fully prestressed concrete permits economical design of structures, particularly when they have long spans. In such case, we do not ever think that the cracks will occur.

What will be the cracking conditions of a fully prestressed concrete beam under flexural bending, if the cracks occur, for instance, by accidental over loading or loss of prestress is not properly evaluated ?

Some tests were carried out in order to obtain more information in this case. The beams were tested in pure bending, they had rectangular cross sections and were prestressed by pretension at 80 % an 100 % rates of prestress.

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

## I. PENDAHULUAN

Beton prategang penuh atau beton kelas I menurut klasifikasi CEB-FIP/1970 [1], tidak mengijinkan terjadinya tegangan tarik pada penampang sewaktu menahan beban kerja. Namun demikian kemungkinan timbulnya retak dapat saja terjadi, misalnya apabila suatu waktu bekerja beban yang lebih besar dari pada beban kerja [2].

Hal ini dapat ditanggulangi dengan menambahkan tulangan beton biasa (tulangan pasif) pada beton prategang tersebut. Tetapi jika kandungan tulangan biasanya terlalu kecil, dengan kata lain beton prategang penuh tadi dijadikan beton prategang parsial dengan persentase prategang yang masih mendekati 100 %, maka perkembangan retak yang akan ter-

jadi, tidak akan jauh berbeda dengan prategang penuh.

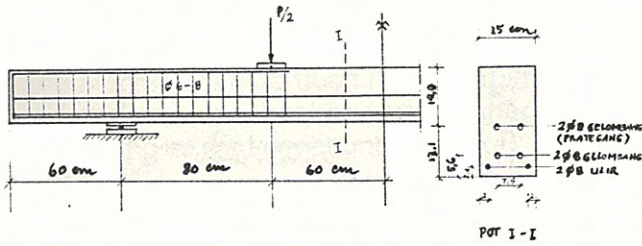
Meskipun retak pertama akan terjadi pada beban yang lebih besar dari beban kerja, namun untuk retak yang kedua dan selanjutnya mungkin akan terjadi pada beban kerja atau bahkan lebih kecil dari pada beban kerja. Hal ini disebabkan karena kekuatan tarik dari beton ditempat tadi sudah hilang sama sekali.

Dengan demikian kemungkinan karatan dari tulangan prategang masih ada, disamping itu kekakuannya juga akan turun [3].

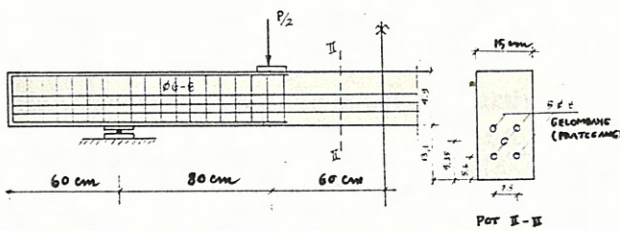
## II. PERCOBAAN

### II.1 Karakteristik Benda Uji

Benda uji merupakan balok beton prategang parsial dan prategang penuh, yang karakteristik dan dimensinya seperti pada Gambar-1 dan tabel-1.



BALOK - A



BALOK - B

Gambar-1 Penulangan Balok

Balok	Persentase Prategang (%)	Luas Tulangan Prategang (Aa) (cm <sup>2</sup> )	Luas Tulangan Beton Biasa (Ap) (cm <sup>2</sup> )
A	80	2,0	1,0
B	100	2,5	0

Tabel-1 Luas Tulangan

Tabel - 1 Menunjukkan :

- Luas penampang tulangan prategang, monostrand bergelombang Aa.
- Luas penampang tulangan beton biasa, besi berulir, Ap.
- Persentase prategang adalah bagian dari momen runtuh yang diimbangi oleh tulangan prategang (Aa) saja [4].

Batas elastis konvensional pada regangan permanen 2‰ (σ<sub>02</sub>) untuk besi beton berulir adalah 5110 kg/cm<sup>2</sup> (511 MPA) dan modulus elastisitasnya sama dengan 2,14.10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup> (2,14.10<sup>5</sup> MPA). Sedangkan batas elastis baja prategang sama dengan 15200 kg/cm<sup>2</sup> (1520 MPA) dan modulus elastisitasnya adalah 2,2.10<sup>6</sup> kg/cm<sup>2</sup> (2,2.10<sup>5</sup> MPA).

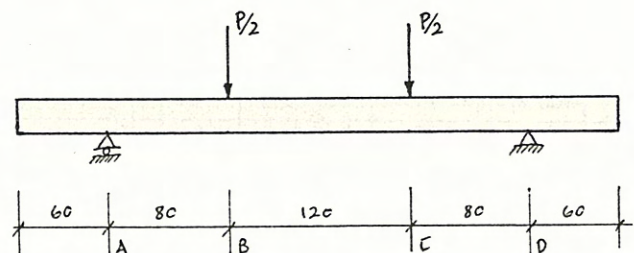
Kekuatan tekan rata-rata dari silinder beton dengan diameter 16 cm dan tinggi 32 cm, pada umur 28 hari adalah 435 kg/cm<sup>2</sup> (43,5 MPA) dan kekuatan tarik pada umur yang sama dari percobaan lentur dan percobaan belah (Splitting test) sama dengan 33 kg/cm<sup>2</sup> (3,3 MPA).

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

Tegangan awal baja prategang (σ<sub>ai</sub>) untuk kedua macam balok tersebut sama dengan 13000 kg/cm<sup>2</sup> (1300 MPA). Sedangkan tegangan efektif (σ<sub>a<sub>eff</sub></sub>) setelah kehilangan tegangan akibat perpendekan serentak, susut dan rangkakan beton, serta relaksasi dari baja prategang, untuk balok A (80%) sama dengan 10909 kg/cm<sup>2</sup> (1090,9 MPA) dan untuk balok B (100%) adalah 10864 kg/cm<sup>2</sup> (1086,4 MPA).

## II.2 Pembebanan

Balok uji dibebani seperti pada gambar-2



Gambar-2 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<sub>serv</sub> = 7500 kg (75 kN), untuk lenturan dengan pertambahan tegangan yang konstan.
- dari beban kerja sampai runtuh, dengan pertambahan lendutan yang konstan (0,2 mm/menit).

## II.3 Pengukuran

Baik deteksi retak pertama maupun lebar retak dilakukan dengan bantuan transducer CADI-10, sedangkan lokasi retak dicari dengan bantuan mikroskop yang mempunyai kemampuan antara 10 sampai 100 kali pembesaran.

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

### III. HASIL PENELITIAN

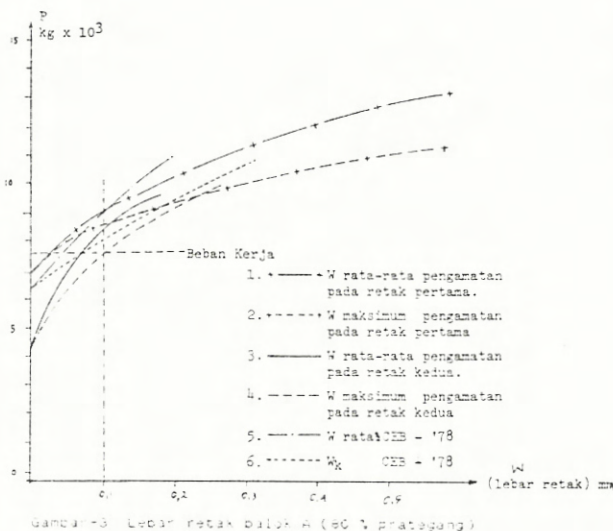
#### III.1 Jarak Retak dan Lebar Retak

Perhitungan teoritis untuk jarak retak dan lebar retak dilakukan menurut ketentuan CEB-FIP/1978 [5]. Hasil perhitungan teoritis dan hasil pengamatan jarak retak terlihat dalam tabel - 2. Hasil perhitungan teoritis dan hasil pengamatan lebar retak untuk balok A ditunjukkan dalam gambar-3, sedangkan untuk balok B ditunjukkan dalam gambar-4.

Lebar retak dihitung dan diukur pada sumbu tulangan yang paling bawah.

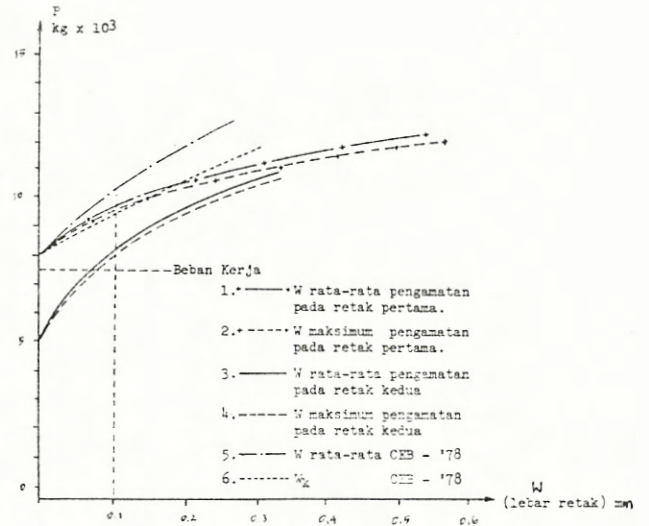
Balok	Jarak Retak Teoritis CEB-FIP/1978 (mm)	Jarak retak hasil pengamatan		
		Jarak minimum (mm)	Jarak rata-rata (mm)	Jarak maksimum (mm)
A(80%)	117	80	85	165
B(100%)	205	205	245	290

Tabel-2 Jarak Retak



Gambar-3 Lebar retak balok A (80 % prategang)

Gambar-3 Lebar retak balok A (80 % prategang)



Gambar-4 Lebar retak balok B (100 % prategang)

#### III.2 Beban Retak

Beban retak teoritis, beban retak sesungguhnya (aktual) dan beban retak nyata (terlihat dengan mata), tertulis dalam Tabel-3.

Beban retak / Balok	Teoritis		Aktual		Nyata		Kekuatan tarik (kg/cm <sup>2</sup> )		
	P (kg)	M (kg)	P (kg)	M (kg)	P (kg)	M (kg)	Teo-ritis	Ak-tual	Nya-ta
A(80%)	6700	2680	6275	2510	7275	2910	33	25	44
B(100%)	8175	3270	7775	3110	8275	3310	33	25	35

Tabel-3 Beban Retak

### IV. PEMBAHASAN

#### IV.1 Jarak Retak dan Lebar Retak

Dari Tabel-2 dapat dilihat, bahwa harga jarak retak antara hasil perhitungan teoritis dan pengamatan untuk kedua balok tersebut cukup dekat. Jarak retak untuk balok B (100 % prategang) sangat melonjak dibandingkan dengan jarak balok A (80 % prategang). Hal ini disebabkan karena persentase tulangan dan kemampuan lekatan tulangan balok B lebih rendah dari pada balok A.

Dapat diperkirakan, bahwa apabila persentase prategang untuk balok A dipertinggi,

misalnya 90 % prategang atau lebih, harga jarak untuk balok A akan mendekati harga jarak retak untuk balok B.

Hasil pengamatan juga menunjukkan, bahwa untuk balok B jumlah retak dari mulai timbulnya retak pertama sampai balok tersebut untuk tidak berubah (tidak bertambah). Hal ini akan menyebabkan penambahan lebar retak yang sangat cepat untuk balok B.

Dalam hal lebar retak, gambar-3 dan gambar-4 memperlihatkan, bahwa selama tulangan masih belum leleh, hasil perhitungan teoritis dan pengamatan sangat berdekatan. Setelah tulangan mencapai leleh, hasil pengamatan menunjukkan harga yang lebih besar dari pada perhitungan teoritis.

Beban retak nyata untuk balok A adalah 7275 kg, sedikit lebih rendah dari beban kerja ( $P_{serv} = 7500 \text{ kg}$ ), dan beban retak nyata untuk balok B sama dengan 8275 kg, sedikit diatas beban kerja.

Hal yang menarik disini adalah, meskipun timbulnya retak pada balok A lebih dulu dari pada balok B, tetapi hasil pengamatan memperlihatkan, bahwa penambahan lebar retak pada balok B lebih cepat dari pada balok A.

Misalnya untuk lebar retak 0,2 mm pada kedua balok tersebut, dicapai pada beban yang sama yaitu  $\pm 10.000 \text{ kg}$ . Padahal pada beban ini, baik tulangan biasa maupun tulangan prategang masih belum leleh.

Dengan data ini dapat diperkirakan, bahwa apabila balok prategang parsial, persentase prategangnya diambil lebih besar dari 80 %, misalnya 90 % atau lebih, penambahan lebar retaknya akan lebih mendekati atau bahkan mungkin akan sama dengan balok prategang penuh.

Keadaan diatas terjadi pada pembebanan pertama, Pembebanan yang kedua pada balok B ini keadaannya lebih mengkhawatirkan lagi, karena sejak beban dekompresi [1], retak pertama yang apabila bebannya dihilangkan menutup kembali, retak tersebut mulai terbuka lagi. Hal ini disebabkan karena beton pada penampang retak, sudah kehilangan kekuatan tariknya dan beban dekompresi ini jauh dibawah beban retak pertama bahkan mungkin lebih rendah dari beban kerja.

Dengan demikian pada beban yang sama, lebar retak yang kedua ini lebih besar daripada lebar retak yang pertama, seperti terlihat pada

gambar-3 dan gambar-4 tersebut. Kemudian pada retak yang kedua ini, meskipun pada balok A (80 % prategang), timbulnya retak kembali lebih dulu dari pada balok B (100 % prategang), namun pada tahap beban kerja (7500 kg), lebar retak kedua balok tersebut praktis sama, yaitu kira-kira 0,1 mm. Selanjutnya untuk beban yang lebih besar dari beban kerja, meskipun tulangan belum leleh, lebar retak yang terjadi pada balok B lebih besar dari pada perhitungan teoritis, sedangkan untuk balok A, lebar retaknya kira-kira masih sama dengan lebar retak hasil perhitungan teoritis.

Tabel-4 memperlihatkan perbandingan beban dekompresi antara perhitungan teoritis [1] dengan hasil pengamatan. Apabila diperhatikan harga-harga tersebut cukup berdekatan.

Beban dekompresi	Teoritis		Pengamatan		
	Balok	P(kg)	M(kg)	P(kg)	M(kg)
A(80%)		4990	1996	4275	1710
B(100%)		6530	2612	5275	2110

Tabel-4 Beban Dekompresi

## IV.2 Beban Retak

Mengenai beban retak (pertama), baik secara teoritis, aktual, maupun nyata, mempunyai harga-harga yang cukup berdekatan. Hal yang menarik disini adalah mengenai kekuatan tarik aktual ( $\sigma_{br}$ ), dimana untuk balok A dan balok B mempunyai nilai yang sama yaitu  $25 \text{ kg/cm}^2$ , sedangkan harga teoritisnya sama dengan  $33 \text{ kg/cm}^2$ . Perbedaan ini cukup memberikan kesan, bahwa tampaknya ada kecenderungan, apabila beton itu mengalami tegangan tekan yang cukup besar, kemampuan tariknya akan menurun. Dalam hal ini dapat dibandingkan juga dengan kekuatan tarik aktual dari balok prategang parsial dengan persentase prategang 60 %, yang nilainya sama dengan  $29 \text{ kg/cm}^2$ . Nilai ini lebih tinggi dari pada kekuatan tarik aktual untuk balok A dan balok B, tetapi masih lebih kecil dibandingkan dengan kekuatan tarik teoritisnya ( $33 \text{ kg/cm}^2$ ). Dengan demikian hal ini akan mempunyai konsekuensi, bahwa harga beban retak aktual akan selalu lebih kecil dari pada harga teoritisnya.

Tabel-4 juga memperlihatkan, bahwa beban dekomresi secara teoritis untuk balok prategang penuh (balok B) adalah 6530 kg, yang seharusnya lebih besar atau sama dengan lebar kerja (7500 kg) [1]. Hal ini disebabkan karena kehilangan tegangan pada tulangan prategang cukup besar. Dari tegangan awal ( $\sigma_{ai}$ ) sama dengan 13000 kg/cm<sup>2</sup>, tegangan efektifnya ( $\sigma_{aef}$ ) adalah 10864 kg/cm<sup>2</sup>. Kehilangan tegangan sama dengan 2136 kg/cm<sup>2</sup> atau kurang lebih 16,44 %. Kehilangan tegangan ini diukur dengan bantuan transducer. Disamping itu beban dekomresi menurut hasil pengamatan lebih kecil dari pada harga teoritis, karena beban dekomresi ini hanya dapat diamati apabila balok tersebut sudah retak [3]. Pada keadaan beton sudah retak ini meskipun beban dihilangkan, tetapi tegangan pada tulangan beton tidak hilang sama sekali (masih ada yang tersisa). Hal ini dapat terjadi karena disamping retak-retak yang dapat dilihat (retak ekstern), juga akan terjadi retak-retak intern, yang timbul disekeliling tulangan dan tidak terlihat dari luar, [6].

### IV.3 Keruntuhan Balok

Keruntuhan balok A dan balok B ditandai dengan pecahnya beton diserat paling ter-tekan (serat atas). Pada saat ini disamping dapat dibaca beban runtuhnya, juga dapat diukur deformasi beton dibagian tekan dan deformasi tulangan dibagian tarik. Pembacaan beban runtuh tersebut merupakan beban runtuh pengamatan ( $P_{reks}$ ), sedangkan pengukuran deformasi dapat menghasilkan beban runtuh secara teoritis ( $P_{rth}$ ), [7]. Perhitungan teoritis dilakukan secara coba-coba (trial and error), dan deformasi rata-rata baik untuk beton maupun besi tulangan tercantum dalam tabel-5.

Balok	Persentase prategang	Deformasi beton rata-rata	Deformasi tulangan rata-rata
A	80	4,73 %	9,94 %
B	100	5,15 %	9,52 %

Tabel-5 Deformasi Runtuh

Ternyata bahwa keruntuhan teoritis untuk kedua balok tersebut berdasarkan keseimbangan pivot atas [4].

Harga beban runtuh baik secara teoritis maupun menurut pengamatan tercantum dalam tabel-6.

Balok	Beban runtuh pengamatan (eksperimental)		Beban runtuh teoritis		Beban batas (ultimate)	
	$P_{reks}$ (kg)	$M_{reks}$ (kgm)	$P_{rth}$ (kg)	$M_{rth}$ (kgm)	$P_{rth}$ (kg)	$M_{rth}$ (kgm)
A	15175	6070	15850	6340	10875	4350
B	14975	5990	15450	6180	10675	4270

Tabel-6 Beban Runtuh

Dari tabel-6 dapat dilihat, bahwa harga beban runtuh teoritis dan pengamatan sangat berdekatan. Beban batas ( $P_{ult}$ ) jauh dibawah beban runtuh ( $P_r$ ), sedangkan beban kerja ( $P_{erv}$ ) kurang lebih sama dengan  $P_{ult}/1,5$ . Jika diperhatikan, maka beban runtuh ini kira-kira dua kali lebih besar dari pada beban kerjanya.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### V.1 Kesimpulan

Pada balok prategang penuh apabila sudah terjadi retak pertama, penambahan lebar retaknya akan sangat cepat. Meskipun beban dekomresi direncanakan sama atau lebih besar dari beban kerja namun pembukaan retak yang kedua, yaitu setelah retak yang pertama menutup kembali apabila bebannya hilang, dapat terjadi pada beban yang lebih kecil dari pada beban kerja. Hal ini disebabkan karena ada kecenderungan, bahwa apabila beton yang sebelumnya menderita tegangan tekan yang cukup tinggi, kekuatan tariknya akan menurun dibandingkan dengan beton yang masih bebas tegangan tekan.

### V.2 Saran

- Apabila merencanakan beton prategang parsial, disamping tidak kurang dari 60 % prategang, juga tidak melebihi 90 % prategang.
- Untuk tulangan beton biasa (tulangan passif), sebaiknya digunakan tulangan yang diprofilkan (tulangan berulir), meskipun CEB-FIP/1978 memungkinkan untuk menghitung lebar retak dari beton dengan tulangan yang polos.

c). Perhitungan kehilangan tegangan dari baja prategang sebaiknya dilakukan setepat mungkin, agar baik untuk beton prategang maupun penuh beton prategang parsial, beban dekompresinya sesuai dengan rencana.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. CEB - FIP : Recommendations internationales pour le calcul et l'execution des ouvrages en beton 1970.
2. T.Y. LIN and BURNS : Design of Prestressed Concrete Structures.
3. G. PONS : Contribution a l'etude de la fissuration des pontes partiellement pre'contraintes. These Docteur - Ingenieur, Toulouse, Janvier 1974.
4. R. SUHUD : Beton Prategang Parsial Jurnal PUSLIT-BANG JALAN, Januari 1991.
5. CEB - FIP : Code Modele CEB-FIP/1978 pour les Structures en beton. Bulletin d'information no. 124/125.F
6. GOTO. Y. : Cracks formed in concrete a round deformed tension bar. AC Jurnal, April 1972
7. R.SUHUD : Contribution a l'etude du Comportement des pontes armees pre-contraintes par fils adherents sous chargement direct. These Docteur - Ingenieur, Toulouse, Janvier 1981.

#### **Penulis :**

*DR.IR.H. RIDWAN SUHUD, adalah Dosen Pada Jurusan Teknik Sipil ITB, tahun 1983. S3 Struktur (Doktor) Khusus Dalam Beton Prategang Parsial dari Institute National Des Sciences Appliques (INSA) Toulouse, Perancis.*