

PENGARUH TERJADINYA FIRST CRACK TERHADAP LAJU PENINGKATAN MOMEN NEGATIF TUMPUAN PADA BALOK BETON

Abdul Rokhman

Jurusan Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik – PLN

email : abdul_sipsttpln@yahoo.com

ABSTRAK: Struktur balok beton bertulang relatif memiliki nilai kekakuan struktur yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan jenis struktur balok dari material yang lain. Dengan nilai kekakuan yang tinggi ini menyebabkan defleksi struktur balok akibat beban yang bekerja mempunyai nilai yang relatif kecil. Apabila pada suatu struktur balok beton dilakukan pembebanan yang terus meningkat maka pada suatu saat modulus of rupture beton akan terlampaui sehingga berakibat terjadinya retak awal (first crack) pada beton. Penelitian yang telah dilakukan dengan menggunakan tiga buah model balok beton bertulang dengan dimensi balok 150 mm x 200 mm dengan panjang balok tengah 2250 mm. Agar terjadi nilai first crack yang berbeda dilakukan perbedaan variasi penulangan balok yang digunakan yaitu dengan membedakan sambungan lewatan (lap splice) pada tulangan tarik tengah bentang yang masing masing bernilai $1,0 l_d$ (500 mm), $0,5 l_d$ (250 mm), dan balok referensi dengan menggunakan tulangan tanpa sambungan. Pengujian yang dilakukan dengan menggunakan beban statis terpusat pada tengah bentang dengan memberikan kekangan pada kedua ujung tumpuannya sehingga akan didapatkan selain momen positif lapangan juga momen negatif tumpuan. Hasil penelitian dari ketiga model balok menunjukkan bahwa momen negatif tumpuan baru akan terjadi atau mempunyai peningkatan nilai yang cukup signifikan jika pada balok telah terjadi retak awal (first crack). Dengan terjadinya retak awal tersebut berakibat pada penambahan nilai momen negatif akan lebih besar dibandingkan dengan penambahan momen positif lapangan dalam hal ini telah terjadi redistribusi momen dari lapangan ke tumpuan.

Kata Kunci : Sambungan lewatan, First crack, Momen negatif tumpuan, Redistribusi momen

ABSTRACT: Reinforced concrete beam structure have higher stiffness than structure of beam from other material. The high of stiffness cause the deflection of structure concrete beam as effect of external load has small deflection. If the reinforced concrete beam conducted increasing loading hence at one time of modulus of rupture concrete will be skip over so that cause early first crack on concrete. This research use three models of beam reinforced concrete with the beam dimension is 150 mm x 200 mm longly at the middle beam 2250 mm. Variation of bar reinforced used relate to the splice length at mid span of beam with values $1,0 l_d$ (500 mm), $0,5 l_d$ (250 mm), and beam reference by using bar reinforced without splices. This experiment conducted with using static load centrally at mid span by giving constraints at the support of the beam. The result of experiment from third model of beam indicated that the negative moment at the support will be happened or have the significant value after first crack happened at the concrete. With the first crack of concrete cause add the negative moment at support will be more than the positive moment at span. In this case have been happened the moment redistribution.

Keywords : Lap splices, First crack, Moment of support, Moment redistribution

PENDAHULUAN

Keretakan (cracks) pada struktur beton dapat disebabkan oleh dua hal yaitu retak akibat beban luar yang mengakibatkan terjadinya lentur atau geser atau kombinasi keduanya pada elemen beton dan yang kedua retak sebagai akibat dari proses pengeringan beton yang tidak seragam atau yang sering disebut retak susut (shrinkage

crack). Struktur beton bertulang relatif memiliki kekakuan struktur yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis struktur yang lain misalnya baja atau kayu. Dengan nilai kekakuan yang tinggi ini menyebabkan defleksi struktur pada beton bertulang akibat beban yang bekerja mempunyai nilai yang relatif kecil. Pada struktur beton, nilai kuat tarik beton hanya sekitar 10%

dari kuat tekannya sehingga apabila beban luar dinaikkan sampai melebihi batas nilai tegangan tarik beton (*modulus of rupture*), maka beton pada daerah sisi tarik akan mulai terlihat terjadi retak awal (*first crack*). Dengan adanya *first crack* ini berakibat pada nilai kekakuan beton yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya defleksi struktur.

Pada struktur balok dengan tumpuan berupa jepit, pembesaran momen negatif tumpuan akibat beban yang bekerja tidak berbanding lurus dengan pembesaran momen positif lapangan. Hal tersebut dikarenakan sebelum terjadi *first crack*, rotasi pada sisi tumpuan terkekang oleh adanya jepit sehingga mengurangi besaran nilai momen negatif. Dengan adanya perbedaan nilai momen tumpuan dan lapangan ini akan menimbulkan terjadinya redistribusi momen pada balok beton.

TINJAUAN PUSTAKA

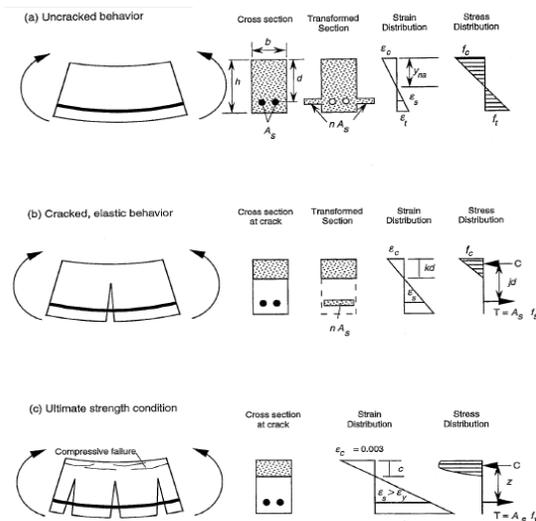
Retak Beton

Carino N.J. (1995) membagi fase keretakan balok beton menjadi tiga macam yaitu fase belum retak (*uncracked*), fase retak pada kondisi elastik (*cracked with elastic range*), dan yang terakhir fase retak pada kondisi ultimit. Kondisi *uncracked* terjadi pada saat tegangan akibat beban masih berada di bawah tegangan tarik ijin (*modulus of rupture*) di mana pada fase ini beton belum mengalami keretakan.

Redistribusi Momen

Bondy (2003) menyatakan redistribusi momen adalah suatu keadaan yang menggambarkan perilaku batang beton bertulang statis tak tentu setelah terjadinya kelelahan pertama pada suatu tampang batang. Jika beban yang dikenakan pada batang dinaikkan secara bertahap, respon awal yang terjadi mulai dari elastik, dan jika beban dinaikkan akan terjadi respon rotasi *inelastic* pada tampang yang mengalami leleh tetapi tidak merubah besarnya momen pada titik tersebut. Bersamaan dengan kejadian tersebut pada

tampang yang lain akan mengalami kelelahan awal dan menaikkan momen pada tampang tersebut. Pada saat itulah terjadi redistribusi momen dari suatu titik tampang ke titik tampang yang lain yang masih dalam kondisi elastik.



Gambar 1. Perilaku balok beton bertulang saat menerima beban lentur (Carino N.J. 1995)

Purwono dkk (2007) menyatakan redistribusi momen tergantung dari daktilitas yang cukup di daerah sendi plastis. Daerah sendi plastis ini terbentuk di titik momen maksimum dan mengakibatkan pergeseran pada diagram momen elastis.

Mafizul (2002) meneliti secara numerik dengan menggunakan program komputer untuk menganalisis balok dua bentang dan pelat satu arah. Dari hasil analisisnya menyatakan bahwa redistribusi momen tidak hanya tergantung dari parameter garis netral (k_u), tetapi juga dipengaruhi oleh rasio parameter garis netral antara daerah tumpuan dan lapangan (k_u/k_u^+), *ultimate steel strain* (ϵ_{su}) dan kuat tekan beton (f_c). Nilai k_u/k_u^+ yang semakin kecil maka momen yang dapat diredistribusikan akan semakin besar. Semakin tinggi nilai kuat tekan beton akan menurunkan nilai redistribusi momen.

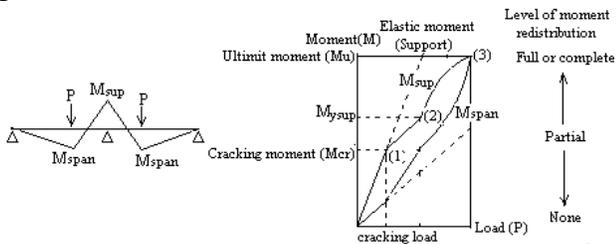
Dalam penelitiannya Cagney dan Wong (2004) menyatakan bahwa semakin besar nilai rasio antara panjang bentang dan tinggi balok (L/d) maka besar redistribusi momen yang terjadi akan berkurang. Penambahan tulangan pada daerah lapangan tidak hanya meningkatkan kapasitas momen tetapi juga menaikkan kekakuan lenturnya.

Maghsoudi dan Bengar (2009) meneliti tentang pengaruh penggunaan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) pada balok menerus RHSC (*Reinforced High Strength Concrete*) terhadap perilaku redistribusi momen dan daktilitas yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi jumlah lapisan CFRP akan menurunkan tingkat redistribusi momen secara signifikan. Maghsoudi dan Bengar (2009), menyatakan bahwa rasio redistribusi momen (β) dihitung dengan rumus :

$$\beta = \frac{M_e - M_E}{M_e} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Nilai M_e merupakan nilai *failure moment* yang dihitung berdasarkan analisis elastis sedang M_E adalah nilai momen hasil eksperimen.

Diagram hubungan beban dan momen (P-M) dapat digunakan untuk mengilustrasikan konsep redistribusi momen seperti yang terlihat pada gambar 2.2.

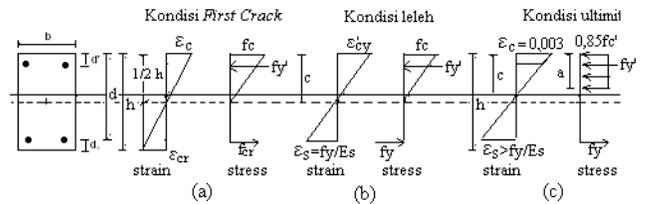


Gambar 2 Redistribusi momen pada balok menerus

LANDASAN TEORI

Analisis Plastis Balok Beton Bertulang

Analisis plastis untuk penampang beton bertulang dapat digunakan untuk menentukan sudut kelengkungan (*curvature*) dan momen penampang pada kondisi *first crack*, leleh dan ultimitnya seperti terlihat dalam gambar 3.



Gambar 3. Distribusi tegangan pada tampang beton bertulang

Gambar 3.a menggambarkan kondisi saat retak pertama. Diasumsikan garis netral terletak pada titik berat penampang beton, dan tegangan tarik beton terluar telah mencapai tegangan tarik maksimum beton (f_{cr}), sehingga didapatkan momen dan kelengkungan pada retak pertama.

$$M_{cr} = f_r \cdot S \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{atau } M_{cr} = \frac{I_g \cdot f_r}{y_t} \quad \dots\dots\dots (3)$$

Jika kuat tarik beton (f_{ct}) dari hasil uji tarik belah silinder diketahui, maka besarnya modulus runtuh beton dapat dihitung dengan persamaan (SNI 03-2847-2002) :

$$f_r = 0,7 \sqrt{f'_c} \cdot \text{MPa} \quad \dots\dots\dots (4)$$

Kelengkungan pada kondisi *first crack* (ϕ_{cr}) dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\phi_{cr} = \frac{\epsilon_{cr}}{0,5h} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$M_y = T_s(d - c) + C_c \cdot \frac{2}{3} c + C_s(c - d')$$

$$\phi_y = \frac{\epsilon_{ct} y}{c} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\phi_u = \frac{0,003}{c} \quad \dots\dots\dots (8)$$

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan Penelitian

1. Baja Tulangan yang digunakan terdiri dari baja ulir berdiameter 10 mm untuk penulangan lentur balok dan baja tulangan

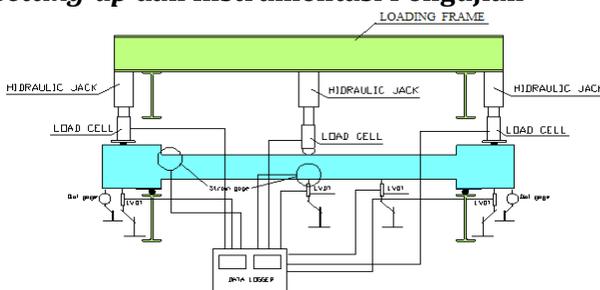
polos berdiameter 8 mm untuk penulangan gesernya.

- Beton menggunakan *mix design* (rancang campur) sendiri dengan mutu beton yang ditargetkan memiliki nilai kuat tekan minimal 25 MPa, nilai *slump* sekitar 10 ± 2 cm.

Pelaksanaan Penelitian

- Persiapan : Tahap ini meliputi pengadaan bahan dan persiapan peralatan yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji.
- Pengujian Agregat : Pengujian agregat meliputi kadar air, berat jenis, berat satuan dan gradasi pada agregat halus (pasir) dan agregat kasar (*split*).
- Pengujian Tarik Baja : Pengujian tarik baja dilakukan untuk mengetahui secara pasti kuat tarik baja yang akan dipakai sebagai tulangan.
- Perakitan Benda Uji
penelitian ini dibuat tiga buah benda uji berupa struktur balok. Balok pertama adalah balok referensi (tulangan utuh tanpa penyambungan), balok kedua dengan panjang lewatan 0,50 l_d (250 mm) dan balok ketiga dengan panjang lewatan tulangan 1,0 l_d (500 mm).

Setting-up dan Instrumentasi Pengujian



Gambar 4. Setting up pengujian

Selama proses pembebanan dilakukan seluruh data direkam. Setiap ada kenaikan sebesar 0,1 mm sampai dengan 0,2 mm pada blok tumpuan, maka dilakukan *setting* tumpuan dengan cara mengembalikan blok tumpuan ke titik awal

dengan cara melakukan *jacking* pada blok tumpuan tersebut.

Tabel 1. Spesifikasi Model

Benda Uji	Dimensi Balok		Tulangan lentur				Panjang lewatan (tulangan tarik)	Tulangan geser
			Tumpuan		Lapangan			
	b (mm)	h (mm)	Atas	Bawah	Atas	Bawah		
B-0	150	200	2D10	2D10	2D10	2D10	Tanpa Sambungan	P8-75
B-25	150	200	2D10	2D10	2D10	2D10	250	P8-75
B-50	150	200	2D10	2D10	2D10	2D10	500	P8-75

HASIL PENELITIAN

Bahan Susun Beton

a. Agregat Halus (pasir)

Berat jenis pasir pada kondisi jenuh kering muka (SSD) dan nilai serapan air berturut-turut 2,81 gr/cm³ dan 4,99 %. Pada analisis gradasi menunjukkan bahwa pasir termasuk ke dalam zona II (agak kasar) dengan nilai modulus halus butir (mhb) pasir sebesar 2,60. Batas nilai berat jenis untuk agregat normal yaitu antara 2,5 sampai 2,7.

b. Agregat Kasar

Hasil pemeriksaan terhadap kerikil dari batu pecah (*split*) asal Kulon Progo menunjukkan berat jenis kerikil pada kondisi jenuh kering muka (SSD) dan nilai serapan air berturut-turut 2,62 gr/cm³ dan 3,49 %, modulus halus butir (mhb) 6,92. Berat satuan kerikil dengan pemadatan dan tanpa pemadatan masing-masing 1,392 gr/cm³ dan 1,275 gr/cm³.

c. Mix design beton

Tabel 2. Berat bahan susun beton

Volume Beton	Faktor air semen	Semen (kg)	Pasir (kg)	Kerikil (kg)	Air (kg)
1 m ³	0,53	387	713	1070	205
0,6 m ³	0,53	232,2	427,8	642	123
0,1 m ³	0,53	38,7	71,3	107	20,5

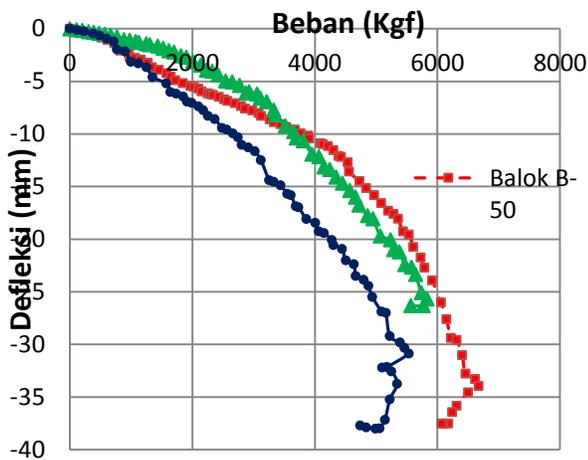
Pengujian Beton

Dari pengujian memberikan hasil berat volume beton rata-rata sebesar 23,49 KN/m³. Menurut SNI 03-2847-2002 Pasal 3.14, maka beton tersebut termasuk dalam klasifikasi beton normal yaitu mempunyai berat satuan antara 22 KN/m³ sampai dengan 25 KN/m³. Kuat tekan rata-rata yang dihasilkan sebesar 29,01 N/mm². Dari pengujian kuat tarik belah didapatkan nilai rata-rata sebesar 2,58 N/mm². Modulus Elastisitas beton diambil sesuai rumus dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 10.5.1 yaitu sebesar $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$ atau sebesar 25314,638 N/mm².

Hasil Pengujian Balok

Hubungan beban - defleksi

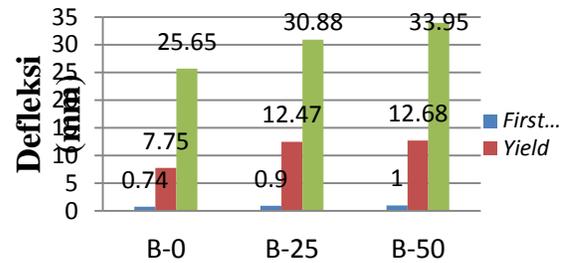
Dari Gambar 5 terlihat bahwa pada saat awal pembebanan dari ketiga balok menunjukkan grafik yang linier sampai pada batas kemampuan menahan retak. Setelah terjadi retak pertama (first crack), grafik baru akan mengalami perubahan gradient yang menandakan bahwa pada balok mulai terjadi peningkatan defleksi yang signifikan dengan disertai peningkatan nilai momen negatif tumpuan.



Gambar 5. Grafik hubungan beban - defleksi tengah bentang

Pada gambar 6. diperlihatkan pada saat beban yield defleksi pada model B-25 dan B-50

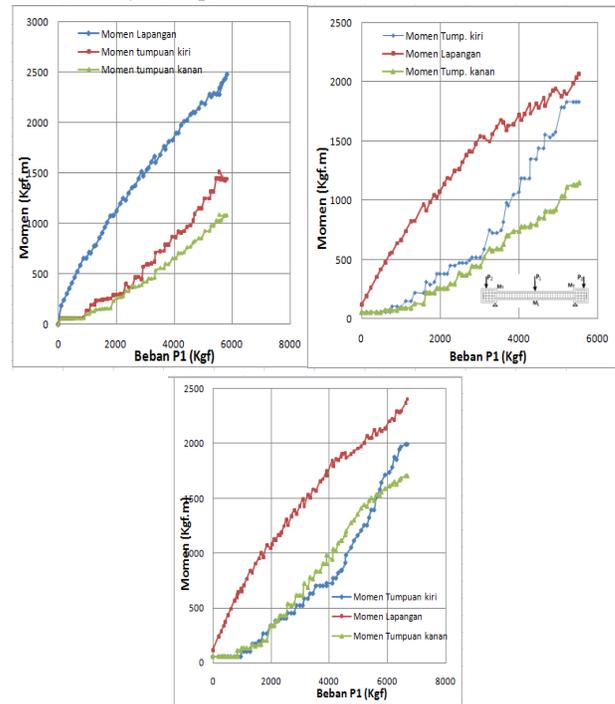
mempunyai nilai yang relatif sama yaitu 12,47 mm dan 12,68 mm sedang untuk model B-0 mempunyai nilai yang lebih kecil yaitu 7.75 mm. Hal ini disebabkan dengan adanya slip tulangan berakibat memperbesar nilai defleksi balok dan dalam pengujian ditunjukkan dengan adanya lebar retak yang cukup besar.



Gambar 6. Perbandingan defleksi saat kondisi first crack, yield, ultimate

Redistribusi momen

Hubungan momen - beban untuk ketiga model balok disajikan pada Gambar 7.

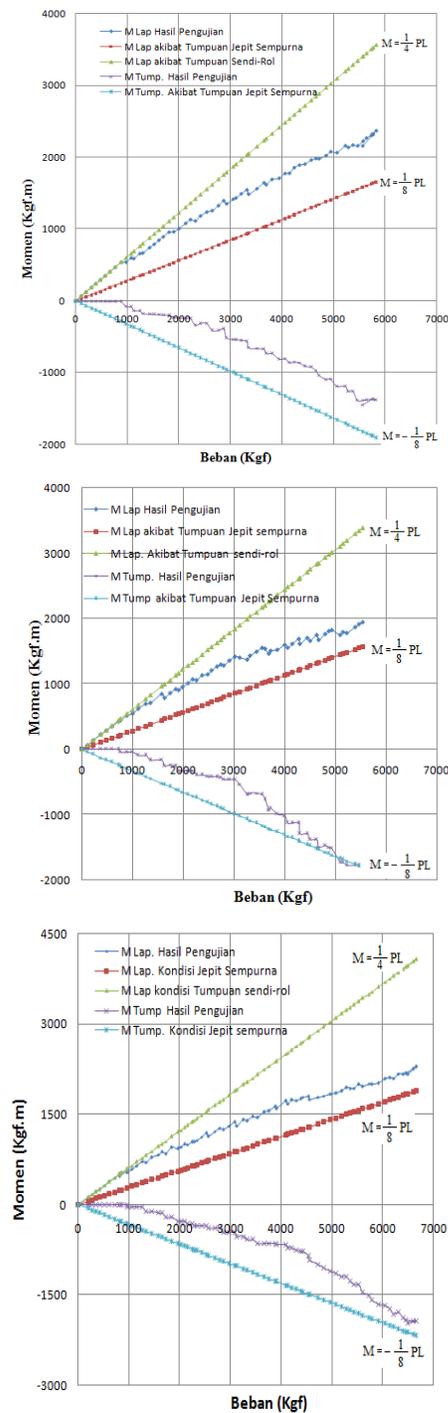


Gambar 7. Grafik hubungan momen - beban P₁ Balok B-0, B-25 dan B-50

Pada saat awal pembebanan semua model balok menunjukkan momen lapangan lebih dahulu

terjadi, sampai pada beban saat *first crack* terjadi baru akan timbul momen negatif tumpuan. Pada ketiga model balok menunjukkan bahwa momen negatif pada daerah tumpuan (ujung balok) baru terjadi jika telah tercapai beban yang mengakibatkan terjadinya *first crack* pada daerah tengah bentang. Hal tersebut terjadi karena pada saat beton belum mengalami retak (*first crack*) maka pada balok masih memiliki nilai kekakuan yang sangat tinggi, sehingga defleksi yang terjadi pada balok di daerah tengah bentang relatif sangat kecil berakibat pergerakan vertikal pada sisi luar blok tumpuan juga sangat kecil.

Kenaikan pembesaran momen negatif tumpuan lebih besar dari pada kenaikan momen positif lapangan. Hal ini ditunjukkan dalam gambar 7 dengan kemiringan garis (gradien) pada momen tumpuan yang lebih besar dari momen lapangan. Pada akhir pembebanan, besarnya momen lapangan lebih besar dibanding momen pada tumpuan, hal ini dikarenakan pada pengujian ini tipe pengeangan tumpuan yang terjadi tidak sepenuhnya menghasilkan kekangan berupa jepit sempurna.



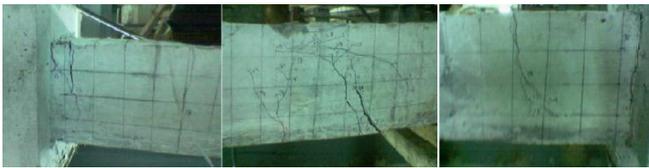
Gambar 8. Perbandingan momen pada kondisi tumpuan jepit penuh, dan hasil pengujian



Ujung balok kiri tengah bentang Ujung balok kanan
Gambar 9. Retak pada beberapa bagian model Balok B-0



Retak ujung balok kiri Retak lapangan Retak ujung kanan
Gambar 10. Retak pada beberapa bagian model balok B-25



Retak ujung balok kiri Retak lapangan Retak ujung kanan
Gambar 11. Retak pada beberapa bagian model Balok B-50.

KESIMPULAN

1. Balok dengan tulangan utuh (model balok B-0) memberikan nilai defleksi saat ultimit yang paling minimum yaitu sebesar 25,65 mm, bila dibandingkan dengan model balok B-25 dan B-50 yaitu masing-masing sebesar 30,88 mm dan 33,95 mm.
2. Adanya sambungan tulangan pada tengah bentang berakibat adanya konsentrasi retak di sekitar ujung sambungan tulangan tersebut.
3. Momen negatif akibat beban eksternal pada daerah tumpuan balok baru terjadi jika pada balok telah terjadi *first crack* di daerah tengah bentang.
4. Laju kenaikan momen negatif tumpuan lebih besar dari kenaikan momen lapangan hal ini disebabkan pada balok telah terjadi

redistribusi momen dari momen lapangan ke momen tumpuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bondy, K.B., 2003, "*Momen Redistribution : Principal and Practice Using ACI 318-02*", PTI Journal.
- Cagney BR. and Wong, KW., 2004, "*The Effect of Detailing Steel in the Compression Regions of Internal Supports on the Ductility of Reinforced Concrete Beams*", Electronic Journal of Structural Engineering (EJSE), 4, 45 - 54.
- Carmo dan Lopes, 2005, "*Ductility and Linear Analysis with Moment Redistribution in Reinforced High-Strength Concrete Beams*", Can. J. Civ. Eng. 32: 194-203
- Carino N.J., and Clifton J.R., 1995, "*Prediction of Cracking in Reinforced Concrete Structure*", Building and Fire Research, National Institute of Standards and Technology Gaithersberg.
- Mafizul .M., 2002, "*Moment Redistribution in Concrete Beams and One-Way Slabs Using 500 MPa Steel*", Thesis Curtin University of Technology.
- Maghsoudi. A, Bengar A., 2009, "*Moment redistribution and ductility of RHSC continuous beams strengthened with CFRP*", Turkish Journal Eng. and Environment Science, 33 (2009) 45 - 59.
- Purwono, R. dkk, 2007, "*Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SNI 03-2847-2002) Dilengkapi Penjelasan (S-2002)*", itspress.