INFO TEKNIK
Volume 14 No. 1 Juli 2013 (65-73)

SHEAR BEHAVIOR HOLLOW CORE REINFORCED CONCRETE BEAM

Wiku A. Krasna

Lecture, Civil Engineering and Environmental Department, Engineering Faculty, Lambung Mangkurat University

ABSTRACT

I cross-section of reinforced concrete reduce weight and concrete needs, but the reduction in strength is not too large. Based on observations I section reinforced concrete beam is quite complicated and takes much longer time for the manufacturing. Therefore another form of cross-section which is equivalent to weight reduction in I cross-section concrete beam, with hollow square cross-section of reinforced concrete beam. It is expected that hollow square cross-section of reinforced concrete has a same strength with I cross-section of reinforced concrete. So this research may provide an alternative lightweight concrete beam, efficient in materials, easy installation in the implementation of shear reinforcement, and easy in formwork manufacture. This research was conducted to identify and compare the behavior of the shear of hollow core reinforced concrete beam with an I cross-section beam that equivalent with its.

This experiment is using four reinforced concrete beam length 2000 mm, a T beam with bottom flange as control beam (BK) with measurement: b_{fa} = 600 mm, b_w = 125 mm, b_{fb} = 200 mm, h = 300 mm, t_f = 100 mm and three hollow core T beam as test beam (BB1, BB2 and BB3) with measurement: b_f = 600 mm, b_w = 200 mm, b_{lubana} = 75 mm h = 300 mm, t_f = 100 mm. This experiment is testing the static and dynamic. Static loading is performed with a four-point system load, static loads are given by the hydraulic jack. Observations on the static load carried on the first crack and at each initial crack addition until the ultimate fracture. With the parameters used is the amount of deflection, the strain of reinforcing steel and concrete, the crack pattern that has happened.

From the results of the experiments can be concluded that the hollow core reinforced concrete beam can be used as an alternative to I section reinforced concrete beam. It is seen from the difference in the shear load capacity is not much different between control beam (BK) and hollow beam (BB), with the difference between BK (299.3 kN) and BB1 (337.6 kN) is 12.79%, with BB2 (350, 6 kN) or 17.14% and with BB3 (289.4 kN) or -3.31%.

Keywords: hollow core reinforced concrete T beam, T reinforced concrete beam with bottom flange, shear capacity

I. PENDAHULUAN

Dalam upaya meningkatkan efisiensi dalam suatu struktur bangunan, bentuk penampang dari beton bertulang tidak lagi hanya berbentuk persegi, tetapi dibuat beberapa bentuk penampang balok beton. Beton bertulang dengan penampang I mengurangi bobot dan kebutuhan beton, namun pengurangan kekuatannya tidak terlalu besar. Berdasarkan pengamatan beton bertulang dengan penampang I pelaksanaan pembuatannya cukup rumit dan memakan waktu lebih lama. Oleh karena itu dibuat bentuk lain dari penampang beton yang pengurangan bobotnya ekivalen dengan balok beton penampang I, dengan membuat beton bertulang dengan penampang persegi berlubang memanjang (*hollow core beam*).

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui perilaku geser, lendutan, pola retak, daktilitas dan frekuensi balok persegi serta perilaku daktilitas balok berlubang dan balok T dengan flens bawah. Dari penelitian diharapkan dapat memberikan solusi yang bermanfaat untuk mempermudahan pelaksanaan pemasangan dan pengerjaan baja tulangan serta pemasangan dan pengerjaan bekesting, serta pemanfaatan balok beton berlubang memanjang sebagai pengganti balok beton tampang I/ balok penampang T dengan flens bawah.

Pengujian dilakukan pada balok beton bertulang penampang T berlubang memanjang (*hollow core rc beam*), dan balok beton bertulang balok penampang T dengan flens bawah sebagai balok kontrol dengan beton normal. Pengujian dilakukan untuk mengetahui perilaku dan kekuatan geser pada keadaan layan maupun batas serta frekuensi alami balok. Tinjauan kekakuan, daktilitas, dan arah pembebanan hanya dilakukan pada arah sumbu kuat.

II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Menurut Sapramedi (2005), melalui penelitiannya pada balok beton berlubang memanjang menyatakan pengurangan nilai V_c akibat lubang. Pengurangan nilai V_c menuntut penulangan gesernya harus lebih banyak agar mampu menahan gaya geser yang terjadi

Gilang T (2009), melakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik kekuatan *hollow core beam RC* terhadap lentur dan geser. Pengujian dilakukan terhadap balok beton persegi solid dengan bentang 2 m, dimensi 150/300 (BS), dan balok beton berlubang memanjang bentang 2 m, dimensi 150/300 dengan lubang yang dibuat dari tiga buah pipa PVC diameter 50,8 mm (BRD).

Penelitian geser lainnya juga dilakukan oleh Vecchio dan Collins pada tahun 1988, yang memperkirakan respons geser balok beton bertulang dengan metode *Modified Compresion Field Theory*. Hasil pengujian balok berlubang yang dilakukan oleh *University of Toronto* dibandingkan tengan perhitungan teoritis *Modified Compresion Field Theory* menunjukan bahwa rata-rata rasio kekuatan geser eksperimen - teroritis adalah 1.01 % dengan *coefisien of variation* (COV) sebesar 9.9%.

Saleh, F (2000), melakukan pengujian eksperimental tentang deteksi kerusakan pada balok beton bertulang non-prismatis dengan pemberian beban dinamik. Penampang balok non-prismatis yang diteliti adalah dengan ukuran (230-150 x 100) panjang 3000 mm. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap balok beton bertulang non-prismatis menunjukkan terjadi peningkatan kerusakan dengan bertambahnya beban yang diberikan.

Kuat Geser

Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI-03-2847-2002), perencanaan penampang terhadap geser harus didasarkan pada:

$$\emptyset V_n \geq V_u \quad (1)$$

dengan: $V_n = V_c + V_s$,V_n = kuat geser nominal, V_u = kuat geser terfaktor pada penampang yang ditinjau, V_c = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton, V_s = kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser, φ = faktor reduksi kekuatan bahan (0,75)

Kuat geser balok beton bertulang merupakan penjumlahan dari kapasitas geser beton dengan kapasitas geser baja tulangan geser, yang dikalikan dengan faktor reduksi (Φ). Tahapan-tahapan dalam perumusan kuat geser ditetapkan sebagai berikut:

a. Kapasitas geser beton yang hanya dibebani geser dan lentur

$$V_c = \left(\frac{1}{6}\sqrt{f_c'}\right).b_w.d \quad (2)$$

dengan: V_c = kuat geser (N), f_c = kuat tekan beton (MPa), b_w = lebar badan balok (mm), d = jarak dari tekan terluar kepusat tulangan tarik (mm)

b. Kapasitas geser tulangan geser

$$V_s = \left(\frac{V_u}{\emptyset}\right) - V_c \quad (3)$$

dengan: V_s = kuat geser tulangan geser (N), V_u = kuat geser ultimit (N), Φ = faktor reduksi (0,75)

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (4)$$

dengan: A_v = luas tulangan geser yang berada dalam jarak s (mm^2), A_s = ½ A_v = luas tulangan sengkang, f_y = tegangan leleh baja tulangan (MPa), s = jarak spasi (mm)

dengan A_v minimum

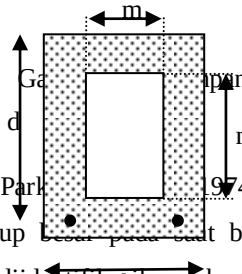
sebesar: $A_v = \frac{75\sqrt{f_c'}}{1200}\frac{b_w\, s}{f_y}$ (5)

Jarak antar tulangan geser maksimum tidak melebihi d/2 atau 600 mm

Analisis kuat geser pada balok beton berlubang (*hollow core beam rc*) adalah sama seperti analisis pada balok beton biasa, hanya saja penyebaran gaya geser pada balok berlubang memanjang bekerja dalam penampang sisi luar balok. Sehingga kapasitas geser dari beton yang digunakan adalah: (Sapramedi, 2005)

$$V_c = \left(\frac{1}{6}\sqrt{f_c'}\right).(b-m).d \quad (6)$$

dengan: V_c = kuat geser (N), f'_c = kuat tekan beton (MPa), b = lebar balok (mm), d = jarak dari serat tekan terluar kepusat tulangan tarik (mm), m = lebar lubang (mm), n = tinggi lubang (mm)



Gambar 1. Balok beton berlubang (*hollow core beam*)

Daktilitas

Daktilitas menurut Park (1974) merupakan kemampuan suatu struktur untuk mengalami lendutan yang cukup besar pada saat beban maksimal tercapai sebelum mengalami keruntuhan. Besarnya daktilitas diidentifikasikan sebagai *displacement ductility factor* μ, yaitu:

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (7)$$

dengan: μ = *displacement ductility factor*, δ_y = lendutan saat leleh, δ_u = lendutan ultimit

Kekakuan Struktur

Kekakuan menurut Timoshenko (1987), didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 8.

$$k = \frac{P_{cr}}{\delta_{cr}} \quad (8)$$

dengan: k = kekakuan (N/mm), P_{cr} = beban kritis (N), δ_{cr} = lendutan pada saat P_{cr} (mm)

III. METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton jadi produksi *PT. KARYA BETON SUDHIRA*, baja tulangan merek dagang KS berdiameter S13 dan JKS berdiameter P6 , kayu lapis dan kayu reng digunakan untuk membuat cetakan serta *polyfoam* digunakan sebagai pengisi lubang.

Alat Penelitian

Alat-alat yang dipakai untuk menguji balok beton terdiri dari rangka baja (*Loading Frame*), *Hydraulic Jack* dan *Hydraulic Pump, Load cell, Data Logger, LVDT* (*Linear Variable Differential Transducer*). Dengan *setting up* disajikan pada Gambar 2.

Benda Uji

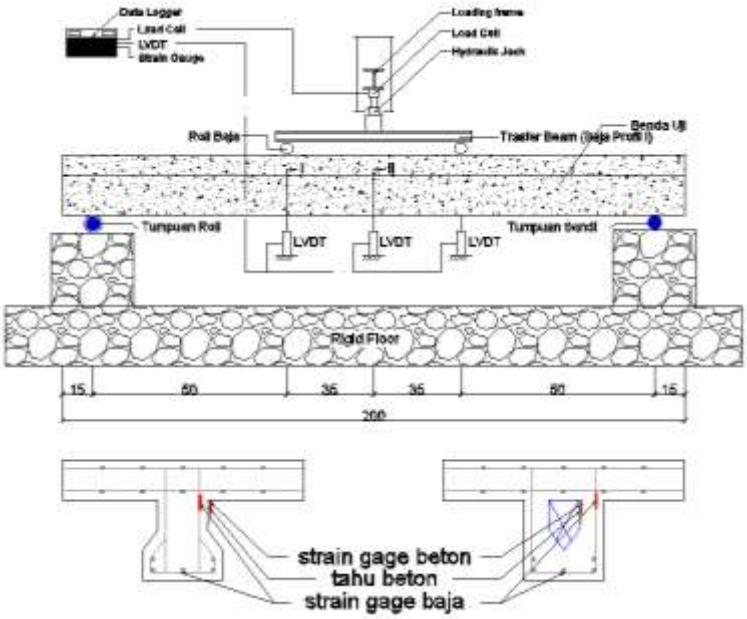
Benda uji yang dibuat terdiri dari benda uji pendahuluan dan benda uji balok. Benda uji pendahuluan terdiri dari: benda uji kuat tekan beton, benda uji kuat tekan mortar dan benda uji kuat tarik tulangan.
Benda uji balok dibuat sebangak empat buah yaitu: 1 buah balok I sebagai kontrol (BK), 3 buah balok berlubang sebagai balok uji (BB).

Pelaksanaan Penelitian

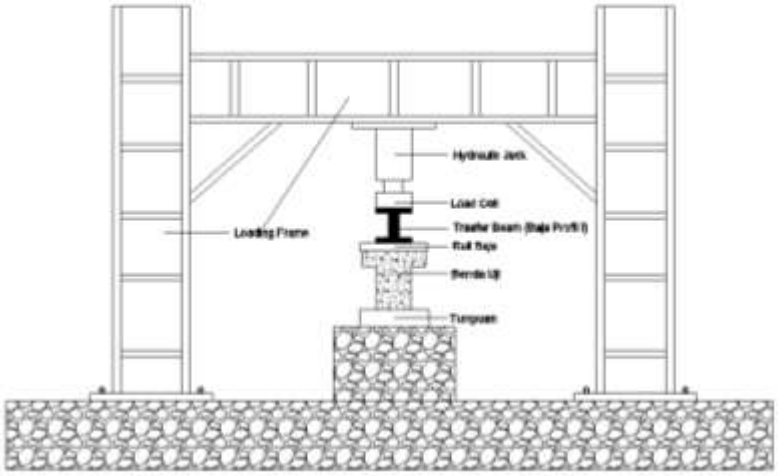
Pembuatan balok uji dengan mutu beton rencana fc' = 25 MPa. Benda uji terdiri dari 4 buah balok panjang 2000 mm satu buah balok penampang T dengan flens bawah sebagai balok kontrol (BK) dengan ukuran: b_{fa} = 600 mm, b_w = 125 mm, b_{fb} = 20o mm, h = 300 mm, t_f = 100 mm dan tiga balok pemampang T berlubang memanjang sebagai balok uji (BB1, BB2 dan BB3) dengan ukuran: b_f = 600 mm, b_w = 200 mm, b_{lubang} =75 mm h = 300 mm, t_f = 100 mm (Standar Jembatan Bina Marga Bentang 5 sampai 25 meter dengan bentang 7 meter berdimensi 40/60, skala 1 : 2).
Pada balok benda uji dipasang tulangan geser sesuai dengan kebutuhan, sedangkan tulangan lentur dipasang lebih banyak yaitu sebanyak lima buah tulangan dari empat buah tulangan perlu agar tidak terjadi keruntuhan lentur sebelum keruntuhan geser.
Pemasangan Strain gauge untuk mengetahui regangan yang terjadi pada baja tulangan dan beton. Pemasangan dilakukan pada balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB).
Pemasangan *strain gauge* baja sebanyak tiga buah *strain gauge* pada baja tulangan geser masing-masing pada posisi; dekat tumpuan (8 cm dari tumpuan), pada jarak dan satu d (29 cm dari tumpuan), dan pada jarak 64 cm dari tumpuan (setelah titik pembebanan), serta satu buah pada tulangan lentur pada jarak 1d. Pada balok berlubang (BB) dipasang strain gauge pada beton di tepi lubang di dalam beton.
Pemasangan *strain gauge beton* pada balok berlubang (BB) dilakukan sebelum pengecoran balok dilakukan, *strain gauge* ditempelkan terlebih dahulu pada tahu beton yang telah disiapkan sebelumnnya, sedangkan pada balok kontrol (BK) dilakukan setelah pengecoran, *strain gauge* ini

diletakkan pada jarak 1d (29 cm dari tumpuan). Masing-masing balok terpasang dua buah *strain gauge beton* dengan konfigurasi T.

Pengujian pendahuluan terdiri dari pengujian tarik baja ini berdasarkan SNI 07-2052-2002 dan pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 03-1974-1990. Pengujian benda uji balok dilakukan setelah beton berumur 28 hari untuk balok BK dan balok BB. Benda uji ditempatkan pada *loading frame* dengan tumpuan sendi dan rol pada kedua ujungnya.



a. Tampang memanjang pengujian geser



b. Tampang melintang

Gambar 2. *Set-up* pengujian balok beton

Data yang diperoleh dari pengujian meliputi: lendutan selama pembebanan berlangsung, besarnya beban pada saaat terjadi retak, besarnya beban maksimum, pola retak.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Pendahuluan

Hasil pengujian 3 silinder beton diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 33,786 MPa. Hasil uji kuat tarik baja tulangan untuk tegangan leleh baja tulangan D13 dan P6 berturut-turut sebesar 428,532 MPa dan 340,179 MPa.

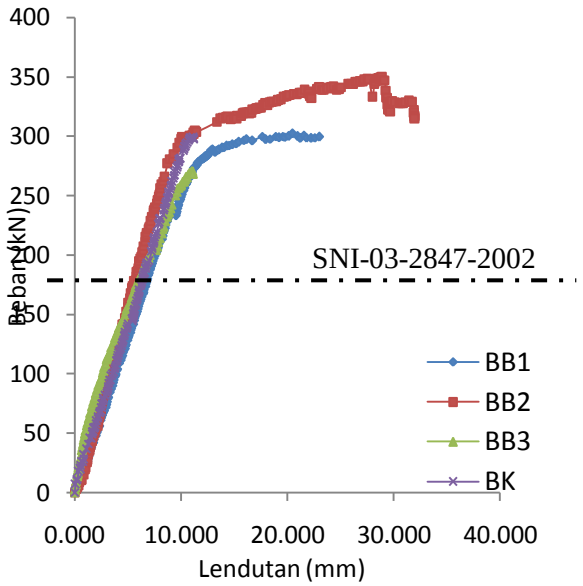
Kapasitas beban

Pengujian balok berlubang memanjang pada penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen, yang hasilnya akan dibandingkan dengan perhitungan teoritis berdasarkan SNI-03-2847-2002. Hasil pengujian dari balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB), ditunjukkan pada Tabel 1 dan pada Gambar 4.

Tabel 1 Beban dan lendutan

No	Benda Uji	Nilai beban (kN)		Lendutan (mm)		Lebar retak (mm)		Tipe keruntuhan
		Retak I	Maks	Retak I	Maks	Retak I	Maks	
1	BK	49,00	299,3	1,61	10,92	0,02	3	Tarik diagonal
2	BB1	48,70	337,6	1,94	22,98*	0,04	4	Geser
3	BB2	48,60	350,6	1,78	28,90	0,02	5	Geser
4	BB3	48,90	289,4	1,86	37,70	0,02	3	Tarik diagonal
5	Teoritis (SNI)	59,01	217,79					

*) Pembacaan terakhir sebelum LVDT dilepas pada beban 299,60 kN



Gambar. 4 Kurva beban – lendutan benda uji BK dan BB

Kekakuan

Kekakuan lentur balok didapat dari perbandingan beban dengan lendutan hasil eksperimen dengan pembebanan statis. Besarnya nilai kekakuan yang didapat disajikan dalam Tabel. 2.

Tabel. 2 Kekakuan lentur balok

Benda Uji	Beban (N)			Lendutan (mm)			Kekakuan (N/mm)		
	Crack	*Yield*	Ultimit	*Crack*	*Yield*	Ultimit	*Crack*	*Yield*	Ultimit
BB1	48700	283100	337600	1,94	12,35	-	25103,093	22923,076	-
BB2	48600	298100	350600	1,78	9,98	28,90	27303,371	29869,739	12131,488
BB3	48900	266400	289400	1,86	10,43	37,78	26290,322	25541,706	7660,137
BK	49000	280200	299300	1,61	9,84	10,92	30434,783	28475,609	27408,425

Daktilitas

Besarnya daktilitas dari benda uji dapat dilihat pada Tabel. 3.

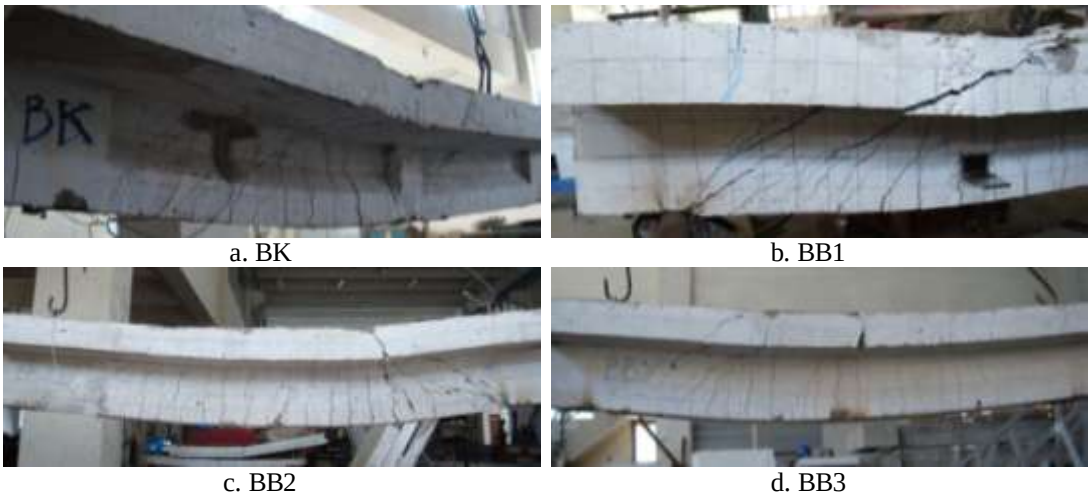
Tabel. 3 Nilai daktilitas benda uji

Benda uji	Lendutan (mm)		Daktilitas	Persantase (%)
	Leleh	Ultimit		
BK	9,84	10,92	1,109	0
BB1	12,35	-*	-	-
BB2	9,89	28,9	2,922	163,48
BB3	10,43	37,78	3,622	226,60

Ket: *) LVDT dilepas pada beban 299,6 kN dengan nilai pembacaan terakhir 22,98 mm

Pola Retak Dan Keruntuhan

Pola retak balok kontrol (BK) maupun balok berlubang (BB1, BB2 dan BB33) sama yaitu diawali dengan retak awal pada tengah bentang diawali kemudian dilanjutkan dengan retak geser pada daerah tumpuan. pada BK retak awal pada beban 49 kN dengan lebar retak sebesar 0,02 mm, lendutan 1,61 mm, dimulai dari tengah bentang dan di dekat tumpuan. Beban maksimum 299,3 kN dengan lendutan 10,92 mm, lebar retak 3 mm, untuk beban, lendutan dan lebar retak BB1, BB2 dan BB3 pada masing-masing keadaan dapat terlihat pada Tabel.2. Pada BK dan BB3 keruntuhan yang terjadi adalah tarik diagonal, ini terlihat pada retak yang terjadi, retak pada daerah geser dan lentur hampir sama besar dan banyaknya. Pada BB1 dan BB2 keruntuhan yang terjadi adalah geser, dapat terlihat retak geser yang terjadi sangat dominan dan lebar.



a. BK b. BB1

c. BB2 d. BB3

Gambar. 4 Pola keruntuhan balok uji

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Kapasitas geser balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB) tidak berbeda jauh antara BK (299,3 kN) dengan BB1 (337,6 kN) atau 12,79%, bengan BB2 (350,6 kN) atau 17,14% dan dengan BB3 (289,4 kN) atau -3,31%.
2. Kapasitas geser balok uji hasil eksperimen mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan terhadap hasil perhitungan teoritis berdasarkan SNI-03-2847-2002. Balok kontrol BK memiliki kapasitas lebih besar 37,61%, BB1 sebesar 55,01%, BB2 sebesar 60,98% dan BB3 sebesar 32,88% dari pada perhitungan teoritis.
3. Perbandingan kekakuan Balok kontrol (BK) dengan BB1 sebesar -17,52% pada retak awal dan -19,50% pada beban leleh. BB2 sebesar -10,29% pada retak awal, 4,89% saat beban leleh dan -55,74% pada ultimit. BB3 sebesar -13,62% pada retak awal, -10,30% saat beban leleh dan -72,05% pada ultimit.
4. Daktilitas balok uji memiliki perbedaan yang cukup besar, balok berlubang (BB) memiliki daktilitas yang lebih daripada balok kontrol (BK). BB2 memiliki daktilitas 163,48% dan BB3 226,60% lebih besar daripada BK
5. Pola retak dan keruntuhan balok uji, pada BB1 dan BB2 keruntuhan yang terjadi adalah keruntuhan geser, hal ini ditandai dengan terbentuknya retak geser yang lebar dimulai dari tumpuan.
6. Balok beton bertulang penampang persegi berlubang memanjang dapat digunakan sebagai alternatif pengganti balok beton bertulang penampang I atau balok penampang T dengan flens bawah yang ekivalen.

Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai kekakuan, daktilitas, dan balok beton berlubang memanjang pada arah sumbu lemahnya.
2. Perletakan yang digunakan pada eksperimen sebaiknya benar-benar berperilaku sesuai dengan kodisi di lapangan dan asumsi teoritis.
3. Pelaksanaan pembuatan benda uji harus lebih baik, sehingga tidak terdapat cacat pada benda uji, seperti masalah pemadatan beton yang kurang baik.
4. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai balok beton bertulang penampang persegi berlubang memanjang dengan balok beton bertulang penampang I atau balok penampang T dengan flens bawah yang ekivalen terhadap waktu pelaksanaan dan biaya

DAFTAR PUSTAKA

Gilang, 2009, *Perilaku Geser dan Lentur Pada Balok Beton Bertulang Berlubang Lingkaran.* Tugas Akhir, UGM, Yogyakarta

Park, R., dan Paulay T., 1974. *Reinforced Concrete Structure.* Wiley Interscience Publication, New York

Paulay, T., and Priestley, M.I.N., 1992, *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Building*, John Wiley and Sons Inc., Canada

Saleh, Fadillawaty, 2000, *Deteksi Lokasi Kerusakan Balok Beton Non-Prismatis Dengan Perubahan Mode Kelengkungan*, Tesis, UGM, Yogyakarta

Sapramedi, W.N., 2005. *Analisis Perilaku Geser dan Lentur Pada Balok Beton Bertulang Berlubang Lingkaran (Hollow Core RC Beam).* Tugas Akhir, UGM, Yogyakarta

SNI 03-2847-2002, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional

SNI 03-1747-1989, 1989. *Metode, Tata Cara dan Spesifikasi Pembangunan Jembatan*, Badan Standarisasi Nasional

SNI 07-2052-2002, 2002. *Baja Tulangan Beton*, Badan Standarisasi Nasional

Timoshenko, S. P., dan Gere, J. M., 1987. *Mekanika Bahan*. Erlangga, Jakarta

Vecchio, Frank J. dan Michael P. Collins,1988. *Predicting the Response of Reinforce Concrete Beams Subjected to Shear Using Modified Compresion Field Theory.* ACI Structural Journal; May-June, 1988