

Perilaku Geser pada Keadaan Layan dan Batas Balok Beton Bertulang Berlubang Memanjang

(Shear Behavior in the Serviceability and Ultimate Limit State of Hollow Core Reinforced Concrete Beam)

WIKU A. KRASNA, DJOKO SULISTYO, BAMBANG SUPRIYADI

ABSTRACT

I cross-section of reinforced concrete reduces weight and concrete needs, but the reduction in strength is not considerably large. In addition, I section reinforced concrete beam is relatively complicated and takes much longer time for manufacturing. Another geometric cross-section which results in equivalent weight reduction with that of I cross-section concrete beam may be hollow square cross-sections of reinforced concrete beams. This research was conducted to identify and compare the behavior of the shear and dynamic effects of hollow core reinforced concrete beam with an I cross-section beam that equivalent with its. The specimens being tested were four reinforced concrete beams, of 2000 mm length, consisted of a T beam with bottom flange as control beam (BK) possessing dimensions of $b_{fa} = 600$ mm, $b_w = 125$ mm, $b_{fb} = 200$ mm, $h = 300$ mm, $t_f = 100$ mm, and three hollow core T beams as tested beam (BB1, BB2 and BB3) possessing dimensions of $b_f = 600$ mm, $b_w = 200$ mm, $b_{lubang} = 75$ mm $h = 300$ mm, $t_f = 100$ mm. Static loading was applied by means of a hydraulic jack in a four-point loading system, were. Dynamic loading test was carried out by vibrating the beams to obtain the natural frequency, where the vibrating load were produced by a mechanical vibrator. Whilst the data on the static load carrying capacity was recorded at the first crack and at each initial additional crack until the ultimate fracture, those on dynamic loading was recorded on the solid block, at the first crack and at yield. The parameters being used was the magnitude of deflection, strain of the reinforcing steel and concrete, crack pattern and natural frequency. It can be concluded that the hollow core reinforced concrete beam can be used as an alternative to I section reinforced concrete beam. It was noticed that the difference in shear load carrying capacity between control beam (BK) and hollow beam (BB) was not considerably significant, where the difference between BK (299.3 kN) and BB1 (337.6 kN) is 12.79%, that with BB2 (350, 6 kN) or 17.14%, and that with BB3 (289.4 kN) or -3.31%. The natural frequency of BK is 58.594 Hz, 15.769% larger than the natural frequency of BB3 with 49.354 Hz. The natural frequencies of tested beam decreased with the increased of damage to the beam.

Keywords : hollow core reinforced concrete T beam, T reinforced concrete beam with bottom flange, shear loding capacity, natural frequency.

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, yaitu dengan membuat beton bertulang berpenampang persegi berlubang memanjang (*hollow core beam*).

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan pada balok beton bertulang penampang T berlubang memanjang (*hollow core rc beam*), dan balok beton bertulang penampang T dengan flens bawah sebagai balok kontrol.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui perilaku dan kekuatan geser pada keadaan layan maupun batas, lendutan, pola retak, daktilitas dan frekuensi alami balok persegi, balok berlubang dan balok T dengan flens bawah. Tinjauan kekakuan, daktilitas, frekuensi alami dan arah pembebanan hanya dilakukan pada arah sumbu kuat. Dari penelitian diharapkan dapat memberikan solusi yang bermanfaat untuk mempermudah pemasangan dan pengerjaan baja tulangan dan bekesting, serta pemanfaatan balok beton berlubang memanjang sebagai pengganti balok beton tampang I atau balok penampang T dengan flens bawah.

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

Gilang (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 dilakukan oleh Vecchio dan Collins (1988) yang memperkirakan respons geser balok beton bertulang dengan metode *Modified Compression Field Theory*. Hasil pengujian balok berlubang yang dilakukan oleh *University of Toronto* dibandingkan dengan perhitungan teoritis *Modified Compression Field Theory* menunjukkan bahwa rata-rata rasio kekuatan geser eksperimen - teoritis adalah 1,01 % dengan *coefisien of variation* (COV) sebesar 9,9%.

Saleh (2000) melakukan pengujian eksperimental tentang deteksi kerusakan pada balok beton bertulang non-prismatis dengan pemberian beban dinamik. Penampang balok non-prismatis yang diteliti memiliki ukuran (230-150 x 100) dengan 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:

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

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

$$V_c = \left(\frac{1}{6} \sqrt{f'_c}\right) \cdot b_w \cdot d \quad (2)$$

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

- b. Kapasitas geser tulangan geser

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

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), $A_s = \frac{1}{2} A_v$ = luas tulangan sengkang, f_y = tegangan leleh baja tulangan (MPa), s = jarak spasi (mm).

A_v minimum sebesar:

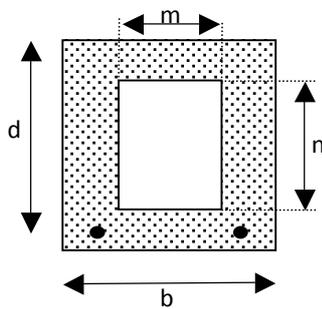
$$A_v = \frac{75 \sqrt{f'_c}}{1200} \frac{b_w s}{f_y} \quad (5)$$

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 (Sapramedi, 2005). Sehingga kapasitas geser dari beton yang digunakan adalah:

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

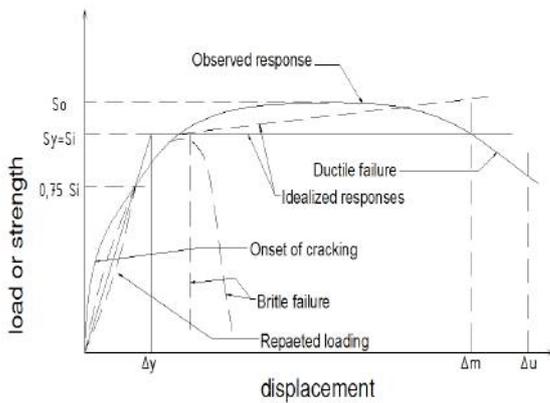
dengan V_c = kuat geser (N), f'_c = kuat tekan beton (MPa), b = lebar balok (mm), d = jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm), m = lebar lubang (mm), n = tinggi lubang (mm).



GAMBAR 1. Penampang beton berlubang (*hollow core beam*)

Daktilitas

Daktilitas menurut Park & Paulay (1974) merupakan kemampuan suatu struktur untuk mengalami lendutan yang cukup besar pada saat beban maksimal tercapai sebelum mengalami keruntuhan (Gambar 2).



GAMBAR 2. Hubungan pendekatan beban-lendutan (Paulay & Priestley, 1992)

Besarnya daktilitas diidentifikasi 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

Menurut Timoshenko dan Gere (1987) kekakuan 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).

Frekuensi Alami

Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar, yang dapat dinyatakan dengan Persamaan 9 (Supriyadi, 2002).

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (9)$$

dengan f = frekuensi alami (siklus/s, atau Hz), k = kekakuan struktur (N/m atau kg/m), m = massa dari struktur (kg.s²/cm)

Frekuensi alami dan bentuk pola-pola/*mode* normal dibedakan berdasarkan perletakan-perletakan/tumpuan dari balok (Biggs, 1964).

a. Perletakan sederhana

$$\omega_n = \frac{n^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (10)$$

b. Perletakan jepit-jepit

$$\omega_n = \frac{(n+1/2)^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (11)$$

c. Perletakan salah satu ujungnya jepit dan ujung lainnya tertumpu sederhana

$$\omega_n = \frac{(n+1/4)^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (12)$$

d. Perletakan salah satu ujungnya jepit dan ujung lainnya bebas

$$\omega_n = \frac{(n-1/2)^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \quad (13)$$

dengan ω = frekuensi alami sudut, (rad/s), n = pola/mode ke-1,2,3,... dst, l = panjang bentang (m), E = modulus elastisitas bahan (N/mm^2), I = Momen Inersia (mm^4), m = massa, ($kg.s^2/cm$).

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 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)*, *mechanical vibrator*, *amplifier sensor*, *accelerometer* dan set komputer dengan *Analog Convertor (PCL-812G)*.

Benda Uji

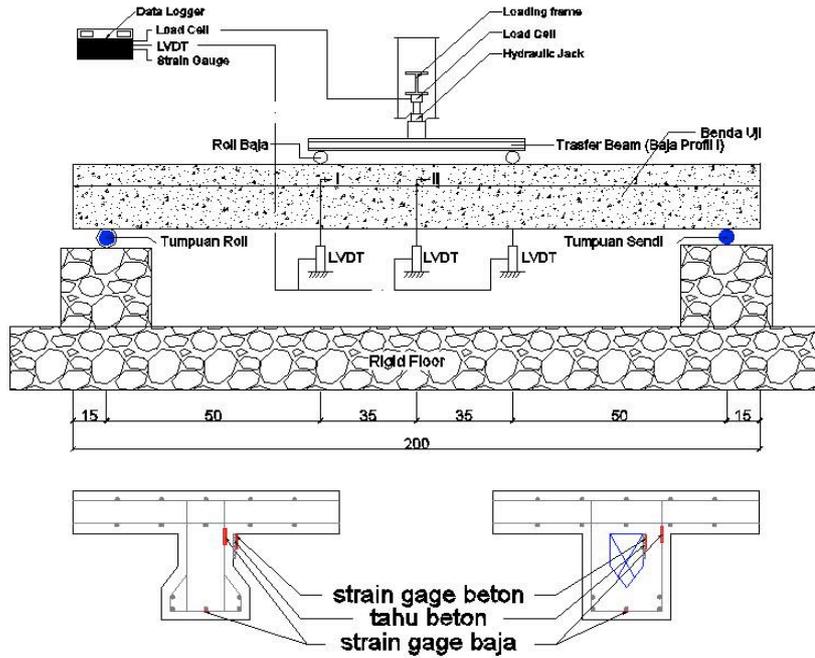
Benda uji yang dibuat terdiri dari benda uji pendahuluan dan benda uji balok. Benda uji pendahuluan terdiri dari benda uji kuat tekan beton, benda uji kuat tekan mortar dan benda uji kuat tarik tulangan. Benda uji balok dibuat sebanyak 4 buah, yaitu 1 buah balok I sebagai kontrol (BK), 3 buah balok berlubang sebagai balok uji (BB).

Pelaksanaan Penelitian

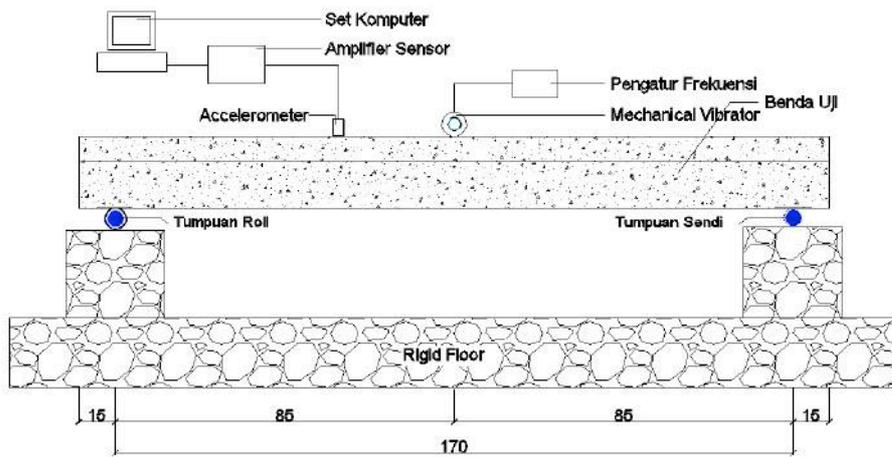
1. Pembuatan balok uji dengan mutu beton rencana $f_c' = 25$ Mpa, terdiri dari 4 buah balok panjang 2000 mm, 1 buah balok pemampang T dengan flens bawah sebagai balok kontrol (BK) berukuran: $b_{fa} = 600$ mm, $b_w = 125$ mm, $b_{fb} = 200$ mm, $h = 300$ mm, $t_f = 100$ mm dan 3 balok pemampang T berlubang memanjang sebagai balok uji (BB1, BB2 dan BB3) berukuran: $b_f = 600$ 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).

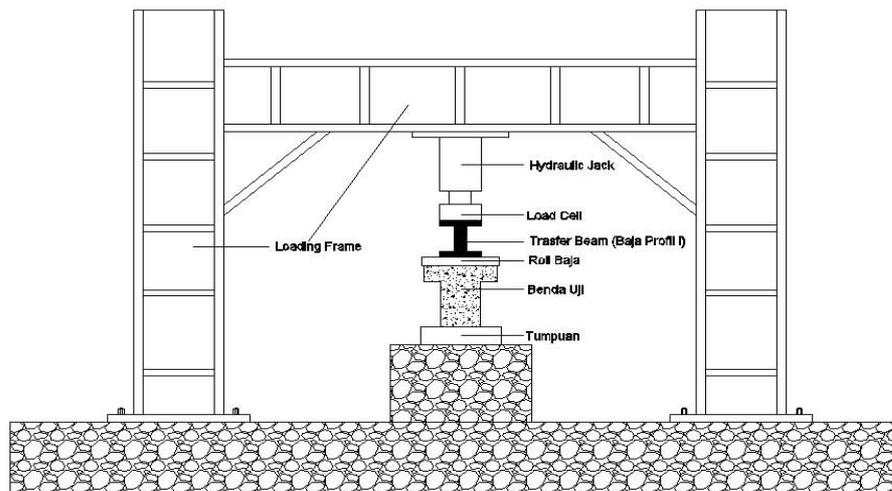
2. Pada balok benda uji dipasang tulangan geser sesuai dengan kebutuhan. Tulangan lentur dipasang lebih banyak, yaitu sebanyak 5 buah tulangan dan 4 buah tulangan perlu agar tidak terjadi keruntuhan lentur sebelum keruntuhan geser.
3. Pemasangan *strain gauge* untuk mengetahui regangan yang terjadi pada baja tulangan dan beton. Pemasangan dilakukan pada balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB).
4. 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 $1d$ (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.
5. Pemasangan *strain gauge* beton pada balok berlubang (BB) dilakukan sebelum pengecoran balok dilakukan. *Strain gauge* ditempelkan terlebih dahulu pada tahu beton yang telah disiapkan sebelumnya, 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.
6. Pengujian pendahuluan terdiri dari pengujian kuat tarik baja berdasarkan SNI 07-2052-2002 dan pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 03-1974-1990.
7. 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. *Set-up* pengujian balok beton dapat dilihat pada Gambar 3. Data yang diperoleh dari pengujian meliputi lendutan selama pembebanan berlangsung, besarnya beban pada saat terjadi retak, besarnya beban maksimum, pola retak, frekuensi alami balok pada kondisi utuh, retak awal, dan *yield*.



a. Tampang memanjang pengujian geser



b. Tampang memanjang pengujian dinamik



c. Tampang melintang

GAMBAR 3. Set-up pengujian balok beton

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 Gambar 4.

Kekakuan

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

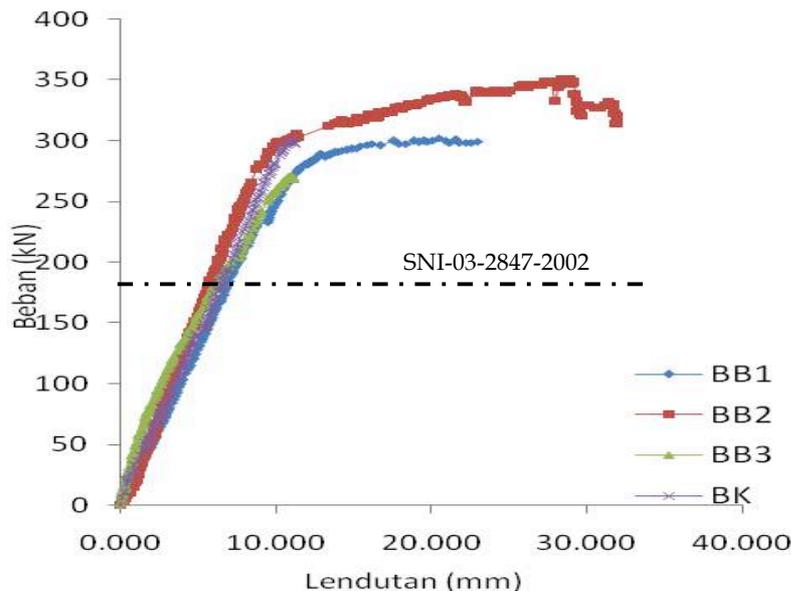
Daktilitas

Besarnya daktilitas dari benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.

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 balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB)

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

TABEL 3. Nilai daktilitas benda uji

Benda uji	Lendutan (mm)		Daktilitas	Persentase (%)
	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

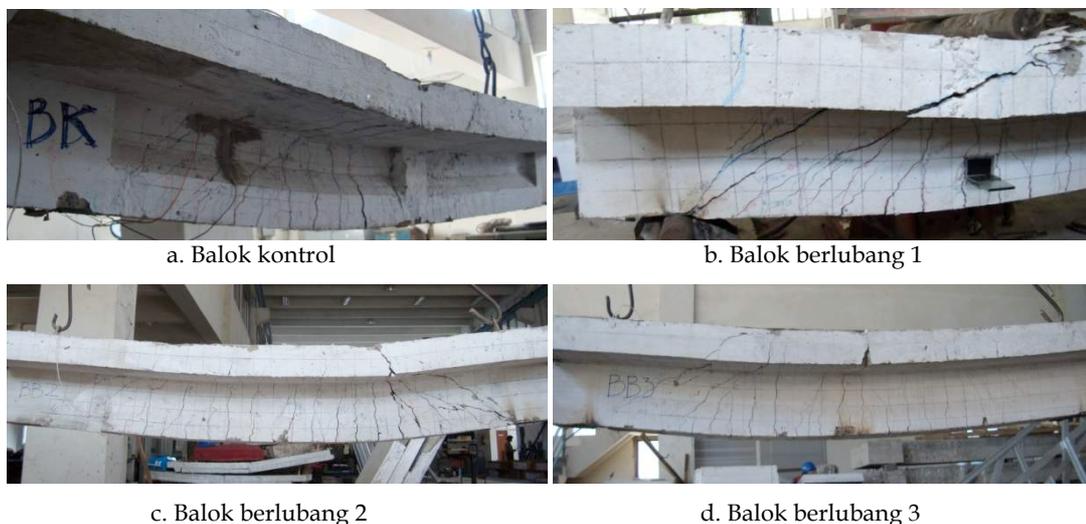
Pola Retak dan Keruntuhan

Pola keruntuhan balok uji dapat dilihat pada Gambar 5. Pola retak balok kontrol (BK) maupun balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3) sama, yaitu diawali dengan retak pada tengah bentang, kemudian dilanjutkan dengan retak geser pada daerah tumpuan. Pada BK retak awal terjadi 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

dilihat pada Tabel.2. Pada BK dan BB3 keruntuhan yang terjadi adalah tarik diagonal. Hal 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.

Frekuensi Alami

Frekuensi alami hasil eksperimen beban dinamik baik balok control (BK) dan balok berlubang (BB3) dapat dilihat pada Tabel 4 serta Gambar 6 dan 7.

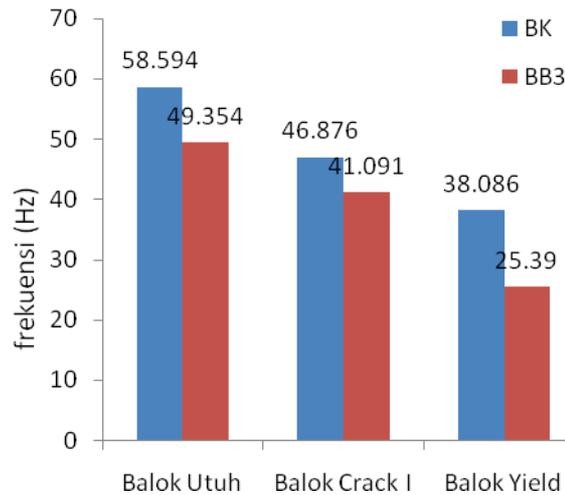


GAMBAR 5. Pola keruntuhan balok uji

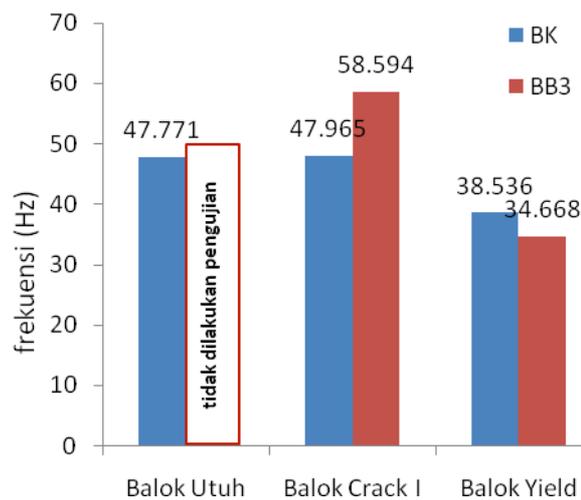
TABEL 4 Frekuensi alami dan amplitudo hasil pengujian

Sendi - rol	Utuh			retak awal			Yield		
	Amp	frek	% frek	Amp	frek	% frek	Amp	frek	% frek
Tumpuan Sendi-Rol									
BK	2,671	58,594	0	2,344	46,876	0	1,111	38,086	0
BB3	3,322	49,354	-15,769	1,433	41,091	-12,341	1,46	25,39	-33,335
Tumpuan Sendi-Sendi									
BK	3,045	47,771	0	0,899	47,965	0	0,628	38,536	0
BB3	-	-	-	3,743	58,594	22,159	2,632	34,668	-10,037

Ket: persentase diambil terhadap BK



GAMBAR 6. Diagram frekuensi balok uji (tumpuan sendi-rol)



GAMBAR 7. Diagram frekuensi balok uji (tumpuan sendi-sendi)

Dari Gambar 6 dan Gambar 7 terlihat bahwa balok uji BK maupun BB3 mengalami penurunan frekuensi alami. Hal ini disebabkan karena terjadinya kerusakan pada balok yang

ditandai dengan bertambahnya retak yang terjadi.

KESIMPULAN

1. Kapasitas geser balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB) tidak berbeda jauh. Selisih antara BK (299,3 kN) dengan BB1 (337,6 kN) sebesar 12,79%, dengan BB2 (350,6 kN) sebesar 17,14% dan dengan BB3 (289,4 kN) sebesar -3,31%.
2. Kapasitas geser balok uji hasil eksperimen mempunyai nilai yang lebih besar dibandingkan 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. Dengan BB2 sebesar -10,29% pada retak awal, 4,89% saat beban leleh dan -55,74% pada ultimit. Dengan 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. Pada BB1 dan BB2 pola retak dan keruntuhan balok uji yang terjadi adalah keruntuhan geser. Hal ini ditandai dengan terbentuknya retak geser yang lebar dimulai dari tumpuan.
6. Pada BK dan BB3 tipe keruntuhan yang terjadi adalah tarik diagonal, ini ditandai dengan terbentuknya retak-retak pada daerah lentur dan geser yang jumlah dan lebarnya hampir sama. BK dan BB3 mendapatkan pembebanan dinamik.
7. Balok kontrol (BK) yang ekuivalen dengan balok berlubang (BB) baik material maupun dimensi tidak menjamin memiliki frekuensi alami yang sama. Untuk balok geser pada kondisi utuh tumpuan sendi-rol, BK 58,594 Hz dan BB3 49,354 Hz, kondisi retak awal BK 46,876 Hz, dan BB3 41,091 Hz, kondisi *yield* BK 38,086 Hz dan BB3 25,39 Hz. Pada kondisi tumpuan sendi-sendai frekuensi alami BK 47,771 Hz, kondisi retak awal BK 47,965 Hz dan BB3 58,594

Hz, kondisi *yield* 38,536 Hz dan BB3 34,668 Hz.

8. Frekuensi alami balok uji mengalami penurunan akibat meningkatnya kerusakan seiring dengan penambahan bebannya.
9. 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 ekuivalen.

DAFTAR PUSTAKA

- Biggs, J.M. (1964). *Structural dynamics*. New York: McCraw-Hill Book company.
- Gilang (2009). *Perilaku geser dan lentur pada balok beton bertulang berlubang lingkaran*. Tugas Akhir, UGM, Yogyakarta
- Park, R., & Paulay T. (1974). *Reinforced concrete structure*. New York: Wiley Interscience Publication.
- Paulay, T. & Priestley, M.I.N. (1992). *Seismic design of reinforced concrete and masonry building*. Canada: John Wiley and Sons Inc.
- 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 03-1747-1989 (1989). *Metode, tata cara dan spesifikasi pembangunan jembatan*. Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 03-2847-2002 (2002). *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung*, Badan Standarisasi Nasional.
- SNI 07-2052-2002 (2002). *Baja tulangan beton*. Badan Standarisasi Nasional.
- Supriyadi, B., et al. (2002). *Pengaruh beban hidup dinamik pada struktur lantai gedung berbentuk panjang*. Laporan

Penelitian Hibah Bersaing IX/2, LPM-UGM. Yogyakarta.

Timoshenko, S. P., dan Gere, J. M. (1987). *Mekanika bahan*. Jakarta: Erlangga.

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

PENULIS:

Wiku A. Krasna✉

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat, Jl. Jend. A. Yani Km 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan.

✉Email: w_krasna@yahoo.co.id

Djoko Sulistyono dan Bambang Supriyadi

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika no. 2, Yogyakarta.