

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

(In-Service and at-Ultimate Condition Flexural Behavior of Hollow Core Reinforced Concrete Beams)

M. YUSUF AMIR, DJOKO SULISTYO, BAMBANG SUPRIYADI

ABSTRACT

I cross-section of reinforced concrete with reduced weight and concrete needs (incomplete sentence), but the reduction in strength is not considerably large. The implementation of I cross-section reinforced concrete beams is quite complicated and time consuming. This research was conducted to evaluate and compare the flexural behavior and the dynamic effects of a elongated hollow square beam that equivalent with a I cross-section beam. The specimens used in 4 (four) pieces of span 3500 mm, namely each one (1) beam control (BK) in the form of T beams with flange face down and 3 (three) beams with holes (BB1, BB2 and BB3) beam T looks like a hole in the geometry and materials together with 300 mm height, width and height of flange of 600 mm and 100 mm to 125 mm wide body BK BB 200 mm in width and height while the bottom flange BK 200 mm and 75 mm. Each specimen was statically loaded until failure, and dynamically loaded up to yielding occurred using a vibrator machine. It was revealed that whilst both BK and BB capacity in terms of flexural strength is not significantly different, *i.e.* 2.03% for BB1, 2.49% for BB2 and BB3, and 3.96% for BK; for the flexural stiffness of the experimental results in a row BB1 -62.88% -63.58% BB2, and BB3 -22.70% to BK whereas the ductility consecutive BB1 4.699; BB2 2.094; BB3 2.225; 2.102 against BK. BK test beam that is equivalent to BB either does not guarantee the material and dimensions have the same natural frequencies for the system of joint-roller beam placement BB has a higher natural frequency with an increase of 14.061% compared to BK and placement system joints BB has a natural frequency higher with an increase of 10.145% compared to BK. For BK and BB crack pattern begins in the mid-span and the maximum load at failure crack pattern of flexural failure.

Keywords: hollow core beam reinforced concrete, I beam, static load, dynamic load

PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan bahan bangunan yang paling banyak digunakan pada saat ini. Dalam upaya meningkatkan efisiensi dalam suatu struktur bangunan, bentuk penampang beton bertulang tidak lagi hanya berbentuk persegi tetapi dengan penampang I guna mengurangi bobot dan kebutuhan beton, namun pengurangan kekuatannya tidak terlalu besar. Beton bertulang dengan penampang I pelaksanaan pembuatannya cukup rumit dan memakan waktu lebih lama. Oleh karena itu dibuat bentuk lain yang pengurangan bobotnya ekuivalen dengan balok beton penampang I, yaitu dengan membuat beton bertulang dengan

penampang persegi berlubang memanjang (*hollow core beam*).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku lendutan, frekuensi dan kekakuan pada keadaan layan, pola retak pada keadaan layan dan saat runtuh, kuat batas lentur dan geser balok persegi serta perilaku daktilitas balok tampang T berlubang memanjang dan balok tampang T dengan flens di bawah. Dari penelitian diharapkan bermanfaat dalam mempermudah pelaksanaan pemasangan dan pengerjaan bekisting dan baja tulangan dalam pembuatan balok beton bertulang.

Mirwan (2008) melakukan pengujian eksperimental tentang kuat lentur balok persegi dan balok I. Penampang balok yang diteliti

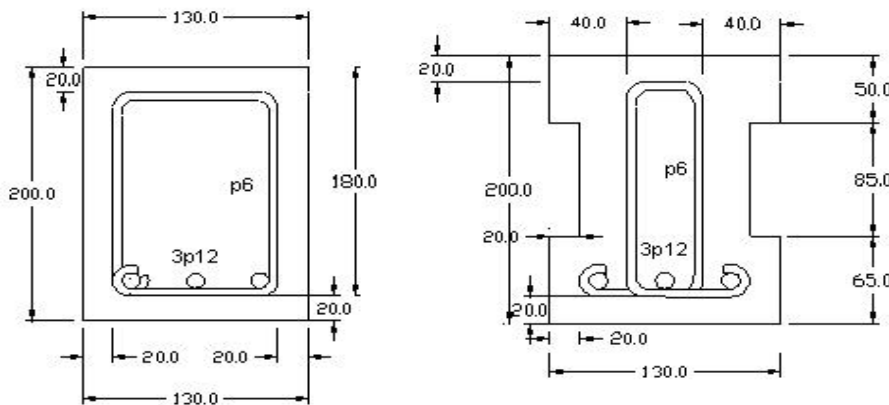
adalah dengan ukuran (130 X 200) panjang 1300 (Gambar 1). Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan balok I pada bagian lentur diharapkan dapat menjadi pertimbangan praktisi di masa mendatang karena dapat mengurangi berat sendiri struktur. Balok I aman dengan pengurangan luasan pada daerah tarik sebesar 2,42 %.

Gilang (2009) melakukan pengujian untuk mengetahui karakteristik kekuatan *hollow core RC beam* terhadap lentur dan geser. Pengujian dilakukan terhadap balok 150/300 bentang 2 m, balok beton persegi solid (BS), dan balok beton berlubang memanjang bentang dengan tiga buah lubang diameter 50,8 mm (BRD). Dari hasil pengujian didapatkan nilai beban ultimit seperti ditunjukkan dalam Tabel 1.

Saleh (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 menunjukkan terjadi peningkatan kerusakan dan penurunan frekuensi dengan bertambahnya beban yang diberikan.

Kuat Lentur Balok Bertulang

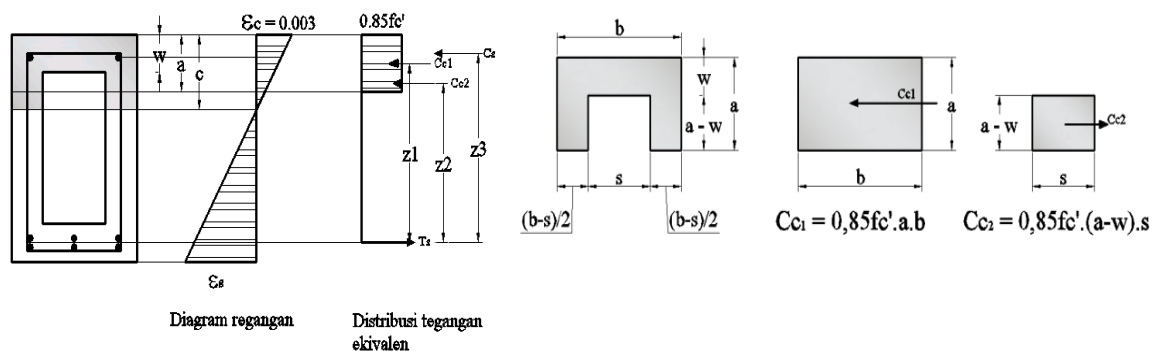
Jika nilai a diasumsikan di bawah sayap atau pada lubang, maka analisa perhitungan $C_c = C_{c1} - C_{c2}$ (Gambar 2) dimana $C_c = T_s$, C_{c1} adalah gaya tekan beton solid pada garis a dan C_{c2} adalah gaya tekan beton solid pada garis $a-w$ (Sapramedi, 2005).



GAMBAR 1. Dimensi tulangan balok persegi dan balok I

TABEL 1. Beban ultimit dan momen lentur benda uji

Kode Benda Uji	Beban Ultimit (kN)	Momen Lentur (kNm)
BS	84	25,2
BRD	88	26,4
% nilai BRD terhadap BS	104,76 %	104,76 %



GAMBAR 2. Distribusi tegangan pada balok persegi berlubang

Analisis perhitungannya sebagai berikut:

1. Menghitung gaya tekan Cc_1 dengan anggapan balok persegi biasa.

$$Cc_1 = 0,85fc'.a.b \dots\dots\dots (1)$$

2. Menghitung gaya tekan Cc_2 sebagai gaya tekan yang tidak terpakai.

$$Cc_2 = 0,85fc'.(a-w).s \dots\dots\dots (2)$$

3. Menghitung momen nominal yang terjadi.

$$Mn = Cc_1.(d-a/2) + Cc_2.\{d-0,5.(a+w)\} \dots\dots\dots (3)$$

dengan:

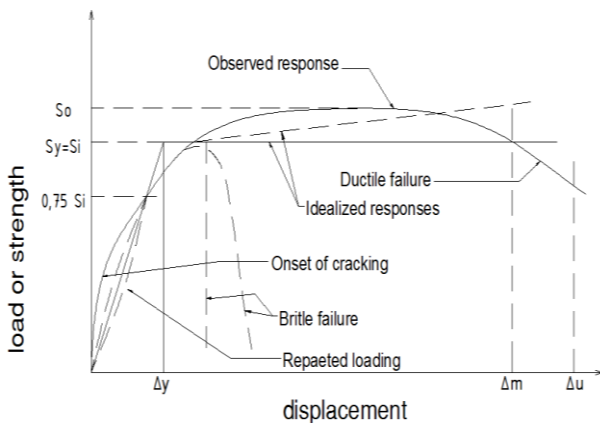
- fc' = kuat tekan beton (MPa),
- a = tinggi blok tekan ekuivalen (mm),
- b = lebar balok (mm),
- w = tebal blok penuh (mm),
- s = lebar lubang (mm)

Daktilitas

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

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \dots\dots\dots (4)$$

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



GAMBAR 3. Hubungan pendekatan beban dan lendutan balok beton bertulang (Paulay dan Priestley, 1992)

Kekakuan Lentur

Menurut Timoshenko (1987), kekakuan didefinisikan sebagai gaya yang dibutuhkan untuk menghasilkan suatu lendutan sebesar satu satuan, ditunjukkan pada Persamaan 5.

$$k = \frac{P_{cr}}{\delta_{cr}} \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

- k = kekakuan lentur (N/mm),
- P_{cr} = beban balok saat retak pertama (N),
- δ_{cr} = lendutan pada balok saat retak pertama (mm)

Frekuensi Alami

Sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas tanpa rangsangan luar, yang dapat dinyatakan dengan Persamaan 6 (Supriyadi, 2002).

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots\dots\dots (6)$$

dengan:

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

Pola-pola/*mode* normal dibedakan berdasarkan perletakan/tumpuan balok, perletakan ini seperti berikut (Biggs, 1964).

- a. Perletakan sederhana

$$\omega_n = \frac{n^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \dots\dots\dots (7)$$

- b. Perletakan jepit-jepit

$$\omega_n = \frac{(n+1/2)^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \dots\dots\dots (8)$$

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

$$\omega_n = \frac{(n+1/4)^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \dots\dots\dots (9)$$

- d. Perletakan salah satu ujungnya jepit dan ujung lainnya bebas

$$\omega_n = \frac{(n-1/2)^2 \pi^2}{l^2} \sqrt{\frac{EI}{m}} \dots \dots \dots (10)$$

dengan:

- ω = frekuensi alami sudut, (rad/s),
- n = pola/mode ke-1,2,3,...dst,
- l = panjang bentang (m),
- E = modulus elastisitas bahan (N/mm²),
- I = momen Inersia (mm⁴),
- m = massa (kg.s²/cm)

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

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

Alat Penelitian

Alat-alat yang dipakai menguji balok uji terdiri dari *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). *Setting up* disajikan pada Gambar 4.

Benda Uji

Benda uji terdiri dari benda uji pendahuluan dan benda uji balok. Benda uji balok terdiri dari 2 jenis, yaitu 1 buah balok I (BK) dan 3 buah balok berlubang (BB).

Pelaksanaan Penelitian

Pembuatan benda uji terdiri dari 4 buah balok dengan ukuran tinggi 300 mm, lebar 200 mm dan panjang 3500 mm (SNI 03-1747-1989 dengan bentang 7 meter berdimensi 40/60, skala 1 : 2). Skala pemodelan yang digunakan adalah 1 : 2. Benda uji terdiri dari satu buah benda balok kontrol (BK) berupa balok I dan tiga benda uji berupa balok persegi berlubang (BB1, BB2, BB3), terlihat pada Tabel 2.

Penulangan benda uji dilakukan dengan memasang tulangan pada sisi bawah dan atas balok. Pemasangan *strain gauge* untuk mengetahui regangan yang terjadi pada baja tulangan dan beton. Pemasangan dilakukan pada balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB). Pengujian pendahuluan terdiri dari pengujian tarik baja 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.

Data pengujian lentur meliputi beban dan lendutan selama pembebanan berlangsung, besarnya beban pada saat terjadi retak pertama dan beban maksimum, pola retak dan frekuensi alami.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Pendahuluan

Hasil pengujian 3 silinder beton diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 33,786 MPa. Kuat tarik baja tulangan D13 dan P6 sebesar 428,532 MPa dan 340,179 MPa.

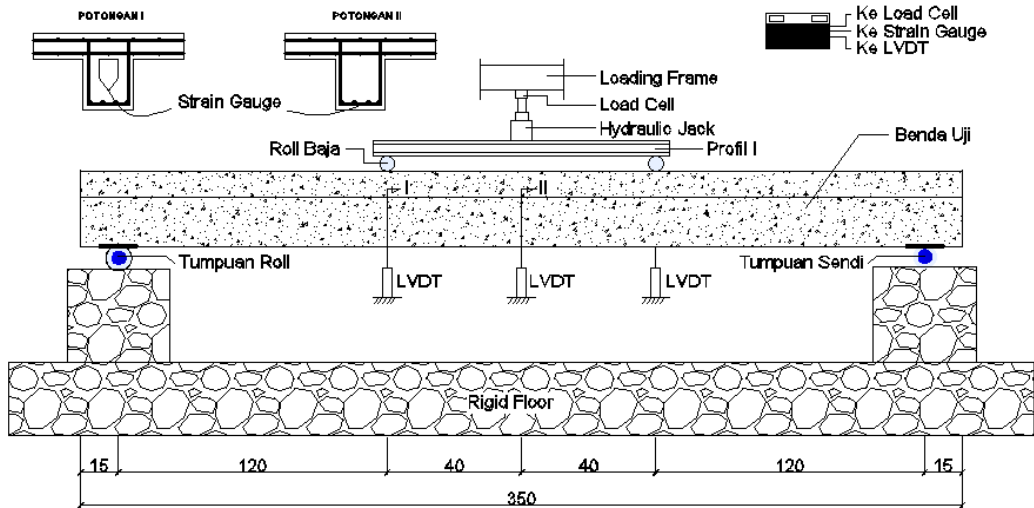
TABEL 2. Spesifikasi benda uji

Kode	Jumlah	Panjang (mm)	Lflens (mm)	L web (mm)		Tinggi (mm)		Tulangan Utama		Tulangan Sengkan
				tengah	bawah	Balok	Lubang	Atas	Bawah	
Balok Lentur										
BK	1	3500	600	125	200	300	125	10D6	4D13	P6-50
BB	3	3500	600	125	200	300	125	10D6	4D13	P6-50

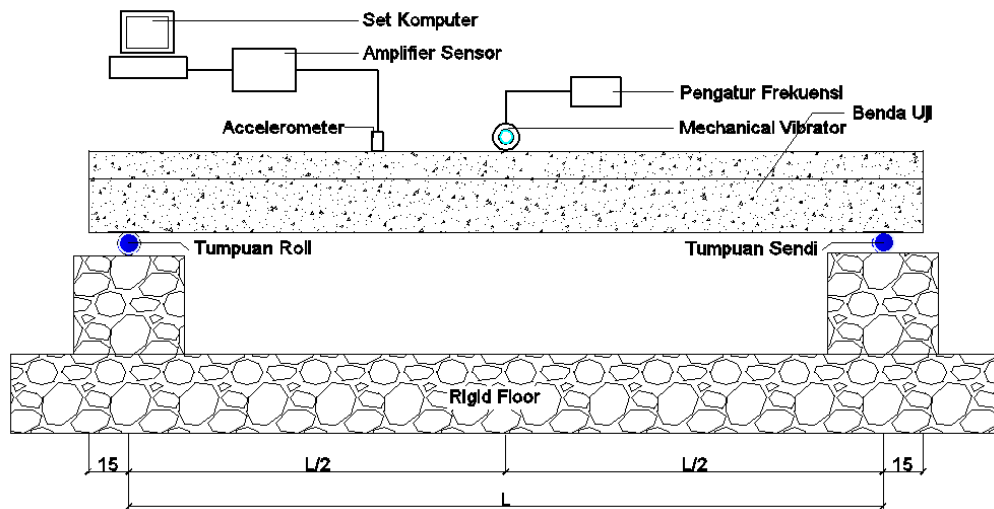
Keterangan :

BK : Balok tampang T dengan flens di bawah

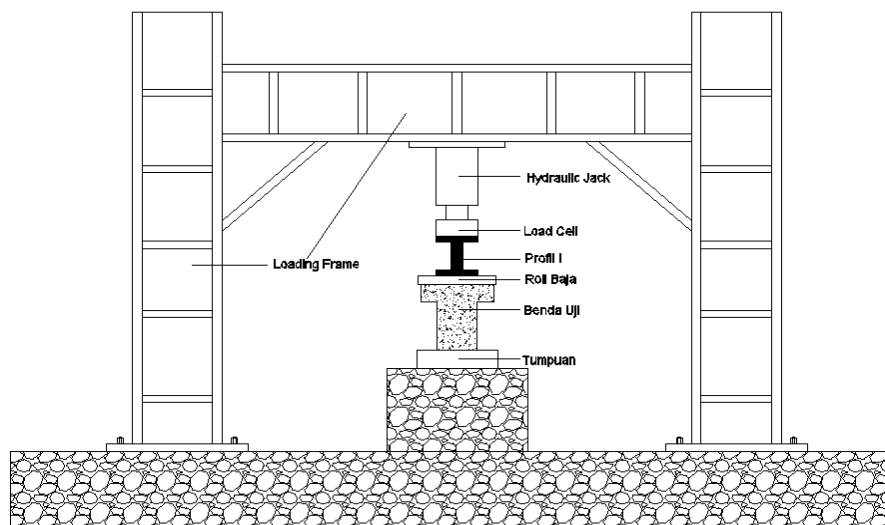
BB : Balok tampang T berlubang memanjang



a. Tampang memanjang pengujian statik



b. Tampang memanjang pengujian dinamik



c. Tampang melintang

GAMBAR 4. Set-up pengujian balok beton

Penguujian Lentur Eksperimen

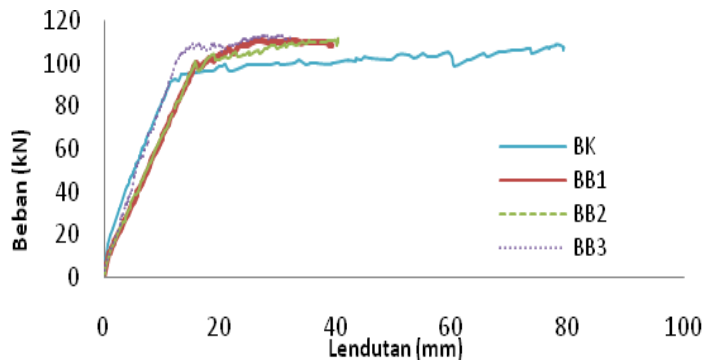
Penguujian lentur berupa beban, lendutan dan lebar retak ditunjukkan dalam Tabel 3 dan Gambar 5.

Kekakuan Benda Uji

Initial stiffness adalah kekakuan yang didapatkan dari awal pembebanan hingga retak awal dan bagian kedua didapatkan dari retak awal hingga kondisi leleh. Nilai *initial stiffness* pada kondisi leleh dapat dilihat pada Tabel 4 dan untuk kekakuan kedua pada Tabel 5.

TABEL 3. Hasil penguujian balok uji lentur

No	Benda Uji	Kapasitas Beban (kN)		Lendutan yang terjadi (mm)		Lebar Retak (mm)	% kekuatan (P_{max}) terhadap BK
		Retak 1	Maks	Retak 1	Maks	Retak 1	
1	BB1	16,9	110,8	1,793	31,400	0,03	2,03
2	BB2	15,9	111,3	1,720	40,307	0,04	2,49
3	BB3	15,6	112,9	0,795	30,480	0,02	3,96
4	BK	16,5	108,6	0,650	77,797	0,08	0,00



GAMBAR 5. Hubungan beban dan lendutan benda uji lentur hasil eksperimen

TABEL 4. Nilai kekakuan lentur balok (*initial stiffness*)

Benda Uji	P crack (N)	Lendutan (mm)	Kekakuan (N/mm)	Persen Peningkatan Kekakuan* (%)	Keterangan
BB1	16900	1,793	9423,792	-62,88	Menurun
BB2	15900	1,72	9244,186	-63,58	Menurun
BB3	15600	0,795	19622,642	-22,7	Menurun
BK	16500	0,65	25384,615	0	-

TABEL 5. Nilai kekakuan lentur balok pada kondisi leleh

Benda Uji	P leleh (N)	Lendutan (mm)	Kekakuan (N/mm)	Persen peningkatan kekakuan* (%)	Keterangan
BB1	98200	15,487	6340,94	-11,308	Menurun
BB2	98800	15,47	6386,55	-10,67	Menurun
BB3	102500	12,823	7993,24	11,803	Meningkat
BK	98900	13,833	7149,4	0	-

Keterangan : *Persentasi peningkatan kekakuan dihitung terhadap balok control

Daktilitas Benda Uji

Menurut Park dan Paulay (1974), daktilitas adalah perbandingan antara lendutan pada saat beban ultimit dan beban saat leleh. Lendutan ultimit adalah lendutan yang dicapai pada saat beban mencapai 0,8 dari beban maksimal pada bagian penurunan kurva hubungan beban-lendutan. Dalam hal ini lendutan ultimit adalah lendutan pada saat beban ultimit sesuai dengan Gambar 4 dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 6.

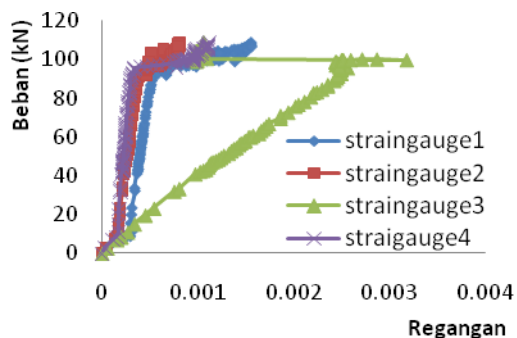
Hubungan Beban dan Regangan

Strain gauge dipasang pada bagian tengah bentang dan 250 mm dari tengah bentang. Tulangan tarik masing-masing dua buah, 50 mm dari bawah balok masing-masing satu dan 27 mm dari atas balok masing-masing satu.

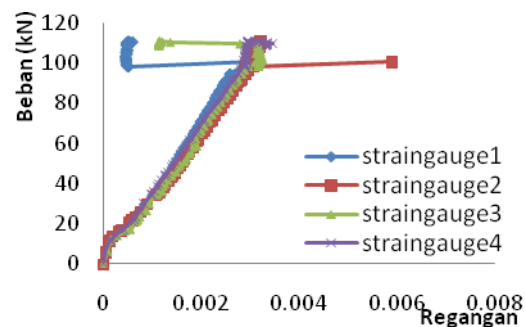
Hubungan antara beban dan regangan tulangan baja dapat dilihat pada Gambar 6, sedangkan hubungan antara beban dan regangan beton dapat dilihat pada Gambar 7.

TABEL 6. Nilai daktilitas balok uji

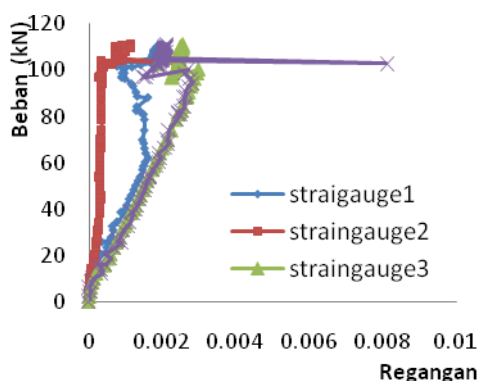
Benda Uji	δy (mm)	δu (mm)	Daktilitas $u = \delta u / \delta y$	Penurunan terhadap BK (%)	Keterangan
BB1	15,487	32,433	2,094	-50,106	Menurun
BB2	15,470	34,843	2,252	-46,398	Menurun
BB3	12,823	26,949	2,102	-58,543	Menurun
BK	13,833	65,004	4,699	0	-



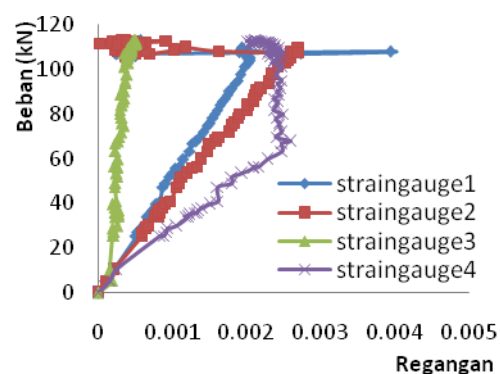
a. Regangan Tulangan Tarik Balok Kontrol (BK)



b. Regangan Tulangan Tarik Balok Berlubang 1 (BB1)

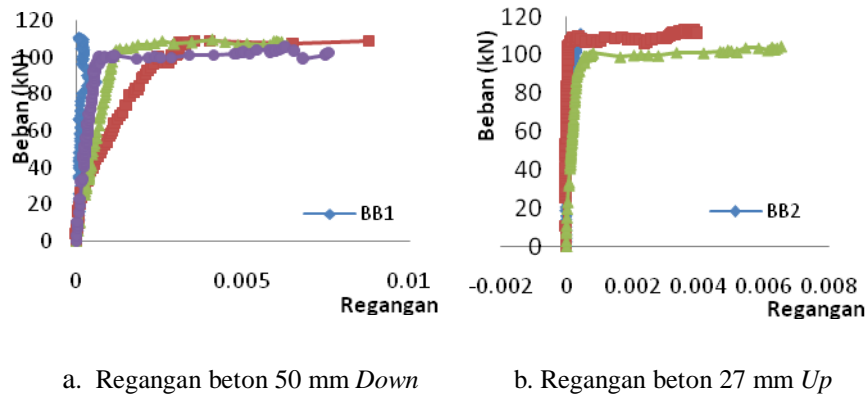


c. Regangan Tulangan Tarik Balok Berlubang 2 (BB2)



d. Regangan Tulangan Tarik Balok Berlubang 3 (BB3)

GAMBAR 6. Hubungan beban dan regangan baja (BK) dan balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3)



GAMBAR 7. Hubungan beban dan regangan beton (BK) dan balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3)

Pada Gambar 6 terlihat bahwa regangan balok kontrol (BK) maksimum 0,00318 dan balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3) regangan maksimum 0,00592; 0,00810; 0,00394.

Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa regangan yang terjadi pada balok kontrol (BK) maksimum terjadi regangan sebesar 0,00759 dan balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3) masing-masing regangan (0,00242; 0,00878; dan 0,00630) 50 mm dari bawah benda uji dan regangan yang terjadi pada balok kontrol (BK) maksimum terjadi regangan sebesar 0,00653 dan balok berlubang (BB2 dan BB3) masing-masing regangan (0,00042 dan 0,00397) 27 mm dari atas benda uji.

Frekuensi Alami

1. Frekuensi alami tumpuan sendi-rol

Frekuensi alami hasil eksperimen beban dinamik, baik balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB3) dapat dilihat pada Tabel 7 dan Gambar 8.

2. Frekuensi alami tumpuan sendi-sendi

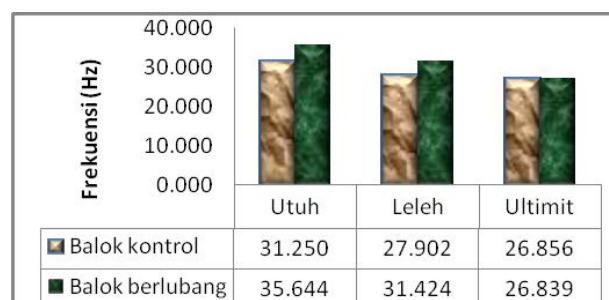
Frekuensi alami hasil eksperimen beban dinamik baik balok kontrol (BK) dan balok berlubang (BB3) dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 9.

3. Perbandingan frekuensi alami hasil eksperimen dan teoritis

Hasil perhitungan secara teoritis dibandingkan dengan frekuensi alami balok berlubang (BB3) secara eksperimen dapat dilihat pada Tabel 9 dan Gambar 10.

TABEL 7. Frekuensi alami tumpuan sendi-rol hasil eksperimen beban dinamik

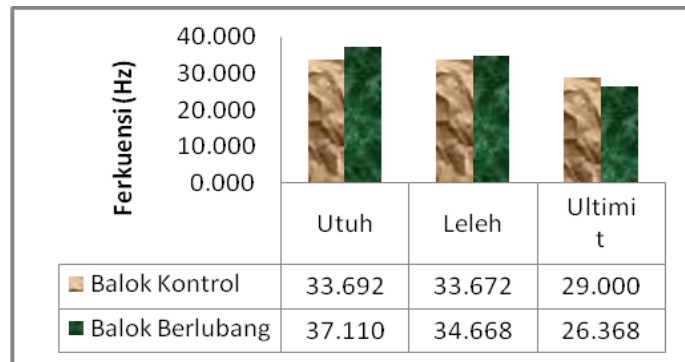
Jenis	Frekuensi alami (Hz)			Peningkatan (%)
	Balok utuh	Balok crack	Balok yield	
Balok Kontrol (BK)	31,250	27,902	26,856	0
Balok Berlubang (BB)	35,644	31,424	26,839	14.061



GAMBAR 8. Frekuensi alami tumpuan sendi-rol hasil eksperimen beban dinamik

TABEL 8. Frekuensi alami tumpuan sendi-sendi hasil eksperimen beban dinamik

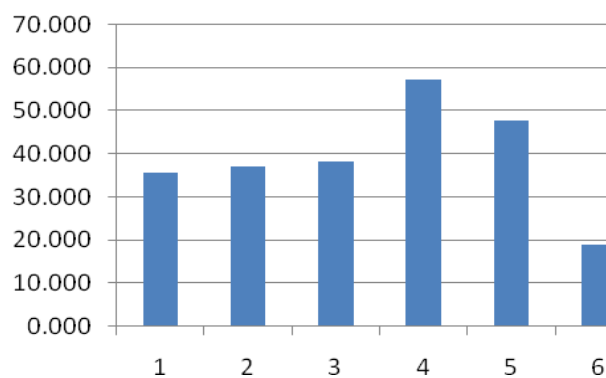
Jenis	Frekuensi (Hz)			Peningkatan (%)
	Balok Utuh	Balok Crack	Balok Yield	
Balok Kontrol (BK)	33,692	33,672	29,000	0
Balok Berlubang (BB)	37,110	34,668	26,368	10,145



GAMBAR 9. Frekuensi alami tumpuan sendi-sendi hasil eksperimen beban dinamik

TABEL 9. Frekuensi alami hasil eksperimen dan teoritis

Mode	Frekuensi (Hz)
Sendi-rol (eksperimen)	35,644
Sendi-sendi (eksperimen)	37,110
Tumpuan sederhana (teoritis)	38,180
Jepit-jepit (teoritis)	57,269
Ujung jepit dan lainnya sederhana (teoritis)	47,725
Ujung jepit dan lainnya bebas (teoritis)	19,090



- Keterangan :
1. Sendi-rol (eksperimen);
 2. Sendi-sendi (eksperimen);
 3. Tumpuan sendi-rol (teoritis);
 4. Jepit dan lainnya rol (teoritis);
 5. Jepit-jepit (teoritis);
 6. Jepit dan lainnya bebas (teoritis)

GAMBAR 10. Frekuensi alami hasil eksperimen dan teoritis

Pola Retak dan Keruntuhan

Pada pengujian balok berlubang (BB1, BB2, BB3) pola retak dari retak awal sampai retak pada keadaan runtuh dan beban maksimum relatif sama. Pada pengujian balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3) diperoleh masing-masing retak awal terjadi pada beban 16,9 kN; 15,9 kN; 15,6 kN dengan lendutan sebesar 0,793 mm; 1,72 mm; 0,795 mm dan lebar retak berturut-turut 0,03 mm; 0,004 mm; 0,02 mm dimulai di daerah tengah bentang. Balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3) mencapai beban maksimum masing-masing sebesar 110,8 kN dengan lendutan (31,4 mm; 40,307 mm; 30,48 mm dan lebar retak berturut-turut 2,5 mm; 3,2 mm; 4,1 mm. Balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3) runtuh dalam keadaan lentur ditandai dengan dominannya retak-retak arah vertikal. Pada kondisi beban maksimum ini, balok kontrol mengalami keruntuhan yang bersifat daktail yang ditandai dengan lelehnya tulangan tarik sesuai kondisi balok berlubang (BB1, BB2 dan BB3) yang *underreinforced*.

KESIMPULAN

1. Beban lentur maksimum hasil eksperimen untuk benda uji BK, BB1, BB2 dan BB3 secara berturut-turut adalah 108,6 kN; 110,8 kN; 111,3 kN dan 112,9 kN. Kenaikan kapasitas lentur balok BB1, BB2, dan BB3 secara berurutan terhadap BK adalah 2,03%; 2,49% dan 3,96%.
2. Kekakuan lentur hasil eksperimen untuk benda uji BK, BB1, BB2 dan BB3 berturut-turut sebesar 25384,615 N/mm; 9423,792 N/mm; 9244,186 N/mm dan 19622,642 N/mm. Penurunan kekakuan lentur balok berturut-turut -62,88 %; -63,58 %, dan -22,70 %. Kekakuan setelah retak awal hingga kondisi leleh pada benda uji BK, BB1, BB2 dan BB3 secara berturut-turut sebesar 7149,4 N/mm; 6340,94 N/mm; 6386,55 N/mm dan 7993,24 N/mm.
3. Daktilitas benda uji hasil eksperimen untuk BK, BB1, BB2 dan BB3 secara berturut-turut 4,699; 2,094; 2,225; 2,102 dimana daktilitas pada balok BB1, BB2 dan BB3 secara berturut-turut mengalami penurunan sebesar -50,106 %; -46,398 % dan -58,543 % terhadap BK.

4. Frekuensi alami untuk sistem perletakan sendi-rol balok berlubang (BB3) memiliki frekuensi alami yang lebih tinggi dengan peningkatan sebesar 14,061 % dibandingkan balok kontrol (BK).
5. Frekuensi alami untuk sistem perletakan sendi-sendi balok berlubang (BB3) memiliki frekuensi alami yang lebih tinggi dengan peningkatan sebesar 10,145 % dibandingkan balok kontrol (BK).
6. Hasil eksperimen keseluruhan baik sistem perletakan sendi-rol maupun sendi-sendi berada diantara sistem perletakan sederhana yaitu ujung-ujungnya memiliki nilai momen 0 dengan ujung jepitnya dan lainnya bebas secara teoritis.
7. Pola retak yang terjadi untuk balok lentur baik balok kontrol (BK) maupun balok berlubang (BB) dimulai di daerah tengah bentang dan pada beban mengalami kegagalan lentur.

DAFTAR PUSTAKA

- Biggs, J.M. (1964). *Structural Dynamics*, USA : McCraw-Hill Book Company.
- Gilang (2009). *Perilaku Geser dan Lentur Pada Balok Beton Bertulang Berlubang Lingkaran*. Tugas Akhir, UGM, Yogyakarta
- Mirwan (2008). *Perbandingan Kuat Lentur Balok Berpenampang Persegi dengan Balok Berpenampang*, Tugas Akhir, UII, Jogjakarta.
- Park, R. and Paulay T. (1974). *Reinforced Concrete Structure*. New York: Wiley Interscience Publication.
- Park, R. and Paulay, T. (1990). *Bridge Design and Research Seminar Vol. I. Strength and Ductility of Concrete Sub Structure of bridge*, New Zealand
- Paulay, T. and 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 07-2052 (2002). *Baja Tulangan Beton*.

SNI 03-2847 (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, Bandung.

SNI 03-1747 (1989). *Metode, Tata Cara dan Spesifikasi Pembangunan Jembatan*, Bandung.

Supriyadi, B. (2002), *Pengaruh Beban Hidup Dinamik Pada Struktur Lantai Gedung Berbentang Panjang*, Laporan penelitian Hibah Bersaing IX/2, LP-UGM. Yogyakarta

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

PENULIS:

M. Yusuf Amir✉

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Jl Hangtuah, Kampus Universitas Muhammadiyah Palu, Sulawesi Tengah.

✉Email: y454f_4545@yahoo.com

Djoko Sulistyono, Bambang Supriyadi

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