

## BALOK BETON BERTULANGAN EKSTERNAL

Suhad Susanto)<sup>1</sup>, Andang Widjaja)<sup>2</sup>

)<sup>1</sup> mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: suhad.susanto7@gmail.com

)<sup>2</sup> tenaga akademik Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya  
e-mail: andwidj@gmail.com

### Abstrak

Tujuan penelitian untuk mengetahui kapasitas dukung balok beton dengan pemasangan tulangan *lips channel* di luar dengan penambahan mur dan baut. Penelitian ini menggunakan 5 benda uji sebagai sampelnya, yaitu B-Ø16-170= balok dengan tulangan besi polos Ø16 dan sengkang praktis jarak 170 mm, B-LC-875= dengan tulangan *lips channel*, sengkang praktis jarak 875 mm dan tanpa baut, B-LC-170= dengan tulangan *lips channel*, sengkang praktis jarak 170 mm dan tanpa baut, B-LC-170+BL= dengan tulangan *lips channel*, sengkang praktis jarak 170 mm dan baut lurus sejajar jarak 80 mm dan B-LC-170+BZ= dengan tulangan *lips channel*, sengkang praktis jarak 170 mm dan baut zig-zag jarak 80 mm. Pengujian balok bertulangan eksternal dilakukan di laboratorium dengan memberi beban terpusat di tengah balok, kemudian diamati perilaku balok saat menerima beban. Hasil pengujian akan didapatkan nilai  $P$  (beban),  $\Delta$  (lendutan), grafik hubungan waktu-beban, hubungan tegangan-regangan, hubungan beban-lendutan dan hubungan lendutan-tegangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok bertulangan eksternal B-LC-170, B-LC-170+BL dan B-LC-170+BZ memiliki nilai kuat geser ( $V_u$ ) yang lebih besar dari balok B-Ø16-170. Kuat geser aktual ( $V_u$ ) pada balok B-LC-170 meningkat sebesar 17,45% terhadap balok B-Ø16-170, balok B-LC-170+BL meningkat sebesar 16,94% terhadap balok B-Ø16-170 dan balok B-LC-170+BZ meningkat sebesar 22,22% terhadap balok B-Ø16-170. Balok B-LC-875 mengalami penurunan dikarenakan balok mengalami *slip* pada beban 26kN. Balok B-LC-170+BZ memiliki nilai  $V_u$  yang lebih besar dari pada balok bertulangan eksternal yang lainnya, dengan demikian pemasangan baut zig-zag lebih optimal menahan beban dari pada baut lurus sejajar.

**Kata kunci:** *lips channel*, *slip*, baut, mur

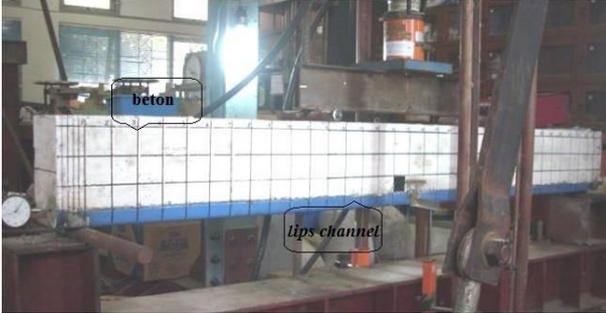
### Abstract

The purpose of the study to determine the carrying capacity of the beam with the installation of reinforcement *lips channel* in concrete beams with the addition of nuts and bolts. This study uses 5 specimens as the sample, namely B-Ø16-170= beams with Ø16 reinforcement plain iron and cross bar practically spacing of 170 mm, B-LC-875 = with reinforcement *lips channel*, cross bar practical a distance of 875 mm and without bolts, B-LC-170 = with reinforcement *lips channel*, cross bar practical a distance of 170 mm and without bolts, B-LC-170+BL= with reinforcement *lips channel*, cross bar practical a distance of 170 mm and bolt straight distance 80 mm and B-LC-170+BZ= with reinforcement *lips channel*, cross bar practical a distance of 170 mm and bolt zigzagged distance 80 mm. Testing of reinforced concrete beam external were performed in the laboratory by providing concentrated load in the center of the beam, then the specimen be learned the behavior of beam while receiving the load. The test results will be obtained value  $P$  (load),  $\Delta$  (deflection), relation chart the load-time, the stress-strain relation, the load-deflection relation and deflection-voltage relation. The results showed that reinforced concrete beam external B-LC-170, B-LC-170+BL and B-LC-170+BZ has a shear strength ( $V_u$ ) value greater than beam B-Ø16-170. Actual shear strength ( $V_u$ ) on beam B-LC-170 increased by 17.45% of the beam B-Ø16-170, beam B-LC-170+BL increased by 16.94% of the beam B-Ø16-170 and beam B-LC-170+BZ increased by 22.22% of the beam B-Ø16-170. Beam B-LC-875 experienced a decline due the beam experienced to slip on load 26kN. Beams B-LC-170+BZ has a shear strength ( $V_u$ ) value greater than beam reinforced concrete beam external other, thus mounting bolt zigzagged more optimally support weight of than the bolt straight parallel.

**Keywords:** *lips channel*, *slip*, bolt, shear strength

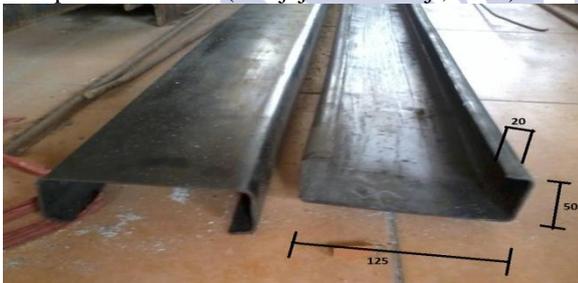
**PENDAHULUAN**

Beton bertulang adalah suatu kombinasi antara beton dan baja tulangan yang berfungsi sebagai perkuatan pada serat/bagian tarik yang tidak dimiliki oleh beton. Salah satu elemen struktur pada bangunan adalah balok beton (McComac, 2003). Balok beton sebagai elemen struktur dirancang untuk menahan beban yang tegak lurus sumbuinya (Vis dan Gideon, 1997).



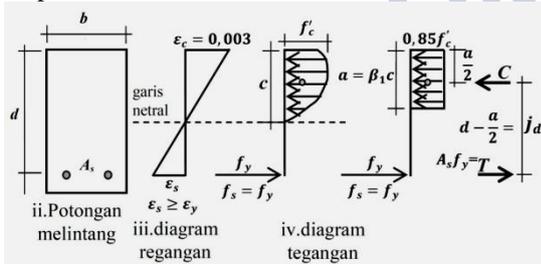
Gambar 1. Balok beton bertulangan tunggal *lips channel* (Widjaja dan Nuroji, 2009)

Balok bertulangan eksternal adalah salah satu balok yang sedang dikembangkan pada saat ini. Balok beton yang dimaksud adalah balok beton dengan perkuatan baja *lips channel* di sisi terluar (eksternal) bagian bawah, tanpa penulangan di sisi dalam seperti Gambar 1. Baja *lips channel* yang memiliki bidang permukaan datar dan bibir (*lips*) yang akan terjepit ke dalam massa beton dapat dilihat pada Gambar 2 (Widjaja dan Nuroji, 2009).



Gambar 2. *Lips Channel* 125 x 50 x 20 x 2,3

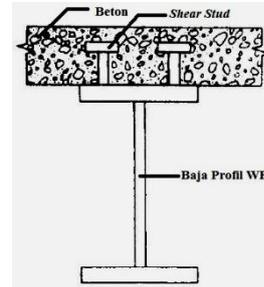
Regangan baja *lips channel* sebagai pelindung beton lebih tinggi daripada regangan beton, sehingga retak awal tertunda (Anggono dan Setiawan, 2012:4), hal ini bisa dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram balok beton bertulangan tunggal (Park dan Pauley, 1975:62)

Perkuatan baja tulangan yang diletakkan di sisi teratas dan terbawah, berdampak jarak titik berat baja tulangan dengan perimeter atas ( $j_d$ ) relatif lebih besar daripada baja tulangan di sisi dalam. Nilai  $j_d$  yang lebih besar menghasilkan momen nominal yang lebih besar (Widjaja

dan Nuroji, 2009:). Berdasarkan hasil perbandingan tersebut maka daya dukung balok beton *lips channel* lebih besar daripada balok beton bertulang di dalam, tetapi hal itu tidak dapat terjadi, karena menurut penelitian-penelitian sebelumnya beton bertulangan eksternal masih mengalami *slip*. Setiawan (2008:281) mengusulkan bahwa pengurangan *slip* dapat dilakukan dengan memberikan *shear stud*, seperti Gambar 4.



Gambar 4. Lantai jembatan komposit dengan penghubung geser/*shear stud* (Setiawan, 2008:281)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dukung balok dengan pemasangan tulangan *lips channel* pada balok beton dengan penambahan mur dan baut. Penelitian menggunakan mur dan baut  $\varnothing 7$  mm dengan panjang 150 mm, seperti Gambar 5.



Gambar 5. Mur dan baut  $\varnothing 7$  mm dengan panjang 150 mm

**Shear connector/penghubung geser**

*Shear connector* digunakan untuk menahan gaya geser horizontal memanjang yang terjadi pada bidang pertemuan pelat beton dengan balok baja. *Shear connector* disyaratkan dalam Standard Nasional Indonesia (SNI) 03-1729-2002 pasal 12.6.1 dengan panjang dalam kondisi terpasang tidak kurang dari 4 kali diameternya.

$$\text{syarat ukuran stud SNI} = \frac{H_s}{d_s} \geq 4 \tag{1}$$

Jarak antara *shear connector* berdasarkan American Institute of Steel Construction (AISC):

$$\text{memanjang } 6*d_s \leq s \leq 36 \text{ in} \tag{2}$$

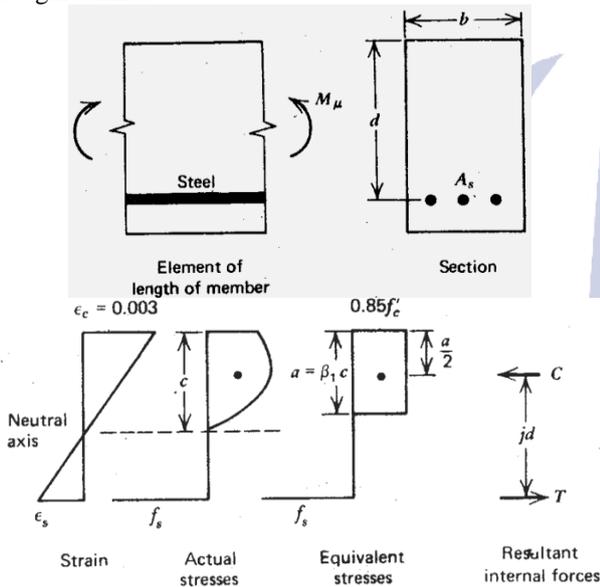
Keterangan:

- $H_s$  = Tinggi stud (mm)
- $d_s$  = Diameter stud (mm)
- $s$  = Jarak stud (mm)

**Lentur pada balok**

Lentur pada balok diakibatkan oleh regangan yang timbul karena adanya beban luar. Apabila beban bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan timbulnya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila beban semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur.

Kekuatan lentur  $M_n$  menggunakan tegangan persegi ekivalen dapat diperoleh dengan menggunakan Gambar 7 sebagai berikut.



Gambar 6. Diagram balok beton bertulangan tunggal (Park dan Paulay, 1975:62)

$$C = 0,85 \cdot f'_c \cdot ab \tag{3}$$

$$T = A_s f_y \tag{4}$$

Keterangan :

- $C$  = gaya tekan beton
  - $T$  = gaya tarik baja tulangan
  - $f'_c$  = kuat tekan beton
  - $a$  = tinggi blok persegi ekivalen tegangan
  - $b$  = lebar balok
  - $d$  = Tinggi efektif
  - $f_y$  = tegangan leleh baja
  - $A_s$  = luas tulangan tarik
- di mana pemakaian dari  $f_y$ , memisalkan bahwa tulangan meleleh sebelum kehancuran beton. Penyusutan  $C = T$  menghasilkan

$$C = T$$

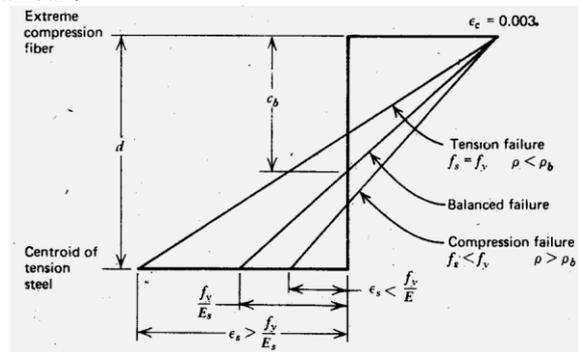
$$(0,85 \cdot f'_c \cdot ab) = A_s f_y$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \tag{5}$$

$$M_n = T \cdot jd$$

$$= A_s \cdot f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \tag{6}$$

Regangan beton dengan menetapkan 0,003 dalam kondisi *ultimate*, ada tiga kemungkinan regangan yang terjadi pada daerah tulangan seperti yang ditunjukkan Gambar 9



Gambar 7. Kondisi regangan pada penampang yang mengalami lentur (Park dan Paulay, 1975:66)

Gambar 7 di atas menyebutkan bahwa:

- a. Keruntuhan tarik (*tension failure*)  
Baja tulangan tarik pada kondisi sudah leleh ( $f_s \geq f_y$ ) sedangkan beton tekan belum hancur (Budirianto, 2013:26).
- b. Keruntuhan seimbang (*balanced failure*)  
Baja tulangan tarik pada kondisi mencapai tegangan leleh ( $f_s = f_y$ ) bersamaan dengan beton tekan hancur ( $\epsilon'_c = 0,003$ ) (Budirianto, 2013:26).
- c. Keruntuhan tekan (*compression failure*)  
Baja tulangan tarik pada kondisi belum leleh ( $f_s < f_y$ ) sedangkan beton tekan sudah hancur ( $\epsilon'_c = 0,003$ ) (Budirianto, 2013:26).

Pada penampang yang mengalami lentur, keruntuhan yang terjadi harus berupa keruntuhan tarik yaitu terjadi leleh pada tulangan tarik sebelum terjadi kehancuran beton yang tertekan. Desain penampang harus memenuhi persyaratan, supaya penampang mengalami keruntuhan tarik:

$$\rho_{min} \leq \rho \leq \rho_{max} \tag{7}$$

Dimana:

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} \tag{8}$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} \tag{9}$$

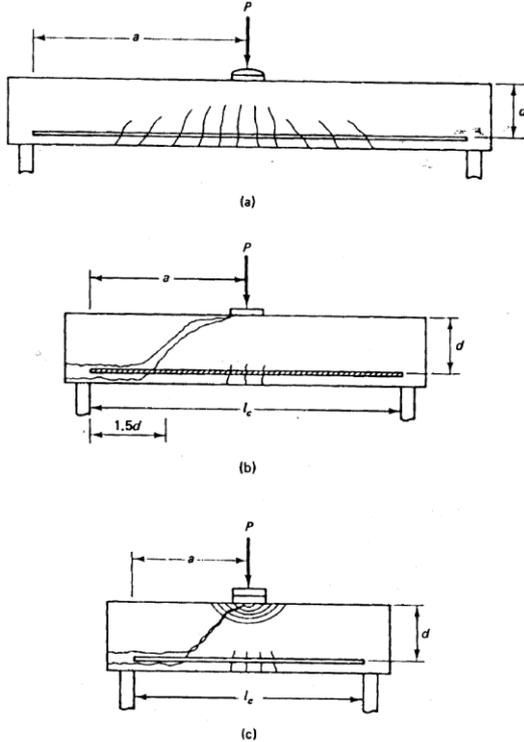
$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot \beta_1 \cdot f'_c}{f_y} \cdot \left( \frac{600}{600 + f_y} \right) \tag{10}$$

$$\rho_{max} = 0,75 \cdot \rho_b \tag{11}$$

### Geser pada balok

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh karena geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok tersebut langsung hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu. Retak diagonal dari geser jauh lebih lebar dibandingkan dengan retak lentur. Karena perilaku kegagalan getas (*brittle*) ini, perencana harus merancang penampang yang cukup kuat untuk memikul beban geser luar rencana tanpa mencapai kapasitas gesernya (Nawy, 1990:147).

Kelangsingan balok, yaitu perbandingan antara bentang bersih dengan tinggi balok menentukan ragam keruntuhan balok. Gambar 8 memperlihatkan pola keruntuhan secara skematis. Bentang geser  $a$  untuk beban terpusat adalah jarak antara titik tangkap beban tersebut dengan muka perletakan. Pada dasarnya dapat terjadi tiga ragam keruntuhan atau kombinasinya, yaitu (1) keruntuhan lentur, (2) keruntuhan tarik diagonal, dan (3) keruntuhan tekan akibat geser. Semakin langsing balok tersebut, kecenderungan ragam keruntuhan adalah lentur, seperti yang terlihat pada pembahasan di bawah ini (Nawy, 1990:152-155):



Gambar 8. Ragam keruntuhan sebagai fungsi dari kelangsingan balok: (a) keruntuhan lentur; (b) keruntuhan tarik diagonal; (c) keruntuhan geser tarik (Nawy, 1990:154)

Tabel 1 di bawah ini memberikan ringkasan mengenai pengaruh angka kelangsingan balok dengan ragam keruntuhannya:

Tabel 1. Pengaruh kelangsingan balok terhadap ragam keruntuhan

Kategori balok	Ragam keruntuhan	Perbandingan bentang geser dengan tinggi sebagai ukuran dari kelangsingan <sup>a</sup>	
		Beban terpusat, $a/d$	Beban terdistribusi, $l_c/d$
Langsing	Lentur (F)	$> 5,5$	$> 16$
Sedang	Tarik diagonal (DT)	2,5–5,5	11–16 <sup>b</sup>
Tinggi	Tekan geser (SC)	1–2,5	1–5 <sup>b</sup>

Sumber: Nawy (1990:155)

Perencanaan penampang terhadap geser di dalam SNI 03-2847-2002 Pasal 13.1.1:

$$\phi V_n \geq V_u \quad (12)$$

Peraturan mengharuskan untuk selalu menyediakan penulangan geser minimal pada semua bagian struktur beton yang mengalami lenturan (meskipun menurut perhitungan tidak memerlukan).  $V_u$  adalah gaya geser terfaktor pada penampang yang ditinjau ( $V_u = \phi \cdot V_n$ ) dan  $\phi V_n$  adalah kekuatan geser yang tersedia, yang dihitung dari:

$$V_n = V_c + V_s \quad (13)$$

Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton ( $V_c$ ) dan kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser ( $V_s$ ).

$$V_c = \left( \frac{\sqrt{f'_c}}{6} \right) \cdot b \cdot d \quad (14)$$

Bila gaya geser terfaktor  $V_u \geq \phi V_n$ , maka harus disediakan tulangan geser dengan gaya yang harus ditahan oleh sengkang sebesar:

$$V_s = V_n - V_c \quad (15)$$

$$V_s = \frac{V_u}{\phi} - V_c \quad (16)$$

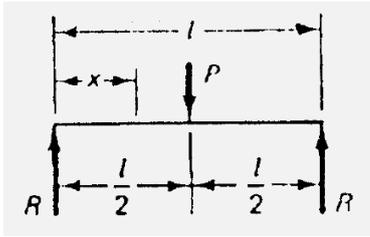
Bila digunakan tulangan geser yang tegak lurus terhadap sumbu aksial komponen struktur, maka:

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (17)$$

$A_v$  adalah luas tulangan yang berada dalam rentang jarak  $s$ .

### Lendutan pada balok

Lendutan dan retakan merupakan suatu faktor penentu *serviceability* (kemampuan layan) suatu struktur. Evaluasi lendutan dan perilaku retak pada balok merupakan retak belakang yang mendasar dalam hal pengaruh retak terhadap batang dan refleksi sesaat serta jangka panjang.



Gambar 9. Lenturan balok pada tengah bentang (Nawy, 1990:270)

Menurut Edward G. Nawy (1990:270), lenturan maksimum ( $\Delta_{maks}$ ) yang terjadi pada balok seperti pada Gambar 10 dapat dihitung dengan:

$$\Delta_{maks} = \frac{P \cdot l^3}{48 \cdot E_c \cdot I_e} \quad (18)$$

Keterangan:

$l$  = Panjang bentang bersih

$E_c$  = Modulus beton

$I_e$  = Momen inersia efektif

Untuk momen inersia efektif ( $I_e$ ) didapat dengan persamaan:

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_n}\right)^3 \cdot I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_n}\right)^3\right] \cdot I_{cr} \leq I_g \quad (19)$$

Dengan nilai:

$$I_g = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 \quad (20)$$

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c} \quad (21)$$

$$y_t = \frac{1}{2} \cdot h \quad (22)$$

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \quad (23)$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (24)$$

$$y = \frac{n \cdot A_s}{b} \left[ \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{n \cdot A_s}} - 1 \right] \quad (25)$$

$$I_{cr} = \frac{b \cdot y^3}{3} + n \cdot A_s \cdot (d - y)^2 \quad (26)$$

Dimana :

$I_g$  = Momen inersia penampang utuh terhadap sumbu berat penampang, seluruh batang tulangan diabaikan

$I_{cr}$  = Momen inersia penampang retak transformasi

$y$  = Letak garis netral

$n$  = Rasio modulus

$M_{cr}$  = Momen pada saat timbul retak yang pertama

$f_r$  = Modulus retak beton

$y_t$  = Jarak dari garis netral penampang utuh (mengabaikan tulangan baja) ke serat tepi tertarik

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan dengan cara membuat benda uji.

### 1. Benda uji

Benda uji yang akan digunakan sebagai obyek penelitian adalah balok beton bertulangan eksternal dengan rencana campuran mutu beton 20 MPa yang dibuat dengan menggunakan molen. Ukuran balok

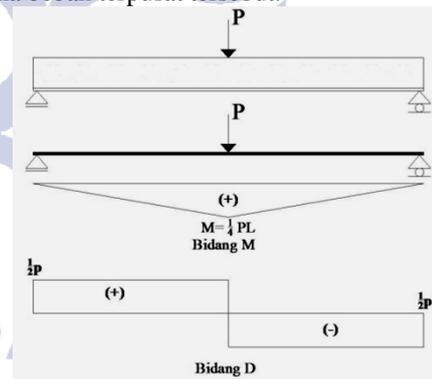
12,5 x 18,5 x 180 cm, menggunakan tulangan baja *lips channel* 12,5 x 5 x 2 x 0,23 cm, baut  $\varnothing$  7 mm dengan panjang 150 mm sebagai *shear stud*, baja tulangan polos 2 $\varnothing$ 8 mm sebagai tulangan praktis dan baja tulangan polos  $\varnothing$ 6–170 mm sebagai sengkang praktis. Desain keruntuhan balok direncanakan *under reinforcement* yaitu kondisi dimana regangan baja akan mencapai leleh lebih dahulu sebelum regangan leleh beton untuk mendapatkan keruntuhan beton secara perlahan yang daktil.

### 2. Jumlah benda uji

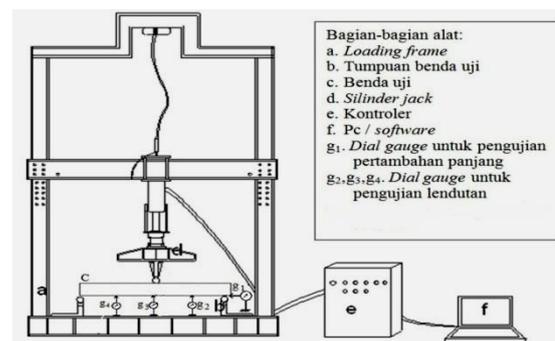
Benda uji berjumlah 5 buah balok (2 balok menggunakan baut, 2 balok tanpa baut dan 1 balok dengan tulangan biasa):

- 1 benda uji dengan tulangan besi polos  $\varnothing$ 16 dan sengkang praktis jarak 170 mm (B-  $\varnothing$ 16-170)
- 1 benda uji dengan tulangan *lips channel*, sengkang praktis jarak 875 mm dan tanpa baut (B-LC-875).
- 1 benda uji dengan tulangan *lips channel*, sengkang praktis jarak 170 mm dan tanpa baut (B-LC-170).
- 1 benda uji dengan tulangan *lips channel*, sengkang praktis jarak 170 mm dan baut lurus sejajar jarak 80 mm (B-LC-170+BL).
- 1 benda uji dengan tulangan *lips channel*, sengkang praktis jarak 170 mm dan baut zig-zag jarak 80 mm (B-LC-170+BZ).

Sistem pengujian balok beton yang dilakukan di laboratorium adalah dengan memberi beban terpusat di sekitar tengah bentang balok beton, kemudian pada daerah uji (*test region*) dipelajari perilaku balok baja saat menerima beban terpusat tersebut.



Gambar 10. Bidang benda uji



Gambar 11. Set-up alat loading frame

Alat diatas merupakan alat yang bekerja secara otomatis dan akan didapat data secara langsung dari hasil pengujian. Proses pengujian dilakukan dengan menginputkan dimensi benda uji yaitu tinggi, lebar dan panjang dari balok beton pada Pc/software, kemudian menyetting kontroler guna mengontrol hidraulic jack pada saat pengujian. Data output hasil pengujian dideteksi pada Pc/software yang berupa nilai dan grafik yaitu:

- a) P
- b) Δ (lendutan)
- c) Grafik hubungan waktu-beban
- d) Grafik hubungan tegangan-regangan
- e) Grafik hubungan beban-lendutan
- f) Grafik hubungan lendutan-tegangan

Disamping itu nilai hasil pengujian juga dibaca pada dial gauge yang meliputi data lendutan dan pertambahan panjang. Data tersebut digunakan sebagai pembandingan dengan data yang didapat pada Pc/software.

Metode analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif, yaitu pengukuran hasil uji coba dalam bentuk grafik, tabel, dan gambar meliputi:

- a) Kuat tarik baja
- b) Kuat tekan silinder beton.
- c) Kekuatan lentur balok

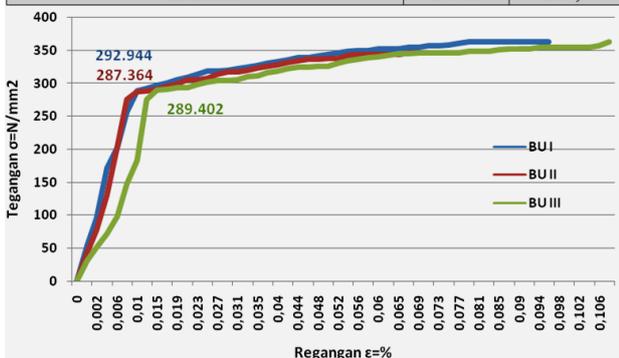
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Kuat tarik baja**

Hasil pengujian tarik baja diperoleh data seperti pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 3 dan Gambar 12 sampai dengan Gambar 13:

Tabel 2. Hasil kuat tarik benda uji baja lips channel

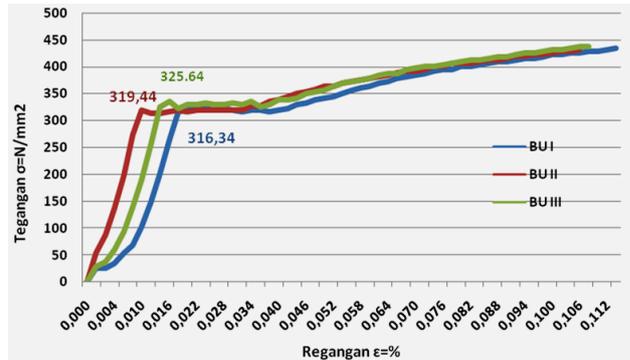
Sampel	Tebal (mm)	Lebar (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	$\sigma = \frac{P}{A}$ (N/mm <sup>2</sup> )
BU II	2,3	21,333	49,067	14100	287,4
BU III	2,3	21,333	49,067	14200	289,4
Rata-rata				14000	289,9



Gambar 12. Grafik hubungan regangan-tegangan lips channel

Tabel 3. Hasil kuat tarik benda uji tulangan Ø 16 mm

Sampel	Diameter (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	$\sigma = \frac{P}{A}$ (N/mm <sup>2</sup> )
BU I	14,33	161,22	51000	316,34
BU II	14,33	161,22	51500	319,44
BU III	14,33	161,22	52500	325,64
Rata-rata			8900	320,47



Gambar 13. Grafik hubungan regangan-tegangan tulangan Ø 16 mm

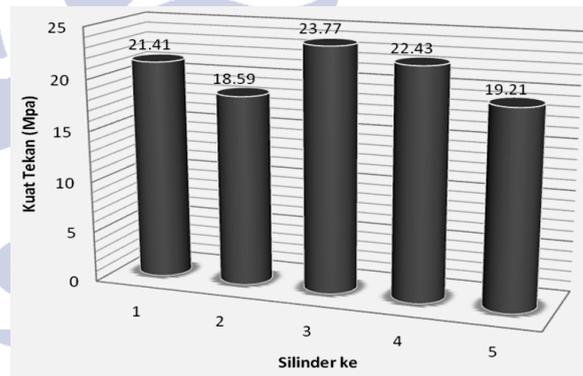
Hasil pengujian kuat tarik mutu baja yang telah dilakukan, maka dapat diketahui bahwa untuk baja lips channel memiliki tegangan leleh rata-rata 289,9 N/mm<sup>2</sup>, tulangan polos Ø 16 mm memiliki tegangan leleh rata-rata 320,47 N/mm<sup>2</sup>

**B. Kuat Tekan Beton**

Pengujian kuat tekan silinder beton Ø 15 cm dan tinggi 30 cm pada umur 28 hari didapatkan hasil seperti pada Tabel 4 dan Gambar 14 berikut ini:

Tabel 4. Kuat tekan beton (f'c)

No.	Identifikasi Benda Uji			A (mm <sup>2</sup> )	P (N)	$\sigma = \frac{P}{A}$ (N/mm <sup>2</sup> )
	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gr)			
1	150	300	12410	17663	378400	21,41
2	150	300	12480	17663	328500	18,59
3	150	300	12320	17663	420100	23,77
4	150	300	12830	17663	339400	22,43
5	150	300	12890	17663	396200	19,21
Rata-rata kuat tekan						21,04



Gambar 14. Kuat tekan silinder beton

Nilai rata-rata kuat tekan sebesar 21,04 MPa. Nilai dari masing-masing pengujian tidak sama, hal itu dikarenakan letak agregat, ukuran agregat dan jumlah agregat di dalam silinder tidak sama meskipun beton dibuat dalam satu adukan.

**C. Kekuatan teoritik**

Kekuatan teoritik digunakan untuk mengetahui kekuatan benda uji secara teoritik dan sebagai pembandingan dengan hasil penelitian, seperti pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. Kekuatan teoritik benda uji

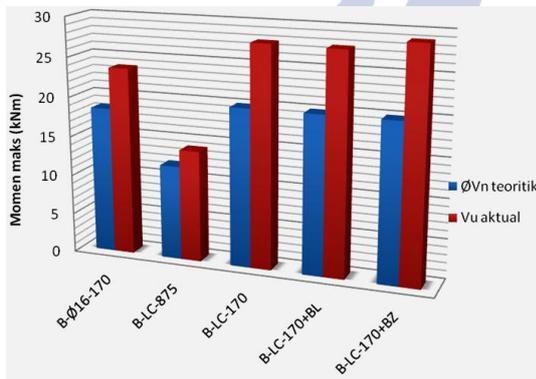
No.	Model Benda Uji	Mutu Beton (MPa)	Kuat Lentur		Kuat Geser		
			$M_n$ (kNm)	$M_{cr}$ (kNm)	$V_c$ (kN)	$V_s$ (kN)	$V_n$ (kN)
1	B-Ø16-170	21,04	15,83	2,34	14,78	11,09	25,87
2	B-LC-875	21,04	20,65	2,34	16,61	29,8	19,59
3	B-LC-170	21,04	20,65	2,34	16,61	15,34	31,95
4	B-LC-170+BL	21,04	20,65	2,34	16,61	36,24	74,19
5	B-LC-170+BZ	21,04	20,65	2,34	16,61	36,24	74,19

1. Perhitungan nilai kuat geser ( $V_u$ ) pada balok beton uji

Hasil pengujian kuat geser yang telah dilakukan, didapatkan hasil pada Tabel 6 dan Gambar 15 berikut ini:

Tabel 6. Kuat geser ( $V_u$ ) pada balok beton

No.	Model Benda Uji	$V_c$ teoritik	$V_s$ teoritik	$V_n$ teoritik	$\phi V_n$ teoritik	$V_u$ aktual	Kenaikan	
							% $\phi V_n$ teoritik	% $V_u$ aktual
							thrdp $V_u$ aktual	thrdp $V_u$ aktual BU1
1	B-Ø16-170	14,93	15,87	30,8	18,48	23,67	28,08	0
2	B-LC-875	16,61	3,23	19,83	11,9	14,05	18,07	-
3	B-LC-170	16,61	16,61	33,21	19,93	27,80	39,49	17,45
4	B-LC-170+BL	16,61	16,61	33,21	19,93	27,68	35,88	16,94
5	B-LC-170+BZ	16,61	16,61	33,21	19,93	28,93	45,16	22,22



Gambar 15. Kuat geser ( $\phi V_n$ ) teoritik dan kuat geser ( $V_u$ ) actual

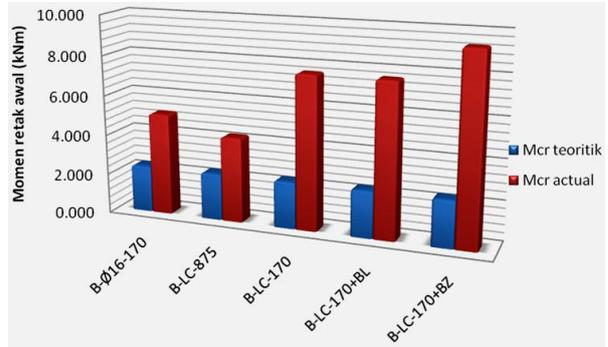
Hasil penelitian menunjukkan nilai kuat geser aktual ( $V_u$  aktual) terhadap nilai  $V_u$  aktual B-Ø16-170 mengalami kenaikan berturut-turut untuk balok B-LC-170 sebesar 17,45%, balok B-LC-170+BL sebesar 16,94% dan balok B-LC-170+BZ sebesar 22,22%. Kenaikan balok B-LC-170, B-LC-170+BL dan B-LC-170+BZ. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai kuat geser balok B-LC-170, B-LC-170+BL dan B-LC-170+BZ mengalami kenaikan berdasarkan perhitungan teoritik adalah tinggi efektif balok ( $d$ ) relatif lebih besar daripada baja tulangan di sisi dalam, nilai  $d$  yang lebih besar, menghasilkan nilai kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser sengkang ( $V_s$ ) yang lebih besar, sehingga nilai kuat geser nominal balok ( $V_n$ ) yang didapat juga besar. Balok B-LC-875 menunjukkan penurunan nilai  $V_u$  aktual terhadap nilai  $V_u$  aktual B-Ø16-170. Salah satu faktor yang mempengaruhi yaitu, jarak sengkang yang terlalu jauh sehingga *interlocking* antara tulangan *lips channel* dan beton tidak bagus dan mengakibatkan terjadinya *slip* pada balok.

2. Perhitungan momen retak awal ( $M_{cr}$ ) pada balok beton uji

Hasil momen retak awal ( $M_{cr}$ ) pada pengujian lentur yang telah dilakukan, didapatkan hasil pada Tabel 7 dan Gambar 16 berikut ini

Tabel 7. Momen retak awal ( $M_{cr}$ ) pada pengujian lentur

No.	Model Benda Uji	$M_{cr}$ teoritik	$M_{cr}$ actual	$P_{cr}$	% $M_{cr}$	% $M_{cr}$
		kNm	kNm	kN	thdp $M_{cr}$	thdp $M_{cr}$
1	B-Ø16-170	2,344	5,10	12	117,58	0
2	B-LC-875	2,344	4,25	10	81,31	-
3	B-LC-170	2,344	7,65	18	226,37	50,00
4	B-LC-170+BL	2,344	7,65	18	226,37	50,00
5	B-LC-170+BZ	2,344	9,35	22	298,89	83,33



Gambar 16. Retak awal pada balok ( $M_{cr}$ )

Hasil penelitian menunjukkan nilai  $M_{cr}$  aktual terhadap nilai  $M_{cr}$  aktual B-Ø16-170 mengalami kenaikan berturut-turut untuk balok B-LC-170 sebesar 50,00%, balok B-LC-170+BL sebesar 50,00% dan balok B-LC-170+BZ sebesar 83,33%. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai  $M_{cr}$  aktual balok B-LC-170, B-LC-170+BL dan B-LC-170+BZ lebih besar daripada balok B-Ø16-170 yaitu, nilai regangan baja *lips channel* sebagai pelindung beton lebih tinggi daripada regangan beton, sehingga retak awal tertunda, seperti yang diungkapkan oleh Widjaja dan Nuroji (2009:456). Hasil penelitian Balok B-LC-875 menunjukkan penurunan nilai  $M_{cr}$  aktual terhadap nilai  $M_{cr}$  aktual B-Ø16-170. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai  $M_{cr}$  aktual balok B-LC-875 lebih kecil daripada balok yang lainnya yaitu, jarak sengkang yang lebih panjang daripada balok yang lainnya yaitu 875 mm.

3. Perhitungan nilai lendutan ( $\Delta$ ) pada balok beton uji

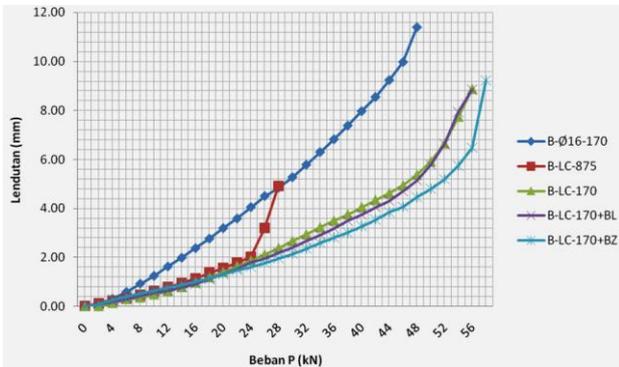
Pengujian geser yang dilakukan pada benda uji didapatkan hasil momen maksimum ( $M_{maks}$ ) pada Tabel 8 dan lendutan maksimum pada Tabel 9 dan Gambar 17 berikut:

Tabel 8. Momen maksimum ( $M_{maks}$ ) balok

No.	Model Benda Uji	$P$	$M_n$ teoritik	$M_{mak}$ aktual	% $M_n$ teoritik
		kN	kNm	kNm	%
1	B-Ø16-170	47,35	13,43	20,12	49,81
2	B-LC-875	28,1	20,65	11,94	-
3	B-LC-170	55,6	20,65	23,63	14,43
4	B-LC-170+BL	55,35	20,65	23,52	13,9
5	B-LC-170+BZ	57,85	20,65	24,59	19,08

Tabel 9. Lendutan maksimum ( $\Delta$ ) balok

No.	Model Benda Uji	P	$\Delta_t$	$\Delta_t$ pada saat $M_{max}$	$\Delta_{mak}$ aktual	% $\Delta_t$ pada saat $M_{max}$ thdp $\Delta_{mak}$ aktual	% $\Delta_{mak}$ aktual B-Ø16-170 thdp $\Delta_{mak}$ aktual
		kN	mm	mm	Mm	%	%
1	B-Ø16-170	47,35	9,269	13,42	11,40	22,99	0
2	B-LC-875	28,1	7,698	4,221	5,35	30,50	113,08
3	B-LC-170	55,6	7,698	8,464	8,85	14,96	28,81
4	B-LC-170+BL	55,35	7,698	8,422	8,87	15,22	28,52
5	B-LC-170+BZ	57,85	7,698	8,588	9,22	19,77	23,64

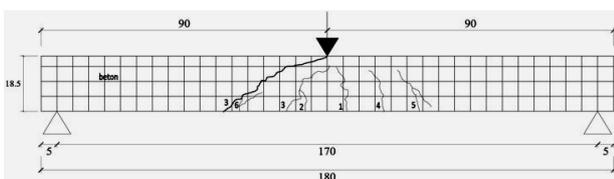


Gambar 17. Hubungan beban dan lendutan pada balok

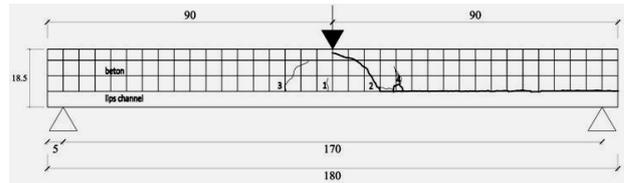
Hasil penelitian menunjukkan nilai lendutan aktual terhadap nilai lendutan aktual B-Ø16-170 mengalami penurunan berturut-turut untuk balok B-LC-875 sebesar 113,08%, balok B-LC-170 sebesar 28,81%, balok B-LC-170+BL sebesar 28,52% dan balok B-LC-170+BZ sebesar 23,64%. Salah satu faktor yang mempengaruhi penurunan balok B-LC-875, B-LC-170, B-LC-170+BL dan B-LC-170+BZ dikarenakan jenis tulangan yang digunakan berbeda dan nilai regangan baja *lips channel* sebagai pelindung beton lebih tinggi daripada regangan beton, sehingga nilai lendutan yang dihasilkan lebih kecil. Balok B-LC-170+BZ memiliki nilai lendutan aktual lebih besar dari pada balok bertulangan *lips channel* dengan sengkang jarak 170 mm yang lainnya, pada balok B-LC-875 sebesar 72,34%, pada balok B-LC-170 sebesar 4,18% dan pada balok B-LC-170+BL sebesar 4,17%. Kenaikan itu dapat disimpulkan untuk balok bertulangan *lips channel* bahwa semakin besar kuat lentur balok, maka semakin tinggi lendutan yang dihasilkan.

#### D. Pengaruh balok beton terhadap pola runtuh

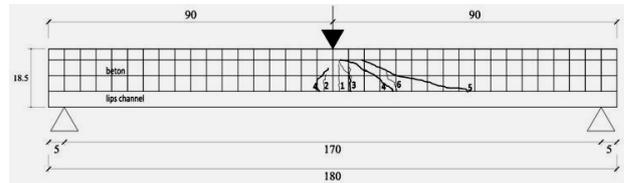
Pengujian dengan beban terpusat di tengah bentang terhadap masing-masing benda uji balok, didapatkan gambaran pola retak penampang masing-masing balok tersebut sebagai berikut:



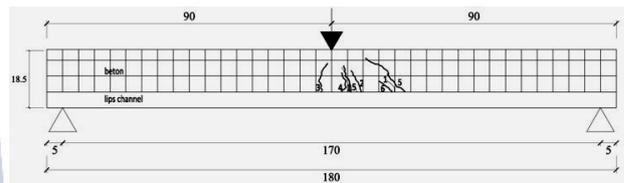
Gambar 19. Pola retak balok B-Ø16-170



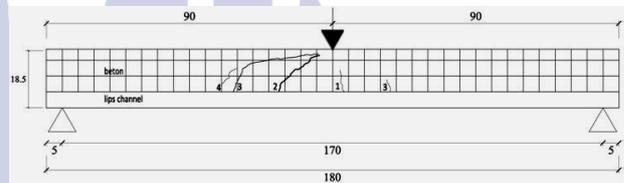
Gambar 20. Pola retak balok B-LC-875



Gambar 21. Pola retak balok B-LC-170



Gambar 22. Pola retak balok B-LC-170+BL



Gambar 23. Pola retak balok B-LC-170+BZ

Pola retak yang terjadi pada balok beton dari hasil uji kuat lentur dapat diamati pada waktu pengujian dilakukan. Berdasarkan hasil pengamatan pola retak pada balok, dengan pemberian beban terpusat di tengah bentang, retak yang ditimbulkan cenderung ke kegagalan/ keruntuhan geser. Salah satu faktor yang menyebabkan keruntuhan geser yaitu syarat  $a/d$  balok, dimana didapat nilai  $a/d$  antara 2,5-5,5. Faktor lain yang mempengaruhi adalah kurangnya keamanan pada daerah lapangan, hal itu dapat dilihat nilai  $\phi V_n$  pada daerah lapangan lebih kecil dari pada  $V_u$ .

#### PENUTUP

##### Simpanan

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian uji kuat lentur di laboratorium yang telah dilakukan, ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas kuat geser aktual ( $V_u$  aktual) pada balok B-LC-170 mengalami kenaikan 17,45% terhadap balok kontrol (B-Ø16-170), pada balok B-LC-170+BL mengalami kenaikan 16,94% terhadap B-Ø16-170 dan pada balok B-LC-170+BZ mengalami kenaikan 22,22% terhadap B-Ø16-170. Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai kuat geser B-LC-170 > B-Ø16-170 berdasarkan perhitungan teoritik adalah tinggi efektif balok ( $d$ ) relatif lebih besar daripada baja tulangan di sisi dalam, nilai  $d$  yang lebih besar, menghasilkan nilai

kuat geser beton ( $V_c$ ) dan kuat geser sengkang ( $V_s$ ) yang lebih besar, sehingga nilai kuat geser nominal balok ( $V_n$ ) yang didapat juga besar.

Kapasitas  $V_u$  aktual balok B-LC-875 mengalami penurunan terhadap B-Ø16-170. Salah satu faktor yang mempengaruhi yaitu, jarak sengkang yang terlalu jauh sehingga *interlocking* antara tulangan *lips channel* dan beton tidak bagus dan mengakibatkan terjadinya *slip* pada balok.

2. Hasil penelitian menunjukkan nilai  $M_{cr}$  aktual terhadap nilai  $M_{cr}$  aktual B-Ø16-170 mengalami kenaikan berturut-turut untuk balok B-LC-170, B-LC-170+BL dan B-LC-170+BZ. Kenaikan dikarenakan regangan baja *lips channel* sebagai pelindung beton lebih tinggi daripada regangan beton, sehingga retak awal tertunda seperti yang diungkapkan oleh Widjaja dan Nuroji (2009). Hasil penelitian Balok B-LC-875 menunjukkan penurunan nilai  $M_{cr}$  aktual terhadap nilai  $M_{cr}$  aktual B-Ø16-170. Penurunan balok B-LC-875 dikarenakan jarak sengkang yang lebih panjang daripada balok yang lainnya yaitu 875 mm.
3. Hasil penelitian menunjukkan nilai lendutan aktual terhadap nilai lendutan aktual B-Ø16-170 mengalami penurunan berturut-turut untuk balok B-LC-875, B-LC-170, B-LC-170+BL dan B-LC-170+BZ. Penurunan balok B-LC-875, B-LC-170, B-LC-170+BL dan B-LC-170+BZ dikarenakan jenis tulangan yang digunakan berbeda dan nilai regangan baja *lips channel* sebagai pelindung beton lebih tinggi daripada regangan beton, sehingga nilai lendutan yang dihasilkan lebih kecil. Balok B-LC-170+BZ memiliki nilai lendutan aktual lebih besar dari pada balok bertulangan *lips channel* dengan sengkang jarak 170 mm yang lainnya, pada balok B-LC-875 sebesar 72,34%, pada balok B-LC-170 sebesar 4,18% dan pada balok B-LC-170+BL sebesar 4,17%. Kenaikan itu dapat disimpulkan untuk balok bertulangan *lips channel* bahwa semakin besar kuat lentur balok, maka semakin tinggi lendutan yang dihasilkan.
4. Pola retak yang terjadi menunjukkan bahwa beton mengalami runtuh geser. Keruntuhan geser ini dibuktikan dengan pola retak yang cenderung mendatar atau horizontal. Salah satu faktor yang menyebabkan keruntuhan geser yaitu syarat  $a/d$  balok, dimana didapat nilai  $a/d$  tidak lebih besar dari 5,5. Faktor lain yang mempengaruhi adalah kurangnya keamanan pada daerah lapangan, hal itu dapat dilihat nilai  $\phi V_n$  pada daerah lapangan lebih kecil dari pada  $V_u$ .

### Saran

Berdasarkan uraian kesimpulan di atas didapat beberapa saran untuk memperoleh kesempurnaan dan hasil yang lebih baik, sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk perencanaan dimensi penampang balok  $a/d$  benar-benar diperhatikan, agar nantinya tidak terjadi kesalahan dan sesuai dengan tujuan penelitian.

2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk balok benar-benar direncanakan *under reinforced*, agar nantinya dapat diketahui pengaruh dari tulangan *lips channel*.
3. Mengacu pada hasil penelitian sebaiknya sengkang di buat benar-benar sengkang praktis yaitu 3 buah, yang hanya berfungsi menyangga tulangan tekan, sehingga baut dapat benar-benar diketahui pengaruhnya.
4. Penelitian selanjutnya disarankan supaya mempelajari terlebih dahulu sistem kerja alat uji lentur dan uji tarik, sehingga tidak terjadi kesalahan pada saat melakukan pengujian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Agus, Setiawan. 2008. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Semarang: Erlangga.
- Andang, Widjaja dan Nuroji. 2013. Perkuatan Eksternal Tunggal Lips Channel Pada Balok Beton. *Jurnal Teknik Sipil, (Online)*, Vol. 1, No. 1, (<http://www.atpw.files.wordpress.com>, diakses 22 Mei 2013).
- ANSI/AISC 360-05, 2005. *Specification for Structural Steel Buildings*
- Chu-kia, Wang dan Charles G Salmon, 1993. *Disain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Dwi, Anggono dan Firman Edy S. 2012. Pengujian Balok Beton Dengan Menggunakan Tulangan Eksternal (Baja Lips Channel). *Jurnal Teknik Sipil, (Online)*, Vol. 1, No. 1, (<http://www.ejournal-s1.undip.ac.id>, diakses 22 Mei 2013).
- Edward, G. Nawi. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung: Refika Aditama
- Jack, C. McCormac. 2003. *Desain Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.
- Rene, Amon, dkk. 2000. *Perencanaan Konstruksi Baja untuk Insinyur dan Arsitek 1*. Jakarta: Pradnya Paramitha
- Robert, Park dan Thomas Pauley. 1974. *Reinforced Concrete Structure*. Toronto Canada: John Wiley & Sons, Inc,
- Rudi, Septiawan. 2013. Studi Penelitian Pengaruh Letak Sambungan Cor Beton Terhadap Uji Kuat Lentur pada Balok Beton Bertulang. *Skripsi* tidak diterbitkan. Surabaya: JTS FT UNESA
- SNI 03-1729-2002. *Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung*
- Vis, W.C dan Gideon Kusuma. 1997. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*. Jakarta: Erlangga.