



Perkuatan Geser Balok Beton Bertulang Menggunakan Sengkang Luar¹

Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beam Using Externally Stirrups

Arga Saputra^a, Sri Murni Dewi^{b, 2}, Lilya Susanti^b

^a Program Studi S2 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jl. MT Haryono No. 167 Malang

^b Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Jl. MT Haryono No. 167 Malang

ABSTRACT

Initial design errors, especially the installation of stirrups, one of them can cause the beam having shear failure due to installing capacity of stirrups less than the shear capacity that occurs. Shear strengthening in this study used externally stirrups $\varnothing 6-75$ which were installed in the shear area only. The results of calculation analysis, shear capacity can increase up to 137.82%; 133.42% and 137.12% while the test results increased by 31.58%; 0% and 4.76% in this caseload did not look significant from the results of calculation analysis. However, when viewed from crack pattern that occurs without external stirrups, outer ring has a combination of flexural and shear cracks occurs quite much, besides of flexural and shear cracks, combination of crack also occurs because of pressure beam reach pressure capacity first rather than tensile beam because the ratio of installed reinforcement is over reinforced. Meanwhile, in the beam with external stirrups, the crack pattern that occurs is also a combination of bending and shear cracks, but the cracks that occur are relatively less than the beam without external stirrups. When viewed from the deflection that occurred during the first crack, the reinforced beam experienced a relatively smaller deflection of 0.61 mm beam; 0.31 mm and 0.18 mm rather than beams without externally stirrups 1.28 mm; 0.55 mm and 0.32 mm, so that the beam with external stirrups can be said to be more rigid than the beam without external stirrups.

Keywords: strengthening, shear, stirrup

ABSTRAK

Kesalahan desain awal, khususnya pemasangan sengkang, salah satunya dapat mengakibatkan balok mengalami kegagalan geser akibat kapasitas sengkang yang terpasang kurang dari kapasitas geser yang terjadi. Perkuatan geser pada penelitian ini menggunakan sengkang $\varnothing 6-75$ yang dipasang pada daerah geser saja. Hasil dari perhitungan analisis, kapasitas geser dapat meningkat sampai 137,82%; 133,42% dan 137,12% sedangkan dari hasil pengujian mengalami peningkatan sebesar 31,58%; 0% dan 4,76% dalam hal ini peningkatan beban tidak terlihat signifikan dari hasil analisis perhitungan, namun jika dilihat dari pola retak yang terjadi beton tanpa perkuatan sengkang luar mengalami kombinasi retak lentur dan geser yang cukup banyak, selain kombinasi retak lentur dan geser, juga terjadi retak akibat balok tekan yang mencapai kapasitas tekan terlebih dahulu daripada balok tarik karena rasio tulangan yang terpasang *over reinforced*. Sementara itu pada balok dengan perkuatan sengkang luar, pola retak yang terjadi juga kombinasi retak lentur dan retak geser, namun retak yang terjadi relatif lebih sedikit daripada balok tanpa perkuatan. Jika ditinjau dari lendutan yang terjadi pada saat *crack* pertama, balok yang diberi perkuatan mengalami lendutan yang relatif lebih kecil yaitu 0,61 mm; 0,31 mm dan 0,18 mm daripada balok tanpa perkuatan 1,28 mm; 0,55 mm dan 0,32 mm sehingga balok yang diperkuat dengan sengkang luar dapat dikatakan lebih kaku daripada balok tanpa perkuatan.

Kata kunci: perkuatan, geser, sengkang

¹ Info artikel: Received 15 April 2019, Received in revised from 22 April 2019, Accepted 24 April 2019.

² Corresponding author: srilmurnid@ub.ac.id (S. M. Dewi)

PENDAHULUAN

Peningkatan kekuatan struktur bangunan telah menjadi bahasan yang penting akhir-akhir ini. Alih fungsi suatu bangunan, kegagalan pada struktur seperti balok dan kolom karena umur, lingkungan yang mempengaruhi penurunan kekuatan struktur bahkan kesalahan desain awal yang lemah atau kurang maupun akibat kejadian-kejadian alam seperti gempa. Oleh sebab itu perkuatan struktur menjadi salah satu solusi untuk memperkuat bahkan meningkatkan kekuatan struktur agar memenuhi persyaratan keamanan dan kekuatan.

Salah satu penelitian tentang perkuatan balok beton bertulang menggunakan tulangan sengkang adalah Sesetty (2018) yaitu menggunakan 3 metode dengan menggunakan penambahan tulangan baja spiral, tulangan baja diagonal dan yang terakhir dengan penambahan sengkang eksternal. Dari penelitian tersebut mengatakan bahwa perkuatan menggunakan dua metode perkuatan inovatif (metode tulangan spiral dan metode tulangan diagonal) memberikan hasil yang lebih baik daripada perkuatan menggunakan sengkang eksternal, tetapi perkuatan inovatif sangat tidak memungkinkan untuk diaplikasikan dilapangan serta penggunaan sengkang eksternal dinilai lebih ekonomis daripada dua metode yang lain. Selain penelitian diatas masih banyak lagi penelitian-penelitian yang membahas tentang perkuatan geser pada balok beton bertulang.

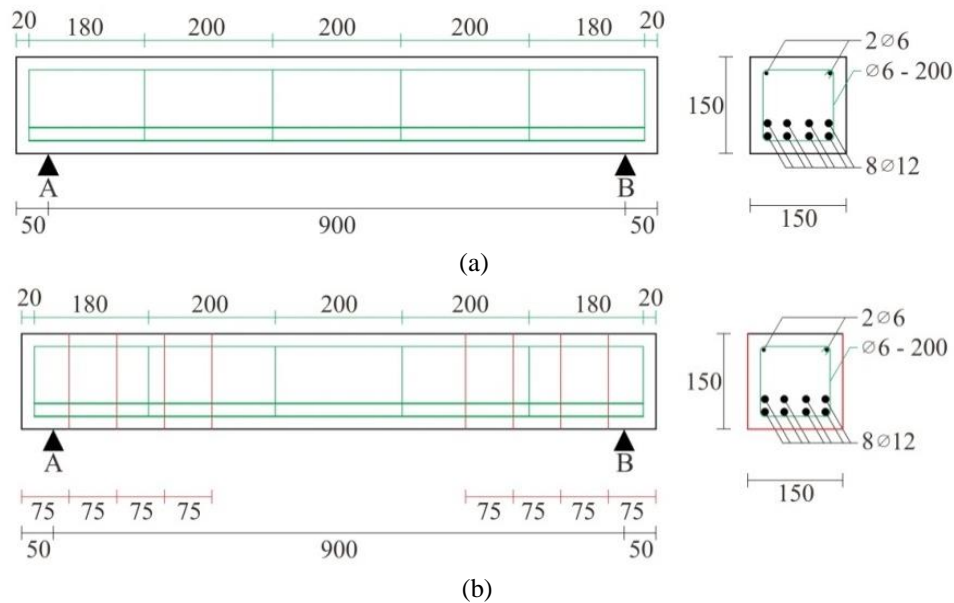
Maka dalam penelitian ini akan dilakukan penelitian untuk mendapatkan data indeks peningkatan kekuatan dari penggunaan tulangan sengkang luar sebagai perkuatan geser pada balok beton bertulang serta untuk mendapatkan data bagaimana pola retak yang terjadi pada balok beton bertulang tanpa perkuatan dengan balok beton bertulang yang diperkuat dengan sengkang luar dengan pertimbangan karena metode ini dinilai lebih ekonomis dan mudah diaplikasikan dilapangan.

METODE PENELITIAN

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini merupakan benda uji peneliti terdahulu yang sudah diperkuat menggunakan sengkang luar, sehingga dalam penelitian ini peneliti hanya melakukan pengujian langsung dan melakukan analisis hasil perhitungan secara teori dan hasil pengujian benda uji dilaboratorium. Benda uji yang digunakan juga menggunakan campuran material lain, namun dalam penelitian ini peneliti tidak membahas tentang campuran material bahan lain. Jumlah dan detail benda uji seperti pada tabel dan gambar berikut:

Tabel 1 Kode dan jumlah benda uji

No	Tipe	Kode	Jumlah
1	Balok Tanpa Perkuatan Sengkang Luar	B1a	1
		B2a	1
		B3a	1
2	Balok Dengan Perkuatan 4 Sengkang	B1b	1
		B2b	1
		B3b	1



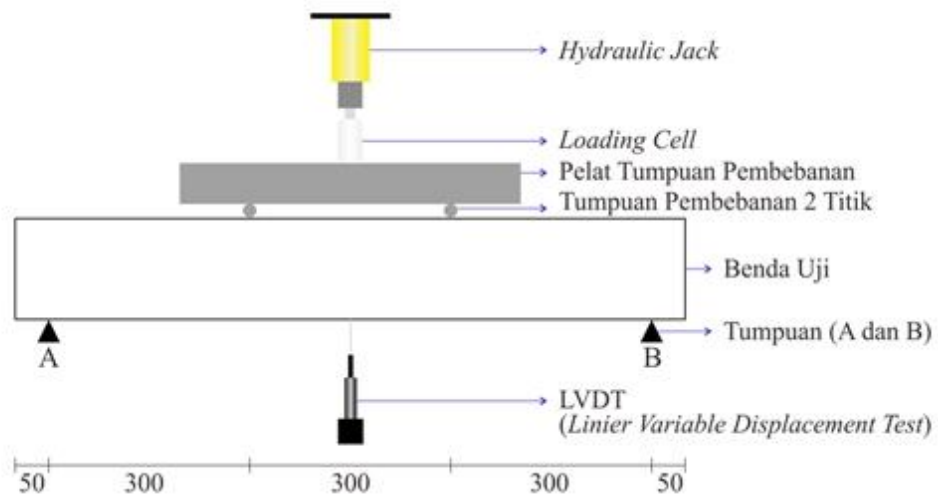
Keterangan:

- Tulangan Internal
- Sengkang Eksternal

- (a) Benda Uji Tipe 1 (B1a-B4a) Tanpa Tulangan Eksternal sebagai Balok Kontrol;
- (b) Benda Uji Tipe 2 (B2a-B4a) dengan Perkuatan 4 Sengkang Luar;

Gambar 1 Desain benda uji

Sedangkan *set up* pengujian benda uji adalah sebagai berikut:



Gambar 2 Detail Penempatan Benda Uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data perencanaan untuk mutu beton direncanakan mutu f_c' 29 MPa namun dari hasil pengujian silinder, mutu beton yang ada hanya berkisar f_c' 26 MPa sehingga dicoba menghitung rasio tulangan yang ada. Dari hasil perhitungan rasio tulangan tarik yang terpasang ternyata *over reinforced* ($\rho = 0,0569 > \rho_{maks} = 0,0448$).

Tabel 2 Parameter hasil pengujian dan perhitungan pada silinder dan balok (B1a dan B1b)

Parameter	Hasil	Satuan	Parameter	Hasil	Satuan
<i>b</i>	150	mm	<i>fr</i>	3,37	MPa
<i>h</i>	150	mm	<i>Ec</i>	22640	MPa
<i>L</i>	900	mm	<i>fy</i>	240	MPa
<i>d</i>	106	mm	<i>fu</i>	370	MPa
<i>d'</i>	29	mm	<i>Es</i>	200000	MPa
<i>As</i>	904,78	mm ²	β_1	0,85	
<i>As'</i>	56,55	mm ²	<i>n</i>	8,83	
<i>fc'</i>	23	MPa			

Tabel 3 Parameter hasil pengujian dan perhitungan pada silinder dan balok (B2a dan B2b)

Parameter	Hasil	Satuan	Parameter	Hasil	Satuan
<i>b</i>	150	mm	<i>fr</i>	3,55	MPa
<i>h</i>	150	mm	<i>Ec</i>	23816	MPa
<i>L</i>	900	mm	<i>fy</i>	240	MPa
<i>d</i>	106	mm	<i>fu</i>	370	MPa
<i>d'</i>	29	mm	<i>Es</i>	200000	MPa
<i>As</i>	904,78	mm ²	β_1	0,85	
<i>As'</i>	56,55	mm ²	<i>n</i>	8,40	
<i>fc'</i>	26	MPa			

Tabel 4 Parameter hasil pengujian dan perhitungan pada silinder dan balok (B3a dan B3b)

Parameter	Hasil	Satuan	Parameter	Hasil	Satuan
<i>b</i>	150	mm	<i>fr</i>	3,40	MPa
<i>h</i>	150	mm	<i>Ec</i>	22849	MPa
<i>L</i>	900	mm	<i>fy</i>	240	MPa
<i>d</i>	106	mm	<i>fu</i>	370	MPa
<i>d'</i>	29	mm	<i>Es</i>	200000	MPa
<i>As</i>	904,78	mm ²	β_1	0,85	
<i>As'</i>	56,55	mm ²	<i>n</i>	8,75	
<i>fc'</i>	24	MPa			

Dari data-data pada Tabel 2,3 dan 4 kemudian digunakan untuk menghitung kapasitas geser balok menurut SNI 03-2847-2013 dengan menggunakan rumus berikut:

1. Kapasitas geser nominal untuk balok tanpa perkuatan sengkang luar ($V_{n\ int}$)

$$V_{n\ int} = V_c + V_{s\ int} \quad (1)$$

$$V_{n\ int} = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} bd + \frac{A_{v\ int} * f_y * d_{int}}{s_{int}} \quad (2)$$

2. Kapasitas geser nominal untuk balok dengan perkuatan sengkang luar ($V_{n\ eks}$)

$$V_{n\ int} = V_c + V_{s\ int} + V_{s\ eks} \tag{3}$$

$$V_{n\ int} = \frac{1}{6} \sqrt{f_c'} bd + \frac{A_{v\ int} * f_y * d_{int}}{s_{int}} + \frac{A_{v\ eks} * f_y * d_{eks}}{s_{eks}} \tag{4}$$

Dimana V_c adalah kapasitas geser yang disumbangkan oleh beton, V_s adalah kapasitas geser yang disumbangkan oleh sengkang, d_{int} menggunakan d efektif, sedangkan d eksternal digunakan sebesar h karena sengkang luar dipasang setinggi h dan parameter-parameter lain disesuaikan dengan dimensi dan data dari masing-masing balok seperti pada Tabel 2,3 dan 4.

Hasil dari kapasitas geser kemudian dirubah menjadi beban P_g menggunakan persamaan dari statika pembebanan.

1. Beban geser balok tanpa perkuatan sengkang luar ($P_{g\ int}$)

$$P_{g\ int} = \left(V_{n\ int} - \frac{qL}{2} \right)^2 \tag{5}$$

2. Beban geser balok dengan perkuatan sengkang luar ($P_{g\ eks}$)

$$P_{g\ eks} = \left(V_{n\ eks} - \frac{qL}{2} \right)^2 \tag{6}$$

Sedangkan nilai lendutan analisis menurut ACI 435R-95 dihitung hanya ketika balok elastis yaitu saat balok mengalami retak pertama dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta = \frac{\frac{P}{2}a}{24E_c I_e} (3L^2 - 4a^2) \tag{7}$$

Dimana P adalah beban ketika retak pertama, a adalah jarak antara tumpuan sampai titik pembebanan, E_c adalah modulus elastisitas beto, I_e adalah momen inersia efektif dan L adalah bentang balok.

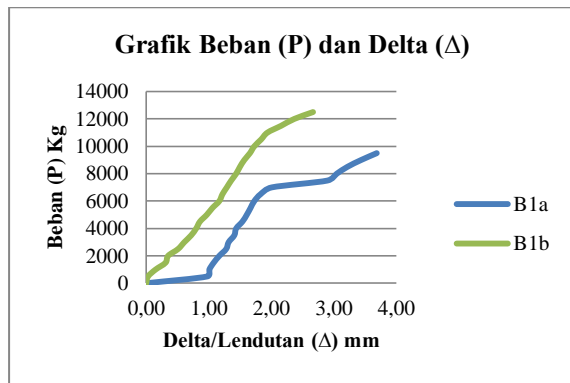
Untuk hasil perhitungan dan eksperimen kapasitas geser, beban geser serta lendutan dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5 Perbandingan beban maksimal hasil analisis dan eksperimen

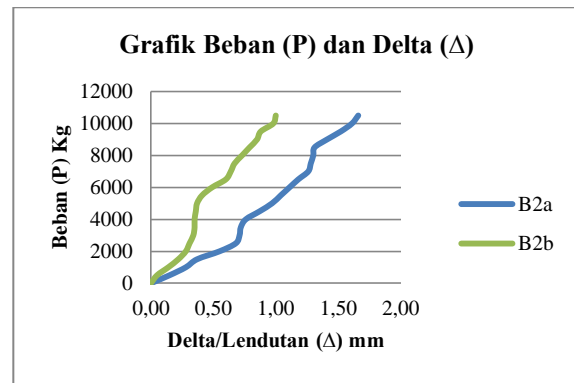
Benda Uji	Vn (ton)	Pq (ton)		i	
		Analisis	Eksperimen	Analisis	Eksperimen
B1a	2,00	3,94	9,50	137,82%	31,58%
B1b	4,71	9,37	12,50		
B2a	2,06	4,07	10,50	133,42%	0%
B2b	4,78	9,50	10,50		
B3a	3,96	3,96	10,50	137,12%	4,76%
B3b	4,72	9,39	11,00		

Tabel 6 Perbandingan lendutan serta kekakuan hasil analisis dan eksperimen

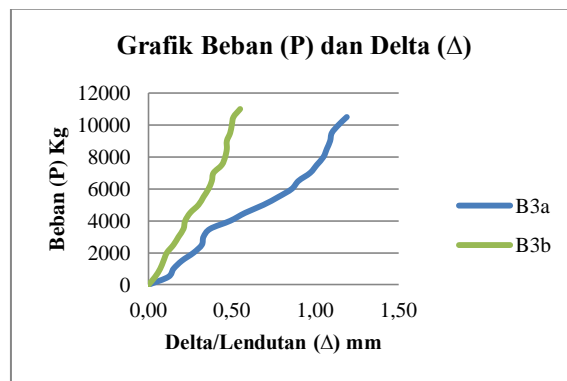
Benda Uji	P_{crack} (Ton)		Δ_{crack} (mm)		K (ton/mm)	
	Analisis	Eksperimen	Analisis	Eksperimen	Analisis	Eksperimen
B1a	1,56	2,50	0,21	1,28	7,38	1,95
B1b	1,56	3,00	0,21	0,61	7,38	4,92
B2a	1,62	2,00	0,21	0,55	7,77	3,64
B2b	1,62	2,50	0,21	0,31	7,77	8,06
B3a	1,57	2,50	0,21	0,32	7,45	7,81
B3b	1,57	3,00	0,21	0,18	7,45	16,67



Gambar 3 Grafik perbandingan P dan Δ Balok B1a dan B1b hasil eksperimen

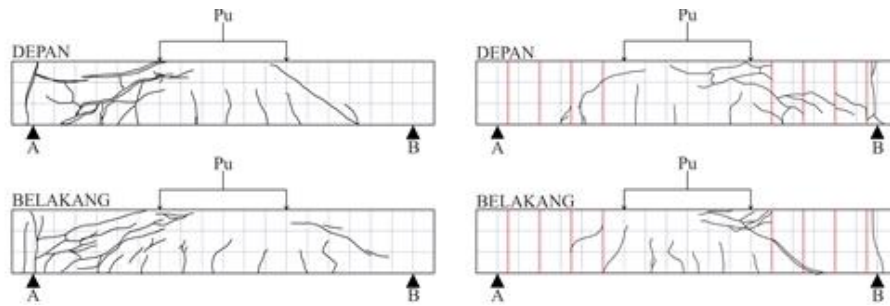


Gambar 4 Grafik perbandingan P dan Δ Balok B2a dan B2b hasil eksperimen



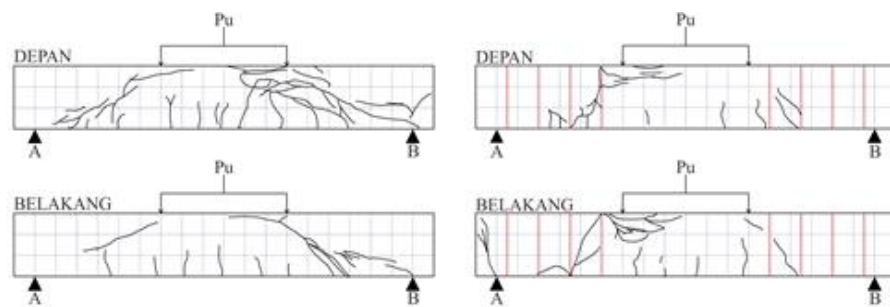
Gambar 5 Grafik perbandingan P dan Δ Balok B3a dan B3b hasil eksperimen

Pola retak dari pengujian lentur pada balok juga digambarkan untuk mengetahui perubahan pola retak yang terjadi. Adapun pola retak dari hasil pengujian balok digambarkan sebagai berikut:



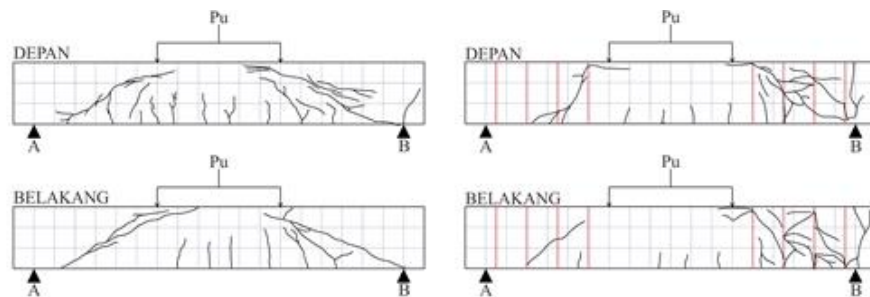
(a) Balok B1a; (b) Balok B1b;

Gambar 6 Pola retak B1a dan B1b



(a) Balok B2a; (b) Balok B2b;

Gambar 7 Pola retak B2a dan B2b



(a) Balok B3a; (b) Balok B3b;

Gambar 8 Pola retak B3a dan B3b

Pola retak yang terjadi pada balok tanpa perkuatan tulangan sengkang luar adalah kombinasi retak lentur dan retak geser, selain itu juga terjadi banyak retak didaerah tekan karena balok *over reinforced*. Sedangkan pada balok dengan perkuatan sengkang luar juga mengalami kombinasi retak geser, retak lentur dan juga retak pada daerah tekan, namun retak yang terjadi cenderung lebih jarang dan lebih sedikit daripada balok tanpa perkuatan sengkang luar. Pada balok dengan perkuatan sengkang luar B3b terjadi banyak retak didaerah tumpuan B karena pemasangan dari sengkang luar kurang baik yaitu pemasangan sengkang tidak *full* sehingga menyisakan coakan terbuka yang dapat menjadi titik kelemahan, selain itu juga karena pengaplikasian Epoxy sebagai lem antara tulangan sengkang dan beton tidak merata sehingga ketika balok dibebani ada sebagian sengkang yang terbuka atau lepas dari permukaan beton. Sehingga diharapkan jika memang akan digunakan pengaplikasian sengkang luar atau dilakukan penelitian lanjut tentang perkuatan balok menggunakan sengkang luar, perlu diperhatikan pemasangan tulangan sengkang yang benar-benar *full* mengisi coakan serta pengaplikasian Epoxy diharuskan merata agar tidak terjadi hal-hal seperti diatas.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan analisis menunjukkan bahwa apabila balok daerah geser diperkuat menggunakan sengkang luar $\emptyset 6-75$ pada kedua sisinya, maka balok tersebut mengalami peningkatan kapasitas beban geser yang besar yaitu 137,82%; 133,42% dan 137,12%. Sedangkan untuk hasil eksperimen peningkatan beban hanya berkisar 31,58%; 0% dan 4,76%, karena dari hasil perhitungan beban lentur memiliki kapasitas berkisar 8-10 ton. Sehingga walaupun kapasitas sengkang sudah terpenuhi, kemungkinan besar beton dan tulangan tarik masih mampu menahan beban yang diberikan. Untuk lendutan yang terjadi menurut hitungan analisis untuk balok tanpa perkuatan sengkang luar maupun balok dengan perkuatan sengkang luar sebesar 0,21 mm, untuk nilai lendutan memiliki nilai yang sama karena untuk perhitungan lendutan menggunakan parameter-parameter penampang saja tanpa menggunakan parameter sengkang. Untuk lendutan dari pengujian balok di laboratorium, pada balok tanpa perkuatan sengkang luar sebesar 1,28 mm; 0,55 mm dan 0,32 mm sedangkan lendutan pada balok dengan perkuatan sengkang luar lebih kecil dari pada balok tanpa perkuatan sengkang luar yaitu sebesar 0,61 mm; 0,31 mm dan 0,18 mm. Dapat disimpulkan bahwa dengan perkuatan sengkang luar maka balok cenderung lebih kaku.
2. Pola retak yang terjadi pada balok tanpa perkuatan tulangan sengkang eksternal (B1a, B2a dan B3a) merupakan kombinasi retak lentur dan geser, namun retak geser yang terjadi sangatlah besar hal ini terjadi karena kapasitas geser sengkang yang terpasang tidak memenuhi geser maksimal yang terjadi sehingga retak di daerah geser akan terus bertambah sampai balok daerah tarik mencapai kapasitasnya. Disisi lain rasio tulangan yang terpasang termasuk *over reinforced* sehingga sebelum beban lentur maksimal tercapai, balok didaerah tekan akan mencapai tegangan maksimal terlebih dahulu sehingga balok daerah tekan akan mengalami retak dan bertambah dengan retak akibat sengkang internal yang mencapai kapasitasnya. Sedangkan pada balok dengan penambahan tulangan sengkang eksternal (B1b, B2b dan B3b) dapat dilihat bahwa retak geser cenderung lebih sedikit dibandingkan retak geser pada balok tanpa perkuatan. Tetapi sama halnya, rasio tulangan yang terpasang termasuk *over reinforced* sehingga balok daerah tekan akan mencapai tegangan maksimal lebih dulu sebelum tulangan tarik leleh. Namun dengan penambahan sengkang apabila dilihat dari perhitungan analisis, kapasitas geser nominal yang dihasilkan memenuhi kapasitas geser yang dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Concrete Institute. 2003. *Control of Deflection in Concrete Structures*. ACI 435R-95. ACI Committee 435.
- Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Tata Cara Perhitungan Struktur BETON Untuk Bangunan Gedung*. SNI 03-2847-2013. Jakarta: BSN.
- Sesetty, Y. 2018. "Shear Rehabilitation of Reinforced Concrete Beams". https://www.researchgate.net/publication/322700956_Shear_rehabilitation_of_reinforced_concrete_beams. [Diakses pada 23 November 2018].