



Terbit *online* pada laman web jurnal : <http://jurnal.sttp-yds.ac.id>

SAINSTEK
(e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Struktur

Studi Eksperimental Balok Beton Bertulang Dengan dan Tanpa Sengkang

Dimas Arief Wicaksono^a, Reni Suryanita^b, Zulfikar Djauhari^c

^aJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

^bJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

^cJurusan Teknik Sipil Universitas Riau, Tampan, Pekanbaru 28292, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 10 Februari 19

Revisi Akhir: 17 Juni 19

Diterbitkan *Online*: 30 Juni 19

KATA KUNCI

Balok beton bertulang

Balok tanpa sengkang

Perilaku lentur balok

Pola retak

KORESPONDENSI

Telepon: "+62 821-6955-0095"

E-mail:

dimas.ariefwicaksono@student.unri.ac.id

A B S T R A C T

Gaya geser yang terjadi pada balok ditahan oleh ikatan antar material dan tulangan sengkang. Balok beton bertulang tanpa menggunakan sengkang akan mengalami perubahan kekuatan dan pola keruntuhan. Perubahan kekuatan dan keruntuhan terjadi karena penurunan kapasitas geser. Perubahan regangan dan tegangan yang terjadi perlu dianalisis lebih lanjut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis perubahan dan pengaruh yang terjadi akibat penurunan kapasitas geser balok beton tanpa sengkang. Benda uji yang digunakan adalah balok beton bertulang dengan lebar 10 cm, tinggi 20 cm, panjang 125 cm dan jarak tumpuan ke beban 50 cm. Tulangan yang digunakan berupa tulangan tekan diameter 8 mm dan tulangan tekan diameter 10 mm masing-masing sebanyak 2 buah. Pada balok dengan sengkang menggunakan sengkang dengan diameter 6 mm dan jarak antar sengkang 53,3 mm. Kuat tekan beton yang digunakan adalah 20 MPa. Penelitian dilakukan dengan analisis numerik menggunakan aplikasi Response-2000 dan Finite Element LUSAS V17. Sedangkan eksperimental dilakukan dengan pengujian lentur satu titik pembebanan. Analisis numerik menggunakan LUSAS diperoleh pembebanan lentur balok dengan sengkang maksimum sebesar 46,17 kN. Sedangkan pada balok tanpa sengkang beban lentur maksimum sebesar 43,76 kN. Gaya maksimum pada pembebanan lentur balok uji dengan sengkang 48,40 kN lebih besar daripada balok uji tanpa sengkang yaitu 45,90 kN. Berdasarkan hasil analisis numerik diperoleh bahwa balok uji tanpa sengkang memiliki kemiringan pola retak yang lebih besar dari pada balok dengan sengkang mendekati 45 derajat. Penurunan kapasitas geser penampang balok menyebabkan berubahnya resultan gaya sehingga pola keruntuhan berubah.

Terbit online pada laman web jurnal : <http://jurnal.sttp-yds.ac.id>**SAINSTEK**

(e-Journal)

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



1. PENDAHULUAN

Balok direncanakan untuk menahan tegangan tekan dan tegangan tarik yang diakibatkan oleh momen lentur yang bekerja pada balok tersebut. Momen lentur pada balok dapat mengakibatkan terjadinya tegangan tekan di atas garis netral penampang dan tegangan tarik di bawah garis netral penampang. Selain gaya lentur hal lain yang harus diperhatikan dalam perencanaan balok antara lain adalah kapasitas geser, defleksi, retak dan panjang penyaluran yang harus sesuai dengan persyaratan.

Balok merupakan komponen struktur yang menahan beban vertikal. Terdapat momen lentur dan geser di sepanjang balok. Reaksi geser pada balok yang terjadi ditahan oleh ikatan material penyusun beton dan dibantu oleh tulangan sengkang. Tanpa menggunakan tulangan geser, balok akan mengalami perubahan perilaku baik dari segi kekuatan dan pola keruntuhan. Pola retak yang terjadi pada benda uji akibat pembebahan dapat mengalami perubahan akibat perubahan kekuatan geser beton. Perubahan regangan dan tegangan yang terjadi perlu dianalisis lebih lanjut.

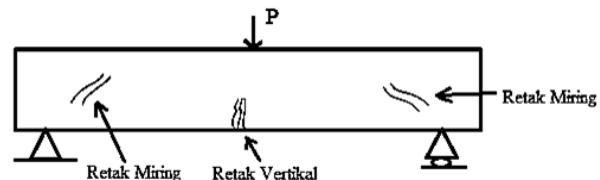
Analisis numeris dan eksperimental terhadap perubahan perilaku beton tanpa menggunakan sengkang perlu dilakukan untuk mengetahui secara signifikan perubahan yang terjadi pada sifat mekanis balok. Analisis numerik memberikan gambaran teoritis dan perkiraan perilaku balok dengan simulasi. Sedangkan analisis eksperimental memberikan gambaran nyata perilaku balok dengan pengujian di laboratorium. Analisis eksperimental juga berfungsi sebagai kontrol terhadap hasil perhitungan program analisis numerik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perilaku Balok Beton Bertulang

Perilaku balok beton bertulang ketika diberikan gaya berupa perilaku akibat lentur dan geser. Perilaku akibat lentur pada balok beton berupa terjadinya lendutan pada balok yang dibebani tegak lurus. Perilaku akibat geser yang terjadi pada balok dapat dilihat dari pola retak dan keruntuhan melintang yang terjadi ketika diberikan gaya.

Jika ada sebuah balok yang ditumpu secara sederhana (yaitu dengan tumpuan sendi-rol) kemudian di atas balok diberi beban cukup berat. Balok tersebut dapat terjadi dua jenis retakan berupa retak yang arahnya vertikal dan retakan yang arahnya miring. Retak vertikal terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan beban lentur sehingga biasanya terjadi pada daerah lapangan atau tengah bentang balok. Hal ini terjadi karena pada daerah ini timbul momen lentur paling besar. Retak miring terjadi akibat kegagalan balok dalam menahan gaya geser sehingga biasanya terjadi pada daerah ujung atau dekat tumpuan balok, karena pada daerah ini timbul gaya geser/gaya lintang paling besar.



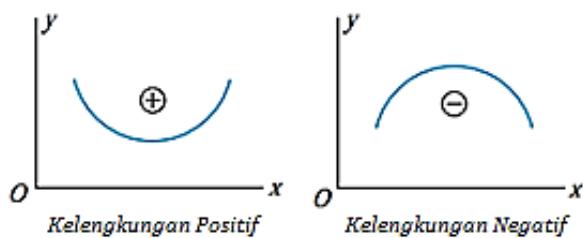
Gambar 1 Keruntuhan Lentur dan Geser pada Balok

2.1.1. Lendutan pada Beton Bertulang

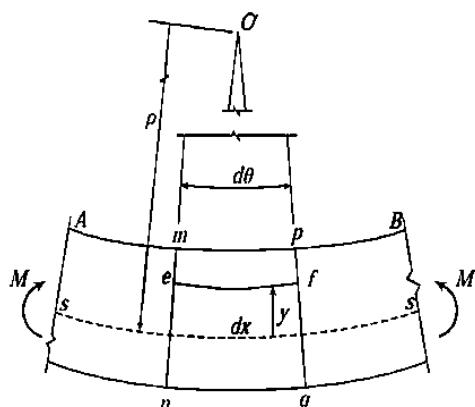
Lendutan pada beton terjadi karena adanya gaya yang bekerja tegak lurus terhadap balok. Gaya yang terjadi menyebabkan komponen balok bagian atas tertekan sedangkan komponen balok pada bagian bawah mengalami tarik. Besarnya lendutan yang dapat terjadi dipengaruhi oleh kekuatan komponen tarik dan komponen tekan pada beton yang terdiri dari beton yang diperkuat oleh tulangan baja.

2.1.2. Kelengkungan Balok (Curvature)

Akibat beban yang bekerja, suatu balok akan berubah bentuk menjadi suatu lengkungan. Regangan dan tegangan yang terjadi pada balok ini sebanding dengan kelengkungan (*curvature*) dari kurva defleksi. Nilai kelengkungan adalah positif jika balok cekung ke atas. Kemudian sebaliknya nilai Kelengkungan negatif apabila balok cekung ke bawah.



Gambar 2 Arah Kelengkungan Balok



Gambar 3 Kelengkungan pada Balok

Semakin besar lendutan yang terjadi maka jari jari kelengkungan akan semakin pendek sehingga kelengkungan semakin besar. Jika ρ adalah radius kelengkungan, dan κ adalah kelengkungannya, maka hubungan keduanya adalah sebagai berikut

$$\kappa = 1/\rho = d\theta/dx$$

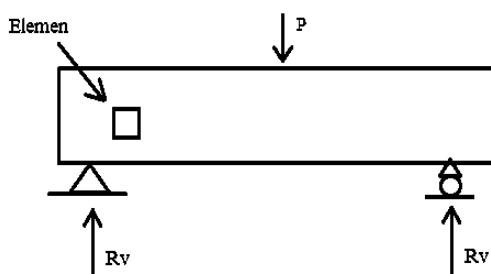
2.1.3. Jenis Keruntuan Lentur pada Balok Beton Bertulang

Terdapat dua jenis lentur yang dapat terjadi pada balok yang ditumpu secara sederhana yaitu lentur murni dan lentur biasa. Lenturan Murni (Pure Bending) Lenturan dihasilkan oleh kopel dan tidak ada gaya geser transversal yang bekerja pada batang. Balok dengan lenturan murni hanya mempunyai tegangan normal (tegangan lentur tarik dan tekan). Keadaan sebaliknya disebut dengan lentur tak seragam (non uniform bending) dimana balok memikul momen lentur disertai dengan gaya geser. Balok dengan lenturan biasa mempunyai tegangan normal dan tegangan geser.

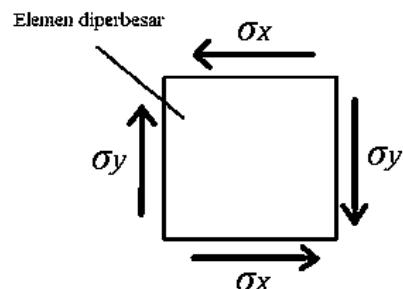
Keruntuan akibat lentur pada balok ditandai dengan terjadinya retak tegak lurus pada bagian tengah komponen tarik balok. Keruntuan terjadi karena gaya tarik yang bekerja pada komponen bawah balok. Proses retak lentur pada balok diawali dengan keruntuan beton yang tidak mampu lagi menahan tarik sementara tulangan baja masih menahan tarik yang terjadi.

2.1.4. Kuat Geser Pada Balok

Hampir semua elemen struktur dirancang untuk mampu menerima gaya-gaya luar. Elemen struktur akan memberikan perlakuan terhadap gaya-gaya luar yang terjadi berupa tegangan normal, tegangan lentur, tegangan torsii, dan tegangan geser. Pada balok di atas dua tumpuan, tegangan geser dan lentur timbul di sepanjang bagian balok yang menahan gaya luar yang terjadi di atas permukaan balok. Reaksi tumpuan dan gaya yang diberikan mengakibatkan geser antar material penyusun beton. Untuk mempermudah memahami geser yang terjadi pada elemen balok dapat dilihat pada gambar dibawah.



a) Elemen pada balok



b) Gaya pada elemen

Gambar 4 Geser pada Elemen Balok Sederhana

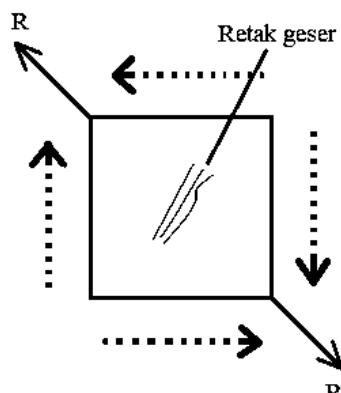
Arah reaksi vertikal ke atas, sehingga pada permukaan bidang elemen sebelah kiri terjadi gaya geser dengan arah ke atas pula. Karena elemen beton berada pada keadaan stabil berarti terjadi keseimbangan gaya vertikal pada elemen beton sehingga pada permukaan bidang elemen sebelah kanan timbul gaya geser ke bawah. Kedua gaya geser pada kedua permukaan bidang yaitu kiri dan kanan ini besarnya sama. Akibat gaya geser ke atas pada kedua permukaan bidang kiri dan gaya geser ke bawah pada permukaan bidang kanan maka pada elemen beton timbul momen yang arahnya sesuai dengan arah putaran jarum jam. Elemen beton berada pada keadaan stabil berarti terjadi keseimbangan momen pada elemen beton sehingga momen yang ada harus dilawan oleh momen lain yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan dengan arah putaran jarum jam. Momen lawan yang arahnya berlawanan dengan arah jarum putaran jam tersebut dapat terjadi jika ada permukaan bidang elemen

sebelah atas ada gaya geser dengan arah kiri dan pada permukaan bidang elemen sebelah bawah ada gaya geser dengan arah ke kanan.

2.1.5. Jenis Keruntuhan Geser Balok

Gaya geser balok terjadi melintang sejajar sumbu aksial balok. Pada balok di atas dua tumpuan, tegangan geser dan lentur timbul di sepanjang bagian balok yang menahan gaya luar yang terjadi di atas permukaan balok. Komposisi tegangan tersebut di suatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal, yang kemudian membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok.

Gaya geser ke atas pada permukaan bidang kiri dan gaya geser ke kiri pada permukaan bidang atas membentuk resultant gaya yang arahnya miring ke kiri-atas. Selain itu, gaya geser ke bawah pada permukaan bidang kanan dan gaya geser ke kanan pada permukaan bidang bawah juga membentuk resultant gaya yang arahnya miring ke kanan-bawah. Kedua resultant yang terjadi sama besarnya tetapi berlawanan arah dan saling tarik-menarik. Jika elemen beton tidak mampu menahan gaya tarik dari kedua resultant maka elemen beton akan retak dengan arah miring, membentuk sudut 45 derajat.



Gambar 5 Keruntuhan Geser Balok

3. METODOLOGI

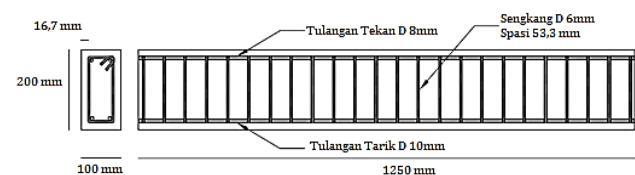
3.1. Menentukan Geometri Balok

Geometrik balok dalam penelitian menggunakan ukuran model yang digunakan pada penelitian yang dilakukan oleh Adriano (2018). Adapun ukuran dan spesifikasi balok yang digunakan adalah sebagai berikut:

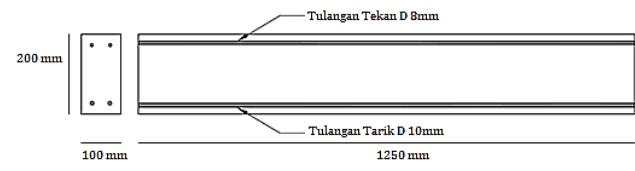
Tabel 1 Ukuran Skala Model Pada Balok Beton Bertulang (Adriano, 2018)

Parameter	Ukuran Model
Panjang Bentang	$l_m = 1250 \text{ mm}$
Lebar Balok	$B_m = 100 \text{ mm}$
Tinggi Balok	$H_m = 200 \text{ mm}$
Mutu Beton	$f'c_m = 20 \text{ mm}$
Modulus Elastisitas Beton	$Ec_m = 21019,04 \text{ Mpa}$
Modulus Elastisitas Baja	$Es_m = 200000 \text{ Mpa}$
Diameter Tulangan Tarik	$D_m = 10 \text{ mm}$
Diameter Tulangan Tekan	$D'_m = 8 \text{ mm}$
Diameter Sengkang	$Ds_m = 5,3 \text{ mm}$
Spasi sengkang	$S_m = 53,3 \text{ mm}$
Selimut Beton	$Cc_m = 16,7 \text{ mm}$

Karakteristik material yang digunakan adalah data material beton dan baja tulangan. Data ini diperoleh dari hasil pengujian material yang telah dilakukan. Adapun model benda uji adalah sebagai berikut:



a) Balok dengan sengkang



b) Balok tanpa sengkang

Gambar 6 Model Benda uji

3.2. Pembuatan Balok Uji

Pembuatan benda uji dimulai dengan pembuatan bekisting sesuai dengan dimensi yang telah direncanakan. Kemudian dilakukan perakitan tulangan dengan sengkang dan tanpa sengkang. Pekerjaan selanjutnya adalah membuat campuran beton. Material ditimbang sesuai dengan desain campuran beton (*mix design*). Material

yang telah ditimbang dimasukkan pada alat pengaduk beton (*concrete mixer*) hingga tercampur merata.



Gambar 7 Bekisting dengan Tulangan

Sebelum dilakukan pencetakan beton dilakukan pengujian slump suntuk mengetahui kemudahan pengerjaan dari campuran beton dan kontrol *slump* rencana dari *mix design*. Campuran beton segar dimasukkan kedalam cetakan *cone slump* dalam 3 lapisan dengan dipadatkan setiap lapisannya 25 tusukan.



Gambar 8 Pengujian Slump

Setelah pengujian slump dilaksanakan kemudian campuran beton dimasukkan kedalam cetakan balok dengan tulangan. Beton dimasukkan dalam 3 lapisan dengan dibantu alat penusuk dan pemukul karet untuk memastikan tidak ada rongga udara yang terperangkap.



Gambar 9 Pengisian Bekisting dengan Beton Segar

3.3. Perawatan Benda Uji

Perawatan beton bertujuan untuk menjaga suhu dan kelembaban beton agar tidak cepat kehilangan air hingga reaksi hidrasi optimum mencapai waktu *total setting*. perawatan dilakukan menggunakan karung goni yang dibasahi dengan air.



Gambar 2. 10 Perawatan (Curing) Benda Uji dengan Karung Goni Basah

3.4. Pengujian Perilaku Lentur Balok

Pengujian perilaku lentur balok dilakukan di Workshop PT. Harista Karsa Mandiri Jalan Parit Indah Pekanbaru, Riau. Pengujian dilakukan menggunakan metode pengujian balok sederhana satu titik pembebahan. Pembebahan dilakukan ditengah bentang dengan jarak antar tumpuan 1000 mm.

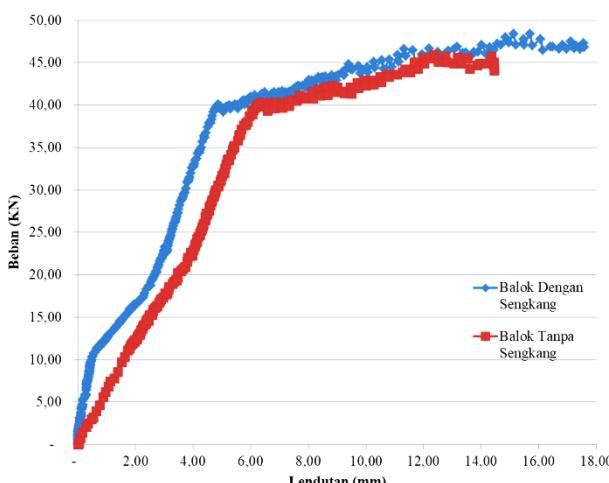
Pembebahan dilakukan dengan menggunakan dongkrak hidrolik. Instrumen pengukuran yang digunakan yaitu *LVDT* (*Linear Variable Differential Transducer*) dan *load cell*. *LVDT* digunakan untuk mengukur penurunan akibat lendutan yang terjadi. *Load cell* digunakan untuk mengukur beban yang diberikan. Selain pengukuran tersebut dilakukan pula pencatatan pola retak yang terjadi pada balok.



Gambar 11 Setting Alat Pengujian Perilaku Lentur

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Perilaku Lentur Eksperimental



Gambar 12 Grafik Beban vs Lendutan Pengujian Lentur

Dapat dilihat dari grafik di atas bahwa terdapat perbedaan antara beban dan lendutan pada beban maksimum yang terjadi pada Balok dengan dan tanpa sengkang. Tegangan leleh balok dengan sengkang diperoleh pada beban 40,10 kN dengan lendutan 4,86 mm. Tegangan leleh pada balok tanpa sengkang diperoleh pada beban yang hampir sama yaitu 40,20 mm tetapi dengan lendutan yang lebih besar yaitu 6,34 mm. Balok tanpa sengkang memiliki beban maksimum yang lebih kecil yaitu sebesar 45,90 kN dengan lendutan sebesar 12,38 mm. Sedangkan balok dengan sengkang memiliki beban maksimum sebesar 48,40 kN dengan lendutan sebesar 15,12 mm. Beban pada *load cell* setelah mencapai beban maksimum terus menerus turun ketika tekanan hydraulic jack di tambah akan tetapi lendutan terus bertambah. Pada kondisi ini balok dianggap sudah mengalami *failure* kemudian pengujian dihentikan dan diperoleh beban sebesar 44,10 kN dengan lendutan sebesar 14,46 mm pada balok tanpa sengkang. Sedangkan balok tanpa sengkang dihentikan

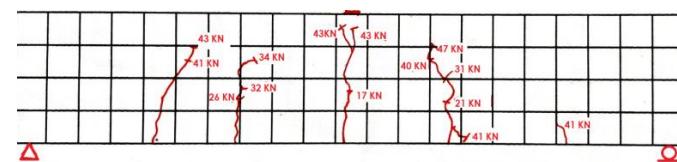
pada beban sebesar 46,80 kN dengan lendutan sebesar 17,58 mm.

Tabel 4. 1 Rangkuman Beban vs Lendutan Hasil Pengujian

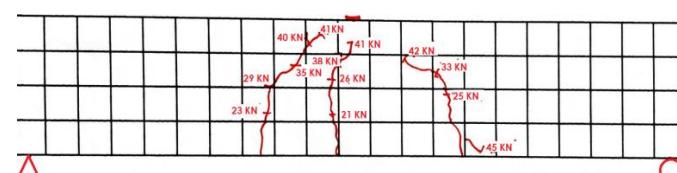
Uji	Kondisi Leleh		Kondisi Beban	
	Ultimate		Beban, kN	Lendutan, mm
	Beban, kN	Lendutan, mm	Beban, kN	Lendutan, mm
Dengan Sengkang	40,10	4,86	48,40	15,12
Tanpa Sengkang	40,20	6,34	45,90	12,38

4.2. Hasil Pola Retak Pengujian Lentur Balok Eksperimental

Pola retak dicatat saat pembebanan berlangsung pada kedua sisi balok. Gambar berikut menunjukkan pola retak yang terjadi pada kedua benda uji.

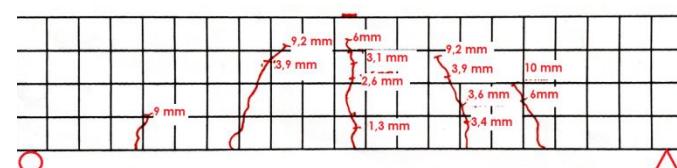


(a) Balok Dengan Sengkang

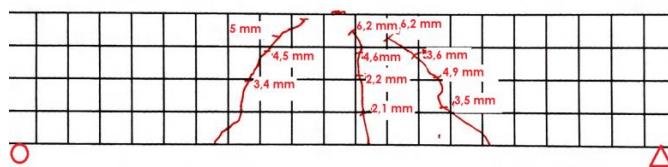


(b) Balok Tanpa Sengkang

Gambar 13 Perbandingan Sketsa Pola Retak Terhadap Beban



(a) Balok Dengan Sengkang



(b) Balok Tanpa Sengkang

Gambar 14 Perbandingan Sketsa Pola Retak Terhadap Beban

Berdasarkan pola retak yang terjadi dapat dilihat bahwa kemiringan jalur retakan pada balok tanpa sengkang lebih besar daripada balok dengan sengkang. Hal ini sesuai dengan hasil analisis yang dilakukan pada aplikasi *Response-2000*. Perbedaan kemiringan ini diperkirakan karena kapasitas geser yang lebih kecil pada balok tanpa sengkang, sehingga retak dipengaruhi gaya geser vertikal dan gaya geser horizontal.

Gaya geser vertikal adalah gaya geser akibat lentur dan gaya geser horizontal adalah geser akibat tegangan pada penampang balok. Gaya geser akibat lentur disebabkan gaya vertikal reaksi perletakan dan gaya vertikal akibat pembebanan. Sedangkan gaya geser pada penampang balok terjadi akibat tekan pada penampang atas balok dan tarik pada bagian bawah balok. Resultan gaya geser vertikal dan horizontal menghasilkan gaya geser dengan kemiringan tertentu sehingga pada balok tanpa tulangan geser kemiringan akan lebih besar.

Balok Tanpa Sengkang memiliki jalur retak yang lebih terkonsentrasi ditengah bentang. Hal ini dapat dilihat pada balok tanpa sengkang memiliki jalur retak yang lebih sedikit daripada balok dengan sengkang. Balok dengan sengkang memiliki 5 jalur retak sedangkan balok tanpa sengkang hanya memiliki 3 jalur retak.

Balok dengan sengkang mengalami first crack pada lendutan 1,3 mm pada saat beban 13,7 kN. Sedangkan balok tanpa sengkang mengalami first crack pada lendutan 2,1 mm dengan beban sebesar 13 kN. Hal ini menunjukkan retak terjadi lebih cepat pada balok tanpa sengkang, tetapi dengan lendutan yang lebih besar.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang diperoleh dari hasil pengujian lentur eksperimental adalah sebagai berikut:

- Balok tanpa sengkang memiliki beban maksimum yang lebih kecil yaitu sebesar 45,90 kN dengan lendutan sebesar 12,38 mm. Sedangkan balok dengan sengkang memiliki beban maksimum sebesar 48,40 kN dengan lendutan sebesar 15,12 mm.
- Tegangan leleh balok dengan sengkang diperoleh pada beban 40,10 kN dengan

lendutan 4,86 mm. Tegangan leleh pada balok tanpa sengkang diperoleh pada beban yang hampir sama yaitu 40,20 mm tetapi dengan lendutan yang lebih besar yaitu 6,34 mm.

- Berdasarkan pola retak yang terjadi dapat dilihat bahwa kemiringan jalur retakan pada balok tanpa sengkang lebih besar daripada balok dengan sengkang. Resultan gaya geser vertikal dan horizontal menghasilkan gaya geser dengan kemiringan tertentu sehingga pada balok tanpa tulangan geser kemiringan akan lebih besar.
- Balok dengan sengkang mengalami first crack pada lendutan 1,3 mm pada saat beban 13,7 kN. Sedangkan balok tanpa sengkang mengalami first crack pada lendutan 2,1 mm dengan beban sebesar 13 kN. Hal ini menunjukkan retak terjadi lebih cepat pada balok tanpa sengkang, tetapi dengan lendutan yang lebih besar.

Saran dari penelitian ini adalah

- Diperlukan analisis lebih lanjut mengenai perkuatan yang cocok jika menggunakan balok tanpa sengkang
- Diperlukan analisis lebih lanjut pada balok dengan ukuran prototipe.
- Balok sebaiknya menggunakan sengkang sebagai penahan geser melintang yang baik dan pengikat keruntuhan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada penelitian ini, kami ingin mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti atas pendanaan penelitian melalui Skema Penelitian Berbasis Kompetensi 2019. Semoga hasil penelitian yang didapatkan dapat memberikan kontribusi bagi riset dan teknologi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

Daftar Pustaka ditulis mengikuti format *IEEE style* berikut:

- [1] Institut Pertanian Bogor, *Diktat Kuliah Beton*. Bogor: Institut Pertanian Bogor, 2014
- [2] R. Adriano, "Analisis Perilaku Kerusakan Balok Beton Bertulang Pascabakar," *J. Online Mhs.*, vol. 5, pp. 1–6, 2018.
- [3] F. Azzahra, "Analisis Perilaku Geser dan Lentur Balok Berpenampang Bujur Sangkar Dengan dan Tanpa Sengkang," Universitas Andalas, 2017.
- [4] T. P. Rosady, "Studi Eksperimental Kekuatan Geser Balok Beton Bertulang Tanpa Sengkang dengan

Perkuatan Pelat Baja pada Sisi Balok,” Universitas Andalas, 2015.

NOMENKLATUR

ρ	jari jari kelengkungan
κ	kelengkungan balok
P	beban