

## EVALUASI KUAT GESER BALOK BETON BERTULANG SECARA EKSPERIMEN DAN ANALISIS NUMERIK

Tilka Fadli<sup>1</sup>, Maidiawati<sup>1</sup>, Rio Tri Eko Putra<sup>2</sup>, Fredi Desfiana<sup>3</sup>, Martinus Pramanata Sapeai<sup>4</sup>, dan  
Wydia Macofany Agustin<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Padang  
[tilkafadli@gmail.com](mailto:tilkafadli@gmail.com)

### ABSTRAK

Artikel ini memuat tentang kapasitas geser balok beton bertulang dengan kait sengkang 90° dan 135° berdasarkan hasil uji struktur dan analisis numerik. Untuk pengujian struktur dibuat 2 (dua) buah model balok beton bertulang dengan sengkang bentuk kait 90° dan balok dengan sengkang bentuk kait 135° yang merupakan representative dari balok yang umum dibuat pada bangunan beton bertulang.

Pengujian lentur dilakukan pada masing-masing model balok di atas dua tumpuan sederhana dengan dua buah beban terpusat (*four pint bending test*). Kapasitas geser masing-masing balok diberikan dalam bentuk hubungan antara beban geser dan lendutan. Sebagai hasilnya didapatkan bahwa balok dengan sengkang bentuk kait 90° dan 135° memiliki kekuatan geser yang tidak berbeda secara signifikan, namun balok yang memiliki sengkang kait 135° memiliki daktilitas yang lebih tinggi dari balok dengan sengkang kait 90°. Kapasitas geser balok diverifikasi melalui hasil analisis numerik dengan yang mendapatkan kekuatan geser dan daktilitas balok hasil analisis numerik yang cukup dekat dengan hasil pengujian struktur.

**Kata kunci:** *analisis numerik, metoda elemen hingga, ATENA, balok beton bertulang, kuat geser, kait sengkang*

### 1. PENDAHULUAN

Balok merupakan salah satu elemen penting dalam bangunan beton bertulang yang berperan dalam menahan beban terutama beban lentur dan beban geser. Balok beton bertulang merupakan komposit antara material beton dan tulangan yang terdiri dari tulangan utama disebut juga tulangan lentur dan tulangan sengkang disebut juga tulangan geser. Kapasitas balok beton bertulang akan ditentukan oleh kontribusi tulangan lentur untuk kapasitas lentur dan tulangan geser untuk kapasitas geser.

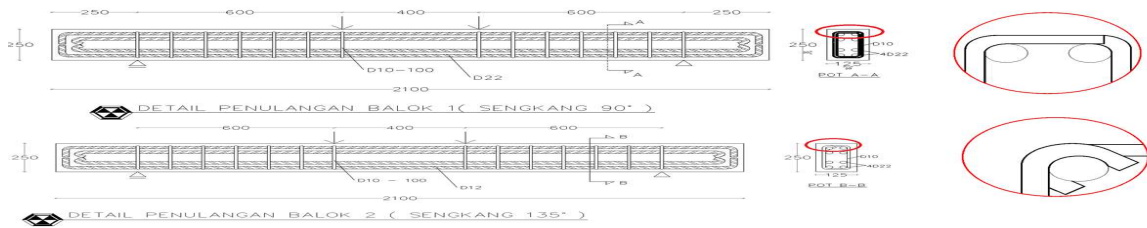
Secara teoritis kapasitas lentur dan geser balok didapat dengan persamaan empiris yang terdapat dalam standard beton bertulang SNI 2847 2002 dan ACI 318 11, dan secara laboratorium melalui uji lentur balok. Kapasitas lentur dan geser juga dapat ditentukan melalui analisis numerik dengan perangkat lunak komputer berbasis elemen hingga atau analisis penampang. Kapasitas geser balok beton bertulang melalui metoda-metoda tersebut diatas perlu dipelajari untuk melihat kedekatan dan kesamaan hasil teoritis dan analisis numerik dibandingkan dengan hasil pengujian. Penelitian ini dilakukan untuk melihat perbandingan kapasitas geser hasil uji lentur dan hasil analisis numerik untuk struktur balok beton bertulang yang memiliki sengkang kait 90° dan balok dengan sengkang kait 135°.

Pada struktur balok pemasangan tulangan sengkang telah diatur dengan baik dalam peraturan beton bertulang SNI 2847 2002 dan SNI 2847 2013. Namun dalam real pekerjaan tulangan balok pada bangunan beton bertulang terdapat 2 (dua) tipe bentuk kait sengkang yang banyak dilakukan yaitu balok dengan tulangan sengkang persegi dengan kait kait 90° dan dengan kait 135°. Maka dalam penelitian ini akan evaluasi kapasitas balok dengan sengkang kait 90° dan balok dengan sengkang kait 135°.

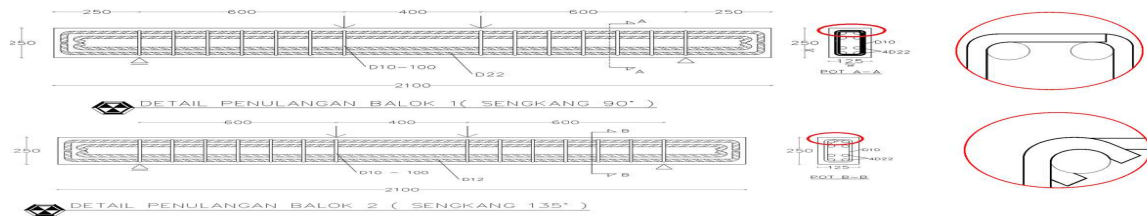
## 2. STUDI EKSPERIMEN

### Model struktur

Untuk penelitian ini dibuat 2 (dua) model balok beton bertulang yaitu balok dengan tulangan sengkang kait  $90^\circ$  disebut Balok I dan balok dengan tulangan sengkang kait  $135^\circ$  disebut Balok II. Kedua balok mempunyai ukuran yang sama yaitu panjang balok adalah 2100 cm, lebar 125 cm dan 250 cm untuk tinggi balok. Kedua balok juga menggunakan jumlah dan diameter tulangan yang sama, baik untuk tulangan longitudinal maupun tulangan sengkang. Tulangan longitudinal dipasang 4D22 untuk tulangan tekan dan 4D22 tulangan tarik. Untuk tulangan sengkang digunakan D10@100 mm. Bentuk geometri dan detail tulangan balok ditunjukkan dalam Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Geometri Balok dan Detail Tulang Sengkang  $90^\circ$



Gambar 2. Geometri Balok dan Detail Tulang Sengkang  $135^\circ$

### Material struktur

Kedua balok dibuat dan diuji di Labor Struktur dan Material Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas padang. Material beton menggunakan beton ready mix dari PT Igasar Semen Padang. Mutu material beton dan tulangan balok didapatkan melalui uji kuat tekan sample silinder beton dan uji tarik untuk tulangan dengan menggunakan alat Universal Testing Machine (UTM) seperti ditunjukkan dalam Photo 1(a) dan 1(b). Hasil uji kuat tekan beton didapatkan mutu beton,  $f_c' = 19.8$  Mpa dan tegangan leleh,  $f_y = 350$  Mpa dan  $f_y = 350$  Mpa masing-masing untuk tulangan longitudinal dan tulangan sengkang. Resume variabel benda uji dan mutu material ditunjukkan dalam Tabel 1.



(a) Uji tekan beton

(b) Uji tarik tulangan

Photo 1. Pengujian Mutu Beton dan Tulangan

Tabel 1. Variabel Benda Uji dan Mutu Material

Benda Uji	Variabel	Mutu beton $F_c'$ (Mpa)	Tegangan leleh $f_y$ (Mpa)	
			Tul. Pokok	Hoop
Balok I	Kait hoop 90°	19,8	350	350
Balok II	Kait hoop 135°	19.8	350	350

## Metoda pengujian

Pengujian struktur balok dilakukan di Laboratorium Struktur dan Material Teknik Sipil Universitas Andalas Padang. Sebelum pengujian struktur balok, alat benda uji diseting pada frame pengujian. Balok diangkat dengan forklift, diletakkan pada frame pengujian di atas 2 (dua) tumpuan dikedua ujung balok. 3 (tiga) buah LVDT untuk mengukur lendutan balok dipasang di tengah bentang balok. LVDT dihubungkan dengan data logger untuk mencatat lendutan yang terjadi. Load cell sebagai pemberi beban dipasangkan secara vertikal di atas *sprinder beam* (balok pembagi beban) yang diletakan di atas 2 (dua) tumpuan diatas balok. *Test sett up* pengujian balok ditunjukkan dalam Photo 2.



Photo 2. Test Sett up Pengujian.

Uji lentur dilakukan pada benda uji balok yang telah diseting pada frame pengujian, dengan memberikan beban vertikal melalui *load cell*. Pembebanan diberikan dengan menggunakan pompa *hydraulic jack* sehingga actuator bergerak mendorong load cell sekaligus memberikan gaya pada balok pembagi. Balok pembagi akan meneruskan beban melalui tumpuannya ke benda uji balok. Beban dinaikan secara konstan dan berkelanjutan setiap + 0,1 kN. Data logger akan mencatat besar beban yang bekerja pada balok dan lendutan yang terjadi disetiap tahap beban yang diberikan. Kerusakan dan retak yang terjadi pada balok disetiap tahap pembebanan ditandai dan diukur. Pembebanan terus dilanjutkan sampai benda uji mengalami keruntuhan dan tidak sanggup lagi menahan beban.

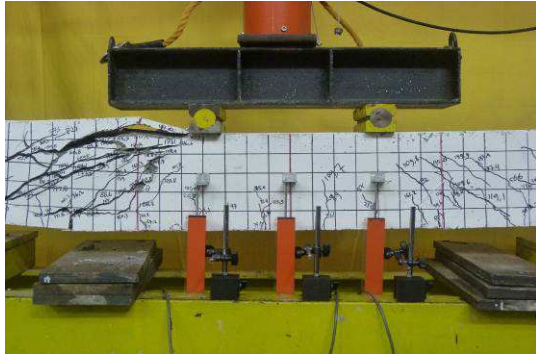
## Hasil pengujian

### Mekanisme keruntuhan balok Balok dengan kait sengkang 90°.

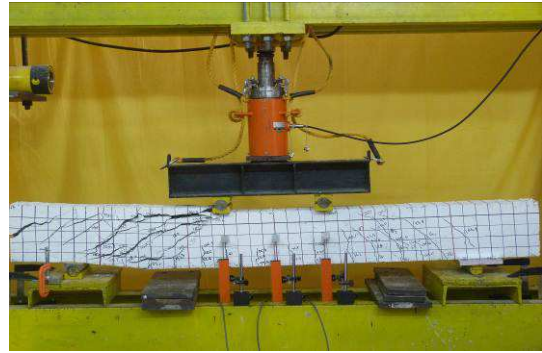
Dari pengujian didapatkan retak pertama terjadi pada beban 32 KN retak yang terjadi di daerah tengah bentang yang merupakan retak lentur. Penambahan beban terus diberikan menyebabkan retak lentur merambat perlahan menjadi retak geser yg berbentuk retak miring pada balok. Pada beban 188,5 KN balok mengelupas, dan pada beban 165,6 KN dengan lendutan yang terjadi 23,1 mm ditengah bentang pengujian dihentikan karna balok telah mengalami kehancuran dan terlihat pada Photo 3(a).

### Balok dengan kait sengkang 135°.

Pada balok dengan sengkang kait 135° retak pertama terjadi pada beban 26,3 KN retak yang terjadi di daerah tengah bentang disebut retak lentur. Ketika beban terus ditingkatkan retak lentur merambat perlahan menjadi retak geser yang berbentuk retak miring pada balok. Pada saat beban yang bekerja sebesar 200,9 KN balok mengelupas, dan pada beban 144,7 KN dengan lendutan yang terjadi 25,6 mm ditengah bentang pengujian dihentikan karena balok telah mengalami kehancuran. Bentuk retak balok dengan sengkang kait 135° ditunjukkan dalam Photo 3(b).



a) Balok I

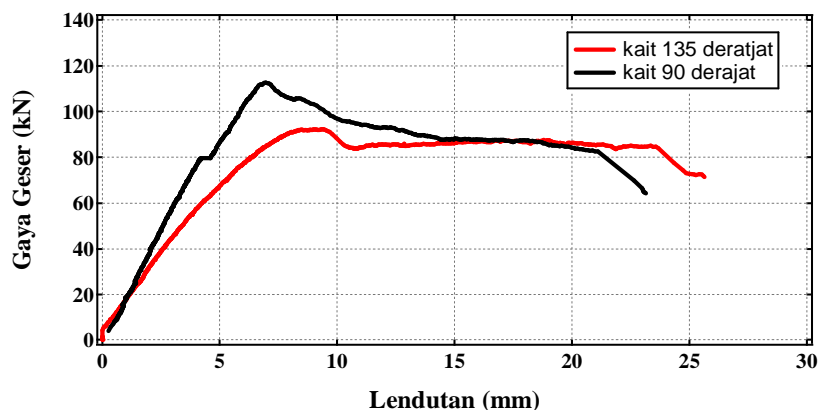


b) Balok II

Photo 3. Pola Retak Balok setelah Pengujian

### Hubungan antara beban dan lendutan.

Hubungan antara gaya geser dan lendutan ditengah bentang balok hasil uji lentur ditunjukkan dalam Gambar 3. Dari Gambar 3 terlihat beban maximum yang terjadi pada balok dengan sengkang kait 90° adalah 112,4 KN pada lendutan 6,98 mm sedangkan pada balok dengan sengkang kait 135° beban maximum yg terjadi adalah 91,8 KN pada lendutan 9 mm. Balok dengan sengkang kait 90° mengalami keruntuhan pada lendutan 23,1 mm sedang untuk balok dengan kait sengkang 135° keruntuhan terjadi dengan lendutan 25,6 mm seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Seharusnya ke dua balok minimal memiliki kekuatan geser yang sama, namun kekuatan geser pada balok dengan sengkang kait 135° lebih kecil dari balok dengan sengkang kait 90°, hal ini diasumsikan bahwa balok dengan sengkang kait 135° memiliki kualitas struktur tidak sebgus balok dengan sengkang kait 90° yaitu ditemukan adanya lobang-lobang kecil di balok dikarenakan pekerjaan pengecoran yang kurang sempurna. Namun dari gambar 3 dapat ditarik kesimpulan bahwa balok yang memiliki sengkang dengan kait 135° lebih mampu bertahan dengan lendutan yang lebih besar dari pada balok dengan sengkang kait 90°. Kait sengkang pada struktur balok berpengaruh terhadap kapasitas daktilitas struktur balok.

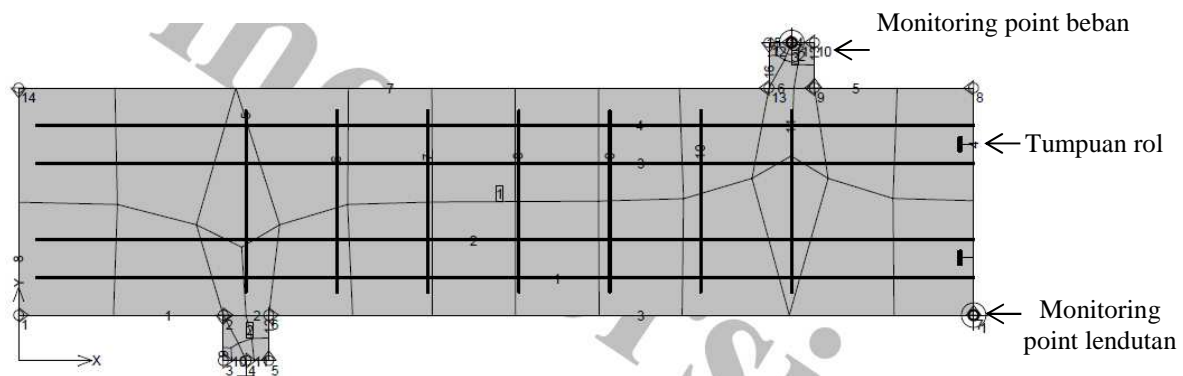


Gambar 3. Hubungan Gaya Geser dan Lendutan Hasil Uji Struktur

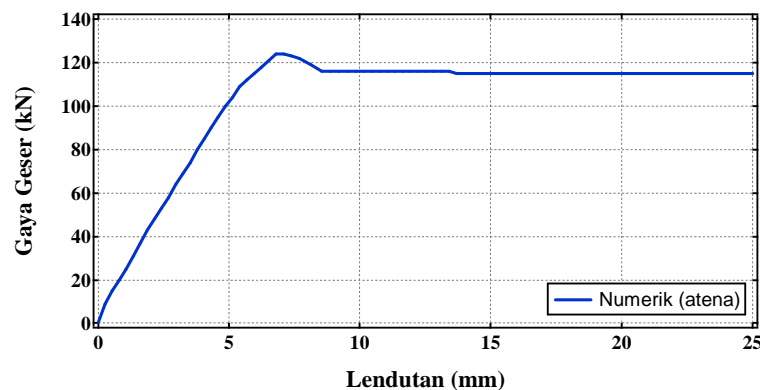
### 3. ANALISIS NUMERIK

Analisis numerik ini menggunakan bantuan perangkat lunak komputer berbasis elemen hingga ATENA (Cervenka, 2011). Model yang dianalisis yang digunakan adalah balok beton bertulang tanpa ada variasi kait sengkang dengan panjang balok adalah 2100 cm, lebar 125 cm dan 250 cm untuk tinggi balok seperti data model pada uji lentur. Data material struktur untuk beton mengikuti sifat nonlinieritas pemodelan konstitutif SBETA, sedangkan tulangan baja mengikuti model *Biliniler with Hardening* (Cervenka, 2011)

Permodelan balok pada elemen hingga (ATENA) hanya menggunakan setengah bentang balok, karena model balok bentuk simetris, dimana pada bagian balok yang terpotong diberi tumpuan rol seperti ditunjukkan dalam Gambar 4 (Bastian *at all.*, 2015). Pada tumpuan diberi kan tumpuan berupa tumpuan sendi. Untuk memonitoring pertambahan beban dan lendutan balok diberikan monitoring point pada node ditengah beban dan pada node pinggir balok seperti terlihat dalam Gambar 4. Hasil analisis numerik diberikan dalam bentuk hubungan gaya geser dan lendutan balok ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Pemodelan Balok dengan Simulasi Elemen Hingga



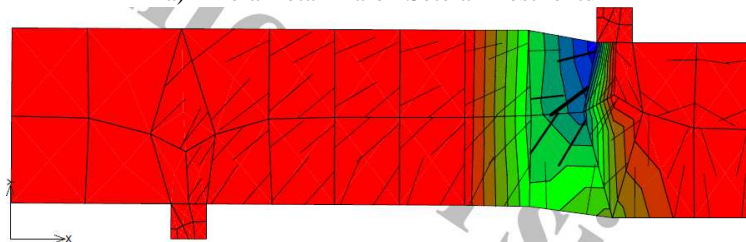
Gambar 5. Hubungan Gaya Geser dan Lendutan Hasil Analisis Numerik

### 4. PERBANDINGAN HASIL EKSPERIMEN DENGAN ANALISIS NUMERIK

Perbandingan bentuk retak balok hasil uji lentur dan analisis numerik elemen hingga diberikan dalam Gambar 6, yang menunjukkan bentuk retak yang sama dari kedua hasil test. Perbandingan kapasitas geser balok hasil pengujian struktur dan hasil analisis numerik ditunjukkan dalam Gambar 7. Dari Gambar 7 didapatkan bahwa kekuatan geser balok dari hasil analisis numerik cukup dekat dengan hasil pengujian balok dengan sengkang 90°. Demikian juga halnya dengan daktilitas balok sangat sesuai antara hasil numerik dengan hasil pengujian lentur seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Hal ini menyimpulkan bahwa analisis kapasitas geser dan daktilitas geser balok dapat dilakukan dengan secara numerik dengan bantuan komputer berbasis elemen hingga (ATENA).

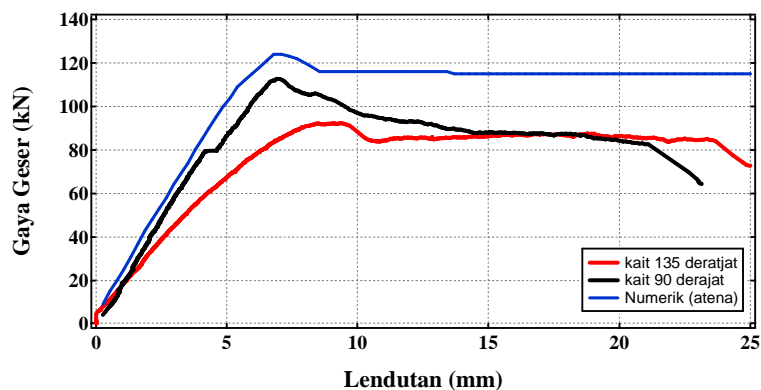


a) Pola Retak Balok Setelah Test lentur



b) Pola Retak Balok dengan Simulasi Numerik (ATENA)

Gambar 6. Perbandingan Pola Retak Balok hasil Uji lentur dan Analisis Elemen Hingga (ATENA)



Gambar 7. Perbandingan Gaya Geser dan Lendutan antara Hasil Pengujian dan Analisis Numerik

## 5. KESIMPULAN

Analisis kapasitas geser balok beton bertulang dengan kait sengkang  $90^\circ$  dan balok dengan sengkang kait  $135^\circ$  dilakukan secara uji lentur dan numerik menyimpulkan sebagai berikut:

1. Dari uji lentur pada balok dengan sengkang kait  $90^\circ$  dan balok dengan sengkang  $135^\circ$ , ditemukan retak pertama adalah retak lentur dan dengan pertambahan beban maka timbul retak geser pada balok dan terus berkembang yang menyebabkan balok runtuh secara geser.
2. Balok dengan sengkang kait  $90^\circ$  dan balok dengan sengkang kait  $135^\circ$  memiliki kekuatan geser yang tidak berbeda secara signifikan.
3. Balok dengan sengkang kait  $135^\circ$  memiliki kemampuan daktilitas yg lebih baik dibandingkan dengan balok tulangan sengkang kait  $90^\circ$ .
4. Analisis numerik dilakukan dengan bantuan komputer berbasis elemen hingga (ATENA) yang mendapatkan kekuatan geser dan daktilitas balok yang cukup dekat dengan hasil uji lentur balok.

### **DAFTAR PUSTAKA**

SNI 03-2847-2002, 2002 Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung (beta version)

SNI 2847:2013, 2013, Persyaratan beton structural untuk bangunan gedung, Badan Standars Nasional (BSN)

American Concrete Institute. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-11) and Commentary (ACI 318-11), 2011.

Bastian E., Thamrin. R, dan Tanjung J., 2015, Pengaruh perkuatan pelat CFRP terhadap perilaku tulangan tarik struktur balok beton bertulang, *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol. 11 No.1

Cervenka, V. Jendele, L. and Cervenka, J. 2011. ATENA Program Documentation Part 1, Theory, Prague, February 23. 2011.