

PENGARUH SUDUT SENGKANG MIRING PADA BALOK PENDEK  
TERHADAP POLA RUNTUH

Achmad David  
Bambang Sabariman

Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya,  
daveed\_ac@yahoo.com

**Abstrak**

Retak miring pada balok merupakan awal dari runtuh geser yang dominan terjadi pada balok pendek, dimana runtuhnya terjadi sangat tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda sebelumnya (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986). Oleh sebab itu, penulangan geser sangat diperlukan. Salah satu cara yang dapat dilakukan menurut teori adalah dengan memasang sengkang miring yang sangat jarang digunakan di lapangan. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap pola runtuhan.

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode uji labortorium. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa balok berjumlah 4 buah ukuran 10x16x130 cm untuk masing-masing variasi sudut sengkang 90°, 70°, 60°, dan 50°. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Unesa. Model pengujian pada penelitian ini menggunakan uji geser balok pendek ( $a/d=2$ ).

Hasil penelitian dengan menggunakan mutu beton  $f_c' = 19,16$  MPa, didapat Sudut sengkang miring pada balok pendek berpengaruh pada pola runtuhan. Semakin miring sudut yang digunakan ( mendekati 45°) maka semakin menambah kuat lentur, sehingga runtuh menjadi runtuh geser. Dengan semakin besar kuat lentur, maka semakin besar lendutan yang berdampak pada semakin banyaknya retak lentur, namun retak lentur tidak menerus, sehingga runtuh geser semakin nyata. Kuat geser aktual ( $V_u$ ) pada balok sudut sengkang 50° meningkat sebesar 34,85% terhadap sengkang vertikal, dan peningkatan kuat geser tulangan ( $V_s$ ) pada balok sudut sengkang 50° sebesar 40,88% terhadap sengkang vertikal. Momen retak awal ( $M_{cr}$ ) pada balok sengkang vertikal  $M_{cr}$  aktual= 3 kN, pada balok sudut sengkang 70°, 60°, dan 50°  $M_{cr}$  aktual= 3,15 kN. Lendutan pada beban yang sama (50kN) didapat lendutan pada sengkang miring lebih kecil hingga 17,6% dibanding sengkang vertikal. Pada lendutan yang sama sebesar 3,056 mm (sesuai syarat 1/360L) terjadi peningkatan beban sengkang miring sebesar 23,07% terhadap sengkang vertikal. Kuat geser ( $V_u$ ) dengan ditandai retak miring pada balok sudut sengkang 90° terjadi pada beban 33 kN dengan keruntuhan geser-lentur, balok sudut sengkang 70° terjadi pada beban 37 kN dengan keruntuhan geser, balok sudut sengkang 60° terjadi pada beban 40 kN dengan keruntuhan geser, dan balok sudut sengkang 50° terjadi pada beban 44,5 kN dengan keruntuhan geser.

Kata kunci : sengkang miring, kuat geser, pola runtuh.

**Abstract**

Cracked beam tilt at the beginning of the collapse of the dominant shear occurs in the short beam, where the collapse occurred very suddenly without any prior signs (Chu-Kia Wang and Charles G. Salmon, 1986). Therefore, shear reinforcement is needed. One way that can be done by the theory is pairing oblique shear reinforcement very rarely used in the practice. Therefore, the purpose of this study was to determine the influence of shear reinforcement oblique angle on the short beam to pattern collapse.

This research was conducted to labortorium test methods. Specimens used in this research consist of the beam consists of 4 pieces size 10x16x130 cm for each variation of angle cross bar 90°, 70°, 60°, and 50°. This research was conducted in the Concrete Laboratory of Civil Engineering Unesa. The testing model in this experiment using the short beam shear test ( $a/d= 2$ ).

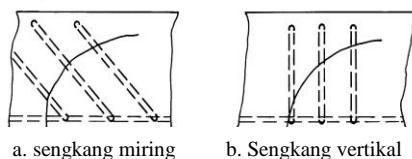
The results using the quality of concrete  $f_c' = 19,16$  MPa, obtained oblique angle cross bar on a short beam effect on the pattern collapse. Used increasingly oblique angle (approaching 45°) then progressively increased flexural strength, thereby collapsing into shear collapse. With greater flexural strength, the greater the impact on the deflection bending more and more cracks, but cracks are not constantly bending, thereby collapsing the real slide. Actual shear strength ( $V_u$ ) on the cross bar 50° beam angle increased by 34,85% of the vertical stirrups, and a strong increase in shear reinforcement ( $V_s$ ) at 50° beam angle cross bar for 40,88% of the vertical stirrups. Initial cracking moment ( $M_{cr}$ ) in the vertical beam stirrups actual  $M_{cr} = 3$  kN, the beam angle cross bar 70°, 60°, and 50°  $M_{cr}$  actual = 3,15 kN. Deflection at the same load (50kN) deflection obtained at oblique cross bar up to 17,6% smaller than the vertical stirrups. At the same deflection of 3,056 mm (as per the terms 1/360L) expenses increased by 23,07% slanted cross bar to vertical stirrups. Shear strength ( $V_u$ ) with marked crack tilted at 90° beam angle stirrups occurred at 33 kN load with flexure-shear failure, the beam angle of 70° occurs at the cross bar 37 kN load with shear failure, the beam angle of 60° occurs at the cross bar 40 kN load with shear failure, and the cross bar 50° beam angle occurred at 44,5 kN load with shear failure.

Keyword : oblique shear reinforcement, shear strength, pattern collapse.

## PENDAHULUAN

Retak miring pada balok merupakan awal dari runtuh geser yang dominan terjadi pada balok pendek, dimana runtuhnya terjadi sangat tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda sebelumnya (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986). Oleh sebab itu, penulangan geser sangat diperlukan. Perlu diperhatikan pula bahwa dalam struktur beton se bisa mungkin harus dihindari terjadinya runtuh geser. Ada beberapa cara yang dapat dilakukan:

1. Sengkang vertikal.
2. Jaringan kawat baja las yang dipasang tegak lurus dengan sumbu aksial.
3. Sengkang miring.
4. Tulangan spiral.



Gambar 1. Penulangan geser

Pengamanan yang dapat dilakukan diantaranya yaitu menyediakan sejumlah tulangan geser yang dibuat miring di dekat tumpuan untuk menahan gaya tarik tegak lurus terhadap retak tarik diagonal (retak miring) sehingga kemungkinan mampu mencegah retak lebih lanjut (runtuh geser). Belum diketahui bagaimana pengaruh sudut kemiringan dari sengkang miring terhadap tulangan tarik, oleh karena itu peneliti ingin mengetahui pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap pola runtuh dengan membuat beberapa balok uji yang divariasikan sudut sengkangnya.

Berdasarkan penelitian di lapangan, identifikasi masalah yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah bagaimanakah pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap pola runtuh?. Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap pola runtuh.

Menurut Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon (1986: 1) dalam bukunya: "Desain Beton Bertulang", menyatakan bahwa beton bertulang adalah gabungan logis dari dua jenis bahan yaitu beton polos yang memiliki kekuatan tekan tinggi akan tetapi kekuatan tarik rendah, dan batangan-batangan baja yang ditanamkan di dalam beton dapat memberikan kekuatan tarik yang diperlukan. Menurut Jack C. McCormac (2004: 75), sebelum mempelajari penurunan persamaan-persamaan balok, kita harus memahami istilah-istilah tertentu yang berhubungan dengan jumlah tulangan tarik yang digunakan pada suatu balok. Istilah-istilah ini meliputi perbandingan tulangan seimbang (*balanced steel ratio*), balok *under reinforced*, dan balok *over reinforced*.

Sebuah balok yang memiliki perbandingan tulangan yang seimbang adalah balok yang tulangan tariknya secara teoritis akan mulai meleleh dan beton tekannya

mencapai regangan ultimatum pada tingkat beban yang persis sama. Jika balok mempunyai lebih sedikit tulangan daripada yang diperlukan untuk suatu perbandingan seimbang, balok itu disebut *under reinforced*, jika jumlah tulangannya lebih banyak maka balok disebut *over reinforced*.

Jika sebuah balok berada dalam keadaan *under reinforced* dan beban ultimatum sudah hamper tercapai, baja akan mulai meleleh meskipun tegangan pada beton tekan masih belum mencapai tegangan ultimatnya. Jika beban terus diperbesar, baja akan terus memanjang sehingga mengakibatkan lendutan dan retak besar pada beton tertarik. Akibatnya, penggunaan struktur akan mengetahui bahwa beban harus dikurangi atau jika tidak, struktur akan rusak parah bahkan bisa runtuh. Jika beban ditingkatkan lebih jauh lagi, retak tarik akan menjadi lebih besar lagi dan pada akhirnya beton tekan akan mengalami kelebihan tegangan dan runtuh.

Jika balok dalam keadaan *over reinforced*, tulangan tidak akan meleleh sebelum keruntuhan terjadi. Ketika beban bertambah, tidak terjadi kelendutan meskipun beton tekan telah mengalami kelebihan tegangan, sehingga keruntuhan akan terjadi secara tiba-tiba tanpa peringatan bagi para pengguna struktur. Balok persegi akan runtuh pada daerah tekan ketika regangan yang terjadi sekitar 0,003 sampai 0,004 untuk beton mutu biasa. Sudah jelas, situasi *over reinforced* harus dihindari se bisa mungkin, dan peraturan ACI membatasi presentase tulangan tarik yang digunakan pada balok untuk menjamin agar suatu desain balok tetap *under reinforced*, sehingga jenis daktul dari keruntuhan akan memberikan "waktu menghindar" yang cukup.

Menurut Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon (1986: 127-129) Dari berbagai hasil eksperimen menunjukkan bahwa nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) ternyata merupakan faktor yang sangat berpengaruh dalam perencanaan kekuatan geser atau balok. Nilai banding tersebut menunjukkan perbedaan perilaku runtuh pada struktur beton.

### 1. Balok Tinggi ( $a/d \leq 1$ )

Untuk semua balok tinggi tegangan geser mempunyai pengaruh besar. Setelah terjadinya retak miring, balok ini berperilaku cenderung seperti pelengkung busur tekan dan tarik pada tulangan memanjang. Pola keruntuhan yang mungkin terjadi adalah:

- a. Keruntuhan angker, yaitu lepasnya tulangan tarik dari perletakan.
- b. Kehancuran di daerah perletakan.
- c. Keruntuhan lentur (flexural failure) yang timbul akibat hancurnya beton di bagian atas dari pelengkung atau akibat dari melelehnya tulangan tarik.
- d. Retak tarik diatas perletakan akibat tekan di dalam pelengkung.

2. Balok Pendek ( $1 < a/d \leq 2,5$ )

Seperti di dalam balok tinggi, balok pendek memiliki kekuatan geser yang melebihi kekuatan retak miring. Setelah retak lentur geser terjadi, retak merambat lebih jauh ke dalam daerah tekan dengan naiknya beban. Retak ini juga merambat sebagai suatu retak skunder menuju tulangan tarik dan kemudian menerus secara horizontal sepanjang penulangan tersebut. Keruntuhan yang terjadi adalah geser tarik (shear tension), geser tekan (retak miring).

3. Balok Biasa dengan Panjang Sedang ( $2,5 < a/d \leq 6$ )

Untuk balok dengan panjang yang sedang, retak lentur vertikal adalah retak yang pertama terbentuk, disusul dengan retak lentur-geser miring.

4. Balok Panjang ( $a/d > 6$ )

Keruntuhan dari balok panjang dimulai dengan melelehnya penulangan tarik dan diakhiri dengan kehancuran pada penampang dengan momen maksimum. Di samping retak lentur yang hampir vertikal, maka sebelum keruntuhan, retak yang sedikit miring kemungkinan terjadi di antara perletakan dan penampang dengan momen maksimum. Namun demikian, kekuatan daripada balok sepenuhnya tergantung kepada besarnya momen maksimum dan tidak dipengaruhi oleh besarnya gaya geser.

Menurut Suprapto dan Robby Tamba (2003: 32), yang dinamakan geser pada balok adalah geser lentur dan tarik diagonal. Namun yang paling membahayakan dalam perilaku runtuh adalah tarik diagonal atau retak miring, karena retak miring merupakan awal dari runtuh geser, dimana runtuhan terjadi sangat tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda sebelumnya. Berbeda dengan runtuh lentur yang tidak terjadi secara tiba-tiba serta ditandai dengan terjadinya lendutan yang semakin membesar dan terjadinya berjalan perlahan-lahan. Karena itulah dalam struktur beton sebisa mungkin harus dihindari terjadinya runtuh lentur. Oleh sebab itu, penulangan geser sangat diperlukan.

SNI 03-2847-2002 Pasal 23.4.4.6, untuk komponen-komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja, besarnya kapasitas geser untuk beton ( $V_c$ ) dinyatakan:

$$V_c = \left( \frac{1}{6} \sqrt{f'c} \right) b.d \quad \dots \dots \dots (1)$$

Atau menggunakan persamaan yang lebih teliti:

$$V_c = \frac{1}{7} \left( \sqrt{f'c} + 120 \rho_w \frac{V_u \cdot d}{M_u} \right) b.d \quad \dots \dots \dots (2)$$

dimana  $M_u$  adalah momen terfaktor yang terjadi pada saat gaya geser terfaktor maksimal ( $V_u$ ) dan:

$$\frac{V_u \cdot d}{M_u} \leq 1 \text{ dan } V_c \leq \sqrt{f'c} \cdot b.d \quad \dots \dots \dots (3)$$

di dalam peraturan disyaratkan:

$$V_u \leq \emptyset \cdot V_c \quad \dots \dots \dots (4)$$

dimana  $\emptyset = 0,6$ ; namun peraturan mengharuskan untuk selalu menyediakan penulangan geser minimal pada semua bagian struktur beton yang mengalami lenturan (meskipun menurut perhitungan tidak memerlukan), kecuali:

1. Plat dan pondasi plat

2. Balok yang tinggi totalnya tidak lebih dari 250 mm atau 2,5 kali tebal flens atau 1,5 kali lebar balok, diambil yang terbesar.

3. Tempat dimana dipenuhi nilai  $V_u < 1/2 \emptyset \cdot V_c$   
Sedangkan luas minimum tulangan geser diatur sebagai berikut:

$$A_v = 1/3 \frac{b \cdot s}{f_y} \quad \dots \dots \dots (5)$$

dimana :  $A_v$  = luas tulangan geser

$b$  = beban balok

$s$  = jarak tulangan geser dari as ke as

$f_y$  = mutu baja

Bila struktur beton memerlukan tulangan geser ( $V_u > \emptyset \cdot V_c$ ) dan besarnya gaya geser lebih dari  $1/2 \emptyset \cdot V_c$ , maka diwajibkan memasang tulangan geser sehingga harus dipenuhi:

$$V_u \leq \emptyset \cdot V_n \quad \dots \dots \dots (6)$$

dimana  $V_n = V_c + V_s$  adalah kuat geser minimal, dan  $V_s$  adalah kuat geser yang disediakan oleh tulangan geser, yang besarnya:

$$V_s = \frac{A_u \cdot f_y \cdot d}{s} \quad \dots \dots \dots (7)$$

Bila menggunakan konsep tegangan geser SNI 03-2847-2002 menyatakan bahwa tegangan geser:

$$v = \frac{V_u}{\phi b \cdot d} = \frac{\phi(V_s + V_c)}{\phi b \cdot d} = \frac{V_s + V_c}{b \cdot d} \quad \dots \dots \dots (8)$$

sedangkan untuk tulangan geser dengan sengkang miring, gaya geser tulangan dapat dihitung dengan persamaan:

$$V_s = A_v \cdot f_y \left( \sin \alpha + \cos \alpha \left( \frac{d}{s} \right) \right) \quad \dots \dots \dots (9)$$

bila  $\alpha = 45^\circ$ , maka:

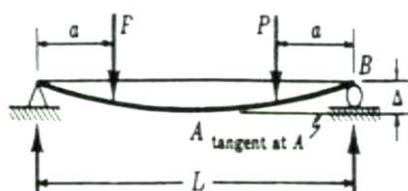
$$V_s = 1,414 \frac{A_u \cdot f_y \cdot d}{s} \quad \dots \dots \dots (10)$$

Pada SNI 03-2847-2002 Pasal 11.5.2.3 ditetapkan bahwa lendutan seketika dihitung dengan menggunakan nilai momen inersia efektif  $I_e$  berdasarkan persamaan berikut ini:

$$I_e = \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \cdot I_g + \left[ 1 - \left( \frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right] I_{cr} \leq I_g \quad \dots \dots \dots (11)$$

$M_{cr}$  dihitung dari rumus sebagai berikut:

$$M_{cr} = \frac{f_r \cdot I_g}{y_t} \quad \dots \dots \dots (12)$$



Gambar 2. Lendutan balok dengan dua beban terpusat

Menurut Edward G. Nawy (2010: 175), lendutan maksimum yang terjadi pada balok seperti pada kasus Gambar 2.5 dapat dihitung dengan:

$$\Delta = \frac{M}{24EI} (3L^2 - 4a^2) \quad .....(15)$$

## METODE

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

## 1. Benda uji

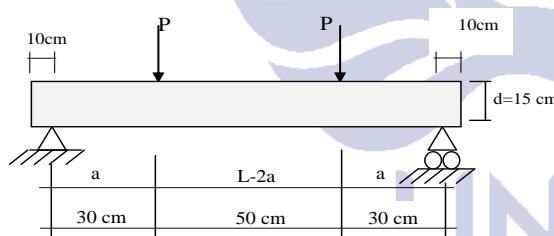
Benda uji yang akan digunakan sebagai obyek penelitian adalah balok beton bertulang dengan rencana campuran beton mutu 20 MPa yang dibuat dengan menggunakan molen. Ukuran balok 10 x 16 x 130 cm dengan tebal selimut beton 1 cm, menggunakan tulangan tarik  $3\varnothing 12$  dan sengkang miring berdiameter  $\varnothing 6-100$  untuk mendapatkan tipe penulangan *under reinforcement* yaitu kondisi dimana regangan baja akan mencapai leleh lebih dahulu sebelum regangan leleh beton untuk mendapatkan keruntuhan beton secara perlahan yang daktail. Variasi sudut sudut sengkang miring  $70^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $50^\circ$ , dan 1 balok sengkang vertikal sebagai pembanding dengan jarak antar sengkang 10 cm.

## 2. Jumlah benda uji

Benda uji berjumlah 4 buah balok (3 balok sengkang miring, dan 1 balok sengkang vertikal).

- a) 1 benda uji dengan tulangan tarik  $3\varnothing 12$  dan sengkang  $\varnothing 6-100$  dengan kemiringan sudut  $70^\circ$ .
  - b) 1 benda uji dengan tulangan utama  $3\varnothing 12$  dan sengkang  $\varnothing 6-100$  dengan kemiringan sudut  $60^\circ$ .
  - c) 1 benda uji dengan tulangan utama  $3\varnothing 12$  dan sengkang  $\varnothing 6-100$  dengan kemiringan sudut  $50^\circ$ .
  - d) 1 benda uji dengan tulangan utama  $3\varnothing 12$  dan sengkang  $\varnothing 6-100$  dengan sengkang vertikal.

Skema pembebaan menggunakan 2 beban terpusat dengan jarak masing-masing 30 cm dari tumpuan, untuk mendapatkan nilai  $a/d=2$  (balok pendek).



Gambar 3. Set up pengujian geser

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

1. Kuat tekan silinder beton.
  2. Kekuatan teoritik.
  3. Pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap kuat geser ( $V_u$ ).
  4. Pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap momen retak awal ( $M_{cr}$ ).
  5. Pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap lendutan ( $\Delta$ ).
  6. Pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap pola runtuh.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### A. Kuat Tekan Beton

Dari pengujian kuat tekan silinder beton 15x30 cm pada umur 7 hari didapatkan hasil seperti pada Tabel 1 berikut ini:

Tabel 1. Kuat tekan beton ( $f_c'$ )

No.	Identifikasi Benda Uji			Kuat Tekan (MPa)	Konversi Umur 28 hari (MPa)
Benda Uji	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gr)		
1	150	300	12524	12,45	19,15
2	150	300	12545	12,58	19,35
3	150	300	12490	12,34	18,98
Rata-rata kuat tekan					19,16

Dari Tabel 1 didapatkan hasil dari pengujian mutu beton ( $f_c'$ ) uji silinder umur 7 hari yang dikonversi ke umur 28 hari dengan nilai rata-rata mutu beton aktual  $f_c' = 19,16$  MPa, yang sebelumnya direncanakan menggunakan mutu beton rencana  $f_c' = 20$  MPa. Mutu beton aktual  $f_c' = 19,16$  MPa masih dapat digunakan, karena tidak merubah desain balok dengan rencana *under reinforced*.

### B. Kekuatan Teoritik

Dari analisis yang dilakukan didapatkan kekuatan teoritik seperti pada Tabel 2 berikut ini:

Tabel 2. Kekuatan teoritik benda uji

No. benda uji	Sudut sengkang	$M_n$ (kNm)	$M_{cr}$ (kNm)	$V_c$ (kN)	$V_s$ (kN)	$\Delta_t$ (mm)
1	90°	10,17	1,307	10,94	20,35	2,07
2	70°	10,17	1,307	10,94	26,08	2,07
3	60°	10,17	1,307	10,94	27,80	2,07
4	50°	10,17	1,307	10,94	28,67	2,07

Dari Tabel 2 didapat hasil bahwa pada benda uji sudut sengkang  $90^\circ$  mempunyai nilai momen nominal ( $M_n$ ) yang sama dengan benda uji dengan sengkang miring yaitu 10,17 kNm, ini karena semua benda uji menggunakan mutu beton, mutu baja, diameter tulangan, dan dimensi balok yang sama. Pada momen retak awal ( $M_{cr}$ ) benda uji sudut sengkang  $90^\circ$  mempunyai nilai sama dengan benda uji dengan sengkang miring yaitu 1,307 kNm, karena semua benda uji menggunakan mutu beton, dan dimensi balok yang sama.

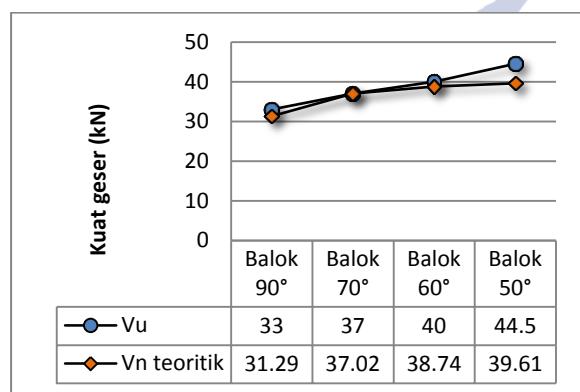
Dari perhitungan teoritik kuat geser beton ( $V_c$ ) semua benda uji mempunyai nilai yang sama yaitu 10,94 kN, karena semua benda uji menggunakan mutu beton, dan dimensi balok yang sama. Sedangkan untuk nilai kuat geser tulangan sengkang teoritik ( $V_s$ ) tidak sama, nilai kuat geser sengkang ( $V_s$ ) mengalami kenaikan. Pada balok sudut sengkang  $90^\circ$  didapat nilai 20,35 kN, balok sudut sengkang  $70^\circ$  didapat nilai 26,08 kN, balok sudut sengkang  $60^\circ$  didapat nilai 27,80 kN dan pada balok sudut sengkang  $50^\circ$  didapat nilai 28,67 kN. Nilai untuk lendutan teoritik ( $\Delta_t$ ) juga mempunyai nilai yang sama yaitu 2,07 mm karena lendutan dihitung pada saat momen nominal balok ( $M_n$ ).

### C. Pengaruh Sudut Sengkang Miring Pada Balok Pendek Terhadap Kuat Geser ( $V_u$ )

Dari pengujian kuat geser yang dilakukan didapat hasil seperti pada Tabel 3 dan Gambar 4 berikut ini:

Tabel 3. Kekuatan geser balok

Benda uji (sudut)	$V_s$ teoritik	$V_n$ teoritik	$V_u$	Kenaikan		
				% $V_s$ trhdpt BU1	% $V_n$ teoritik trhdpt $V_s$ $V_u$	% $V_u$ trhdpt actual BU 90°
				kN	%	%
90°	20,35	31,29	33	0	5,47	0
70°	26,08	37,02	37	28,16	-	12,12
60°	27,80	38,74	40	36,61	3,25	21,21
50°	28,67	39,61	44,5	40,88	12,35	34,85



Gambar 4. Kuat geser ( $V_n$ ) teoritik dan kuat geser ( $V_u$ ) aktual

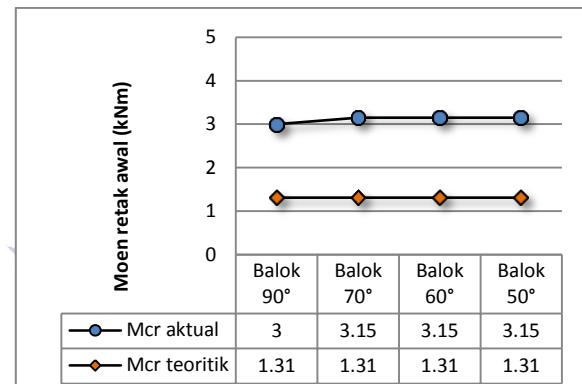
Dari Tabel 3 dan Gambar 4 didapat hasil bahwa sudut sengkang berpengaruh pada kekuatan geser balok secara teoritik dan pengujian lapangan. Dari perhitungan kuat geser secara teoritik balok sudut 90°, 70°, 60°, dan 50° berturut-turut mengalami kenaikan sebesar 33 kN, 37 kN, 44,5 kN, dan 52,93 kN. Kenaikan  $V_n$  teoritik terhadap  $V_u$  untuk balok sudut sengkang 90° mengalami kenaikan sebesar 5,47%, balok sudut sengkang 70° mengalami penurunan, balok sudut sengkang 60° mengalami kenaikan sebesar 3,25%, balok sudut sengkang 50° mengalami kenaikan sebesar 12,35%. Sedangkan kenaikan  $V_u$  terhadap benda uji 1 (sudut sengkang 90°), untuk balok sudut sengkang 70° mengalami kenaikan sebesar 12,12%, balok sudut sengkang 60° mengalami kenaikan sebesar 21,21%, dan balok sudut sengkang 50° mengalami kenaikan sebesar 34,85%.

### D. Pengaruh Sudut Sengkang Miring Pada Balok Pendek Terhadap Momen Retak Awal ( $M_{cr}$ )

Dari pengujian geser yang telah dilakukan, didapatkan hasil momen retak awal ( $M_{cr}$ ) seperti pada Tabel 4 dan Gambar 5 berikut ini:

Tabel 4. Momen retak awal ( $M_{cr}$ ) pada pengujian geser

Benda uji (Sudut)	$M_{cr}$	$M_{cr}$	$P_{cr}$	% $M_{cr}$	
	teoritik	aktual		thdp $M_{crak}$	thdp $M_{crak} 90^\circ$
90°	1,31	3	20	129,01	0
70°	1,31	3,15	21	140,46	5
60°	1,31	3,15	21	140,46	5
50°	1,31	3,15	21	140,46	5



Gambar 5. Retak awal teoritik ( $M_{cr}$ ) teoritik dengan kuat geser ( $V_n$ ) aktual

Retak awal pada pengujian geser terjadi karena balok sudah melampaui batas elastis beton. Dari Tabel 4 dan Gambar 5 dapat diketahui bahwa ada kenaikan kekuatan pada  $M_{cr}$  teoritik terhadap  $M_{cr}$  aktual di lapangan. Pada perhitungan teoritik retak awal balok ( $M_{cr}$ ), semua benda uji balok retak konstan pada beban 8,67 kN atau pada beban momen 1,31 kNm, ini dikarenakan semua benda uji berdimensi sama menggunakan mutu beton yang sama. Sedangkan hasil aktual di lapangan momen retak awal  $M_{cr}$  pada balok dengan sudut sengkang 90° terjadi pada beban 20 kN atau pada beban momen 3 kNm, untuk balok dengan sudut sengkang 70°, 60°, 50°, momen retak awal  $M_{cr}$  terjadi pada beban 21 kN atau pada beban momen 3,15 kNm. Perbedaan pada momen retak awal  $M_{cr}$  di lapangan dimungkinkan karena ada kesalahan pembacaan retak awal pada balok.

### E. Pengaruh Sudut Sengkang Miring Pada Balok Pendek Terhadap Lendutan ( $\Delta$ )

Pada pengujian geser yang dilakukan pada benda uji didapatkan hasil momen maksimum ( $M_{maks}$ ) pada Tabel 5, beban pada lendutan syarat pada Tabel 6 dan lendutan maksimum pada Tabel 7 dan Gambar 6 berikut ini:

Tabel 5. Momen maksimum ( $M_{maks}$ ) balok

Benda uji (sudut)	$P$	$M_n$	$M_m$	% $M_n$ teoritik thdp $M_m$ actual
		teoritik	actual	
90°	37,38	10,17	11,214	10,26
70°	42,45	10,17	12,735	25,22
60°	49,38	10,17	14,814	45,66
50°	52,93	10,17	15,879	56,14

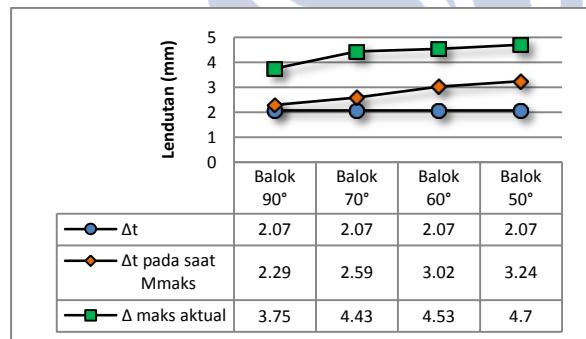
Tabel 6. Beban pada lendutan syarat

Benda uji (sudut)	$\frac{\Delta_{svarat}}{360} L$	P yang terjadi	% P yg terjadi terhadap BU 90°		
			mm	kN	%
90°	3,056	70,410	0		
70°	3,056	79,015	12,22		
60°	3,056	75,105	6,72		
50°	3,056	86,613	23,07		

Pada Tabel 6 didapatkan hasil beban  $P$  naik pada lendutan syarat (3,056mm), pada balok sengkang vertikal beban yang terjadi= 70,410 kN, sengkang sudut 70° beban= 79,015 kN, sengkang sudut 60° beban= 75,105 kN, sengkang sudut 50° beban= 86,613 kN.

Tabel 7. Lendutan maksimum pada pengujian geser

Benda uji (sudut)	Standar SNI (L=110cm)	P	$\Delta_t$	% $\Delta_t$		
			pada saat saaat aktual	$M_{max}$	pada saat thdp $M_{max}$	% $\Delta_{mak}$ thdp $\Delta_{mak}$ aktual
		mm	mm	mm	%	%
90°	3,056	37,38	2,29	3,75	63,76	0
70°	3,056	42,45	2,59	4,43	71,04	18,13
60°	3,056	49,38	3,02	4,52	49,67	20,53
50°	3,056	52,93	3,24	4,70	45,06	25,33



Gambar 6. Lendutan ( $\Delta$ ) pada balok

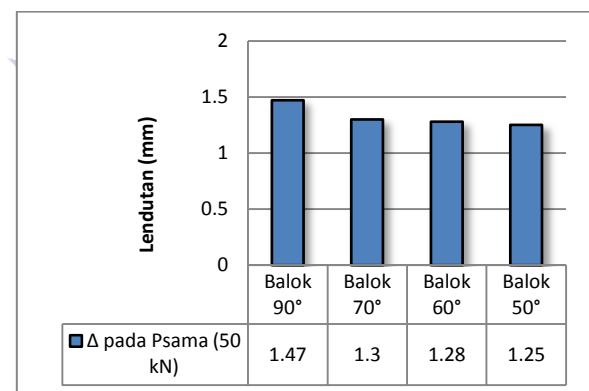
Pada Tabel 7 dan Gambar 6 didapatkan hasil bahwa lendutan pada benda uji mengalami pembesaran lendutan. Pada benda uji 1 sampai dengan 4 terlihat pembesaran lendutan hingga 25,33%. Dari perhitungan teoritik lendutan maksimum  $\Delta_t$  akan terjadi lendutan 2,07 mm, yang dihitung pada saat momen nominal balok teoritik ( $M_n$ ). Dari data di lapangan, lendutan maksimum aktual  $\Delta_{mak}$  pada balok sudut sengkang 90° terjadi lendutan sebesar 3,75 mm, balok sudut sengkang 70° terjadi lendutan sebesar 4,43 mm, balok sudut sengkang 60° terjadi lendutan sebesar 4,52 mm, balok sudut sengkang 50° terjadi lendutan sebesar 4,70 mm. Semakin besar kuat runtuh balok, semakin besar lendutan yang dihasilkan, artinya balok yang mempunyai kemampuan runtuh yang tinggi maka lendutan juga besar. Ini membuktikan bahwa balok tersebut lebih besar kemampuan menahan runtuh

karena mendapat kontribusi dari kuat geser tulangan  $V_s$ .

Lendutan yang terjadi pada balok dengan pembebanan yang sama pada setiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 8 dan Gambar 7 berikut ini:

Tabel 8. Lendutan di beban yang sama pada balok

Benda uji (sudut)	$P_{sama}$	$\Delta_{aktual}$ pada	% $\Delta_{aktual}$ thdp
		$P_{sama}$	$\Delta_{aktual}$ BU90° pada $P_{sama}$
90°	50	1,47	0
70°	50	1,30	13,08
60°	50	1,28	14,84
50°	50	1,25	17,6



Gambar 7. Lendutan di beban yang sama pada balok

Pada Tabel 8 dan Gambar 7 didapatkan hasil bahwa lendutan yang terjadi pada pembebanan yang sama menunjukkan penurunan nilai lendutan. Semakin besar kuat geser pada balok, maka semakin kecil lendutan yang dihasilkan. Penurunan lendutan pada beban yang sama menunjukkan balok yang mempunyai lendutan yang lebih kecil berarti mempunyai kekakuan yang lebih besar terhadap lendutan yang terjadi. Penurunan paling besar terjadi pada balok dengan sudut sengkang 50°, yakni sebesar 17,6% terhadap benda uji dengan sudut sengkang vertikal.

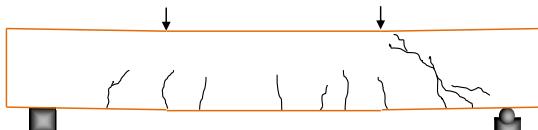
#### F. Pengaruh Sudut Sengkang Miring Pada Balok Pendek Terhadap Pola Runtuh

Pada pengujian geser yang dilakukan pada benda uji didapatkan retak miring pertama seperti pada Tabel 9 dan gambar pola runtuh penampang balok sebagai berikut:

Tabel 9 Beban pada retak miring pertama

Benda uji sudut	$V_n$ teoritik	$V_u$		Kenaikan	
		Retak miring pertama	% $V_n$ teoritik trhdp $V_u$	% $V_u$ trhdp $V_u$ BU1	%
	kN	kN	%	%	%
90°	31,29	33	5,47	0	
70°	37,02	37	-	12,12	
60°	38,74	40	3,25	21,21	
50°	39,61	44,5	12,35	34,85	

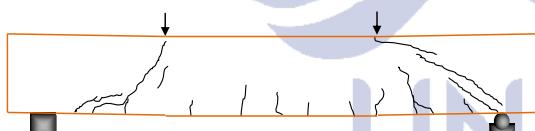
1. Balok uji dengan sudut sengkang  $90^\circ$



Gambar 8. Pola retak balok dengan sengkang sudut  $90^\circ$

Gambar 8 pada benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut  $90^\circ$  (vertikal), retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 20 kN dengan panjang retak 2 cm di bagian bawah balok berjarak 46 cm di sebelah kiri tumpuan (tumpuan sebelah kanan). Kemudian retak memanjang ke arah vertikal hingga 5 cm pada beban 65 kN. Timbul retak kedua pada beban 29 kN dengan panjang 2,5 cm sebelah kanan retak pertama berjarak 18 cm dari tumpuan yang merupakan awal dari retak miring akibat geser. Retak ke tiga pada beban 32 kN dengan panjang 5 cm berjarak 29 cm dari tumpuan. Retak keempat pada beban 34 kN dengan panjang 3 cm berjarak 10 cm sebelah kiri dari retak ke-tiga. Retak ke lima pada beban 38 kN dengan panjang 4 cm tepat di tengah bentang balok yang merupakan retak geser-lentur. Dengan bertambahnya beban dan retak terus bergerak vertikal pada beban 61 kN panjang retak pertama menjadi 7 cm, retak ke-tiga 17 cm, retak ke empat 18 cm, retak ke lima 12 cm. Timbul retak baru pada beban 66 kN 10 cm sebelah tumpuan dengan arah miring dengan sudut  $45^\circ$  dan bertemu dengan retak ke dua dengan panjang retak hingga hampir menyentuh titik pembebanan geser sebelah kanan, dan balok mengalami runtuh pada beban 74,76 kN dengan keruntuhan geser-lentur, ini menandakan bahwa geser balok kuat.

2. Balok uji dengan sudut sengkang  $70^\circ$

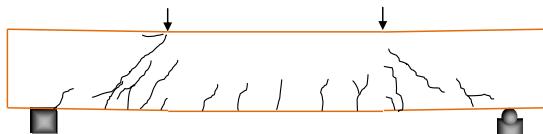


Gambar 9. Pola retak balok dengan sengkang sudut  $70^\circ$

Dari Gambar 9 pada benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut  $70^\circ$  retak awal pada pengujian geser terdapat retak pada beban 21 kN dengan panjang retak 4 cm di bagian bawah balok berjarak 35 cm di sebelah kiri tumpuan (tumpuan sebelah kanan). Timbul retak ke-dua pada beban 28 kN dengan panjang 4 cm sebelah kanan retak pertama berjarak 30 cm dari tumpuan. Retak ke tiga pada beban 34 kN dengan panjang 5 cm berjarak 18 cm dari tumpuan. Retak keempat pada beban 38 kN dengan panjang 4 cm berjarak 55 cm atau tepat di tengah bentang balok. Retak ke lima pada beban 40 kN dengan panjang 3 cm. Dengan bertambahnya beban dan retak terus bergerak vertikal pada beban 74 kN panjang retak

ke-dua menjadi 7 cm dan melengkung, retak ketiga 22 cm menuju titik pembebanan, retak ke empat menjadi 12 cm, retak ke lima menjadi 11 cm. Pada beban 74 kN ini, baru timbul retak miring akibat geser tinggi dan pada beban 84 kN retak miring bertambah dengan panjang retak dari tumpuan sampai pada titik pembebanan, dan keruntuhan yang terjadi adalah runtuh geser dikarenakan tulangan geser tidak kuat menahan beban.

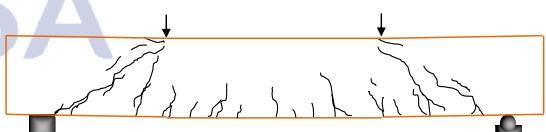
3. Balok uji dengan sudut sengkang  $60^\circ$



Gambar 10. Pola retak balok dengan sengkang sudut  $60^\circ$

Gambar 10 pada benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut  $60^\circ$ , retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 21 kN dengan panjang retak 3 cm di bagian bawah balok berjarak 45 cm di sebelah kanan tumpuan (tumpuan sebelah kiri). Timbul retak ke dua pada beban 30 kN dengan panjang 3 cm berjarak 22,5 cm dari tumpuan. Retak ke-tiga pada beban 31 kN dengan panjang 7 cm berjarak 54 cm dari tumpuan atau di tengah bentang. Retak ke-empat pada beban 34 kN dengan panjang 3 cm berjarak 37 cm sebelah kiri dari retak pertama. Retak ke lima pada beban 45 kN dengan panjang 5 cm berjarak 25 cm dari tumpuan. Dengan bertambahnya beban dan retak terus bergerak vertikal dan miring pada beban 80 kN, panjang retak pertama menjadi 9 cm, retak ke tiga menjadi 9 cm, retak ke empat menjadi 10 cm. Retak ke lima menjadi retak miring yang menuju titik pembebanan geser. Kemudian pada beban 98 kN balok mengalami runtuh geser karena tulangan geser tidak mampu menahan beban.

4. Balok uji dengan sudut sengkang  $50^\circ$



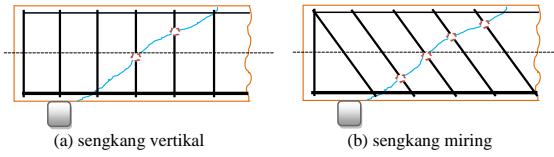
Gambar 11. Pola retak balok dengan sengkang sudut  $50^\circ$

Gambar 4.8 pada benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut  $50^\circ$ , retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 21 kN dengan panjang retak 5 cm di bagian bawah balok berjarak 41 cm di sebelah kanan tumpuan (tumpuan sebelah kiri). Timbul retak ke dua pada beban 27 kN dengan panjang 6 cm sebelah kanan retak pertama berjarak 54 cm dari tumpuan atau di tengah bentang akibat geser lentur. Retak ke tiga pada beban 29 kN dengan panjang 5 cm berjarak 21 cm dari tumpuan. Retak ke empat pada beban

35 kN dengan panjang 3 cm berjarak 30 cm sebelah kanan dari retak ke-tiga. Retak ke lima dan ke enam pada beban 38 kN dengan panjang 3 cm. Retak ke tujuh pada beban 40 kN dengan panjang 4 cm, dan retak ke delapan pada beban 43 kN dengan panjang 3 cm. Dengan bertambahnya beban dan retak terus bergerak vertikal pada beban 77 kN, panjang retak pertama menjadi 9 cm, retak ke-dua menjadi 8 cm, retak ke-tiga menjadi 16 cm menuju titik pembebaan, retak ke empat menjadi 7 cm, retak ke lima dan ke enam menjadi 6 cm, retak ke delapan menjadi 7 cm. Kemudian pada beban 89 kN, timbul retak miring akibat geser di tengah badan balok dengan panjang retak 4 cm, pada beban 101 kN retak tersebut bertambah dengan arah retak ke bawah menuju tumpuan, baru pada beban maksimum 105 kN retak tersebut memanjang ke arah titik pembebaan, dan keruntuhan yang terjadi adalah runtuh geser dikarenakan tulangan geser tidak kuat menahan beban.

Dapat disimpulkan bahwa retak yang ditimbulkan cenderung ke retak lentur geser dan retak geser. Retak yang terjadi pada pengujian geser mulanya vertikal kemudian pada beban tertentu arah retak berbelok miring. Kondisi ini menurut Dipohusodo (1999) merupakan retak geser lentur. Retak miring yang terjadi pada setiap benda uji berbeda. Retak yang terjadi pada geser lentur balok berbentuk retak gigi, jika antara retak mempunyai jarak yang semakin dekat maka terjadilah retak miring. Retak miring terjadi ketika balok telah melampaui retak lentur pada balok. Pada benda uji 1 (sudut sengkang 90°) sampai dengan benda uji 4 (sudut sengkang 50°) menunjukkan bahwa retak yang terjadi semakin banyak hingga yang banyak terjadi retak adalah benda uji 4 (sudut sengkang 50°). Banyaknya retak ternyata menandakan kekuatan balok, semakin terdapat banyak retak berarti balok mempunyai kekuatan yang lebih besar. Pada balok sudut sengkang 90° retak miring pertama terjadi pada beban 66 kN, balok sudut sengkang 70° pada beban 74 kN, balok sudut sengkang 60° pada beban 80 kN, dan balok sudut sengkang 50° pada beban 89 kN.

Retak miring berawal dari daerah tumpuan dan naik menuju titik pembebaan. Pada balok dengan sengkang vertikal, retak geser yang terjadi hanya melewati dua sengkang yang menahan retak, sedangkan pada balok dengan sengkang miring, retak geser melewati 4 sengkang yang tegak lurus terhadap retak dan menahan retak miring yang terjadi akibat arah tegangan tarik prinsipal dan lebih banyak memberikan sumbangannya perlawanannya terhadap retak miring dibandingkan dengan sengkang vertikal seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Perlawanan geser sengkang terhadap retak geser (retak miring)

Dari perhitungan teoritik juga didapat kekuatan geser tulangan balok 1 (sudut sengkang 90°) mempunyai kuat geser tulangan ( $V_s$ ) sebesar 20,35 kN; balok 2 (sudut sengkang 70°) mempunyai kuat geser tulangan ( $V_s$ ) sebesar 26,08 kN; balok 3 (sudut sengkang 60°) mempunyai kuat geser tulangan ( $V_s$ ) sebesar 27,80 kN; dan balok 4 (sudut sengkang 50°) mempunyai kuat geser tulangan ( $V_s$ ) sebesar 28,67 kN, dan balok dengan sudut sengkang 50° mempunyai kuat geser dan kuat runtuh terbesar.

## PENUTUP

### Simpulan

Dari analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sudut sengkang miring pada balok pendek berpengaruh pada pola runtuh. Semakin miring sudut yang digunakan (mendekati 45°) maka semakin menambah kuat lentur, sehingga runtuh menjadi runtuh geser. Dengan semakin besar kuat lentur, maka semakin besar lendutan yang berdampak pada semakin banyaknya retak lentur, namun retak lentur tidak menerus, sehingga runtuh geser semakin nyata.
2. Sudut sengkang miring pada balok pendek berpengaruh pada peningkatan kuat geser aktual ( $V_u$ ) pada balok sudut sengkang 50° sebesar 34,85% terhadap sengkang vertikal, dan berpengaruh juga pada peningkatan kuat geser tulangan ( $V_s$ ) pada balok sudut sengkang 50° sebesar 40,88% terhadap sengkang vertikal. Semakin miring sudut yang digunakan (mendekati 45°) maka semakin besar kuat geser yang dihasilkan balok.
3. Sudut sengkang miring pada balok pendek tidak berpengaruh pada momen retak awal ( $M_{cr}$ ) teoritik, sedangkan pada momen retak awal aktual berpengaruh. Pada balok sudut sengkang 90°  $M_{cr}$  aktual = 3 kN, pada balok sudut sengkang 70°, 60°, dan 50°  $M_{cr}$  aktual = 3,15 kN.
4. Sudut sengkang miring pada balok pendek berpengaruh pada lendutan ( $\Delta$ ). Pada beban yang sama (50kN) didapat lendutan pada sengkang miring lebih kecil hingga 17,6% dibanding sengkang vertikal. Pada lendutan yang sama sebesar 3,056 mm (sesuai syarat  $\frac{1}{360}L$ ) terjadi peningkatan beban sengkang miring sebesar 23,07% terhadap sengkang vertikal.
5. Pada saat beban runtuh, lendutan aktual sengkang miring lebih besar daripada sengkang vertikal, yaitu sebesar 25,33% terhadap sengkang vertikal.
6. Retak miring ( $V_u$ ) pada balok sudut sengkang 90° terjadi pada beban 33 kN dengan keruntuhan geser-lentur, balok sudut sengkang 70° terjadi pada beban

37 kN dengan keruntuhan geser, balok sudut sengkang  $60^\circ$  terjadi pada beban 40 kN dengan keruntuhan geser, balok sudut sengkang  $50^\circ$  terjadi pada beban 44,5 kN dengan keruntuhan geser. Untuk bentuk retak cenderung sama yaitu retak diawali dengan retak lentur kemudian dilanjutkan dengan retak geser-lentur, dan berakhir runtuh dengan timbulnya retak geser.

## Saran

Untuk kesempurnaan dalam penelitian selanjutnya, dengan ini peneliti mengharapkan:

1. Pada pengujian diharapkan ketelitian dalam pembacaan *dial gauge*.
2. Perlu ada penelitian lanjutan menggunakan variasi sudut lebih kecil dari  $50^\circ$ .
3. Perlu ada penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi nilai banding bentang geser (*a*) terhadap tinggi efektif (*d*).
4. Perlu penelitian lanjutan tentang pengaruh rasio luas tulangan ( $A_v$ ) terhadap kuat geser.

## DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2002. *SNI Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*.

Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon. 1986. *Desain Beton Bertulang Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.

Dipohusodo, Istimawan. 1999. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1977. *Peraturan Bangunan Nasional*. Bandung.

Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. 1989. *Peraturan Beton Indonesia*. Bandung.

Edward G. Nawy. 2010. *Beton Bertulang*. Surabaya: ITS Press.

McCormac, Jack. 2004. *Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.

Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Andi Offset.

Suprapto dan Robby Tamba. 2003. *Struktur Beton II*. Universitas Negeri Surabaya.

Tim. 2006. *Panduan Penulisan dan Penilaian Skripsi*. Surabaya: Unipres-Unesa.

W. H. Mosley dan J. H. Bungey. 1984. *Perencanaan Beton Bertulang Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.

Widodo. 2002. "Pengaruh Jarak Sengkang Spiral Terhadap Kekuatan Balok Ditinjau Dari Kuat Lentur Dan Geser". Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.