

JURNAL REKAYASA TEKNIK SIPIL

REKATS



UNESA

Universitas Negeri Surabaya



JURNAL ILMIAH TEKNIK SIPIL	VOLUME: 03	NOMER: 03	HALAMAN: 01 - 11	SURABAYA 2015	ISSN: 1271-2012
-------------------------------	---------------	--------------	---------------------	------------------	--------------------

JURUSAN TEKNIK SIPIL-FAKULTAS TEKNIK-UNIVERSITAS NEGERI SURABAYA.

TIM EJOURNAL

Ketua Penyunting:

Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T

Penyunting:

1. Prof.Dr.E.Titiek Winanti, M.S.
2. Prof.Dr.Ir.Kusnan, S.E,M.M,M.T
3. Dr.Nurmi Frida DBP, MPd
4. Dr.Suparji, S.Pd,M.Pd
5. Dr.Naniek Esti Darsani, M.Pd
6. Dr.Erina,S.T,M.T.
7. Drs.Suparno,M.T
8. Drs.Bambang Sabariman,S.T,M.T
9. Dr.Dadang Supryatno, MT

Mitra bestari:

1. Prof.Dr.Husaini Usman,M.T (UNJ)
2. Prof.Dr.Ir.Indra Surya, M.Sc,Ph.D (ITS)
3. Dr. Achmad Dardiri (UM)
4. Prof. Dr. Mulyadi(UNM)
5. Dr. Abdul Muis Mapalotteng (UNM)
6. Dr. Akmad Jaedun (UNY)
7. Prof.Dr.Bambang Budi (UM)
8. Dr.Nurhasanyah (UP Padang)
9. Dr.Ir.Doedoeng, MT (ITS)
10. Ir.Achmad Wicaksono, M.Eng, PhD (Universitas Brawijaya)
11. Dr.Bambang Wijanarko, MSi (ITS)
12. Ari Wibowo, ST., MT., PhD. (Universitas Brawijaya)

Penyunting Pelaksana:

1. Drs.Ir.Karyoto,M.S
2. Krisna Dwi Handayani,S.T,M.T
3. Agus Wiyono,S.Pd,M.T
4. Eko Heru Santoso, A.Md

Redaksi:

Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya

Website: tekniksipilunesa.org

Email: REKATS

DAFTAR ISI

Halaman

TIM EJOURNAL.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
• Vol 3 Nomer 3/rekat/15 (2015)	
PENGARUH NILAI BANDING BENTANG GESER (a) TERHADAP TINGGI EFEKTIF (d) PADA BALOK DENGAN SENGGANG MIRING DITINJAU DARI KUAT LENTUR DAN GESER <i>Yasril Mahendra Al Ayyubi, Bambang Sabariman ,</i>	01 - 11



UNESA
Universitas Negeri Surabaya

PENGARUH NILAI BANDING BENTANG GESER (a) TERHADAP TINGGI EFEKTIF (d) PADA BALOK DENGAN SENGGANG MIRING DITINJAU DARI KUAT LENTUR DAN GESER

Yasril Mahendra Al Ayyubi

Pendidikan Teknik Bangunan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya,
Yazrel_mahendra@yahoo.co.id

Abstrak

Faktor yang mempengaruhi perilaku dan kekuatan geser balok beton bertulang dengan tumpuan sederhana sangat banyak. 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 pada balok. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring ditinjau dari kuat lentur dan geser.

Penelitian ini dilaksanakan dengan metode uji laboratorium. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa balok berjumlah 6 buah untuk masing-masing variasi rasio bentang geser dan tinggi efektif (a/d). Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil Unesa. Model pengujian pada penelitian ini menggunakan uji geser balok ($1 < a/d < 6$).

Hasil penelitian dengan menggunakan mutu beton (f_c') = 19,57 MPa, didapat nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok berpengaruh pada kuat lentur dan geser. Semakin besar nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok maka semakin menambah kekuatan momen lentur dan mengurangi kekuatan geser tekan. Kuat geser aktual (V_u) pada model benda uji BLK1 meningkat sebesar 125,75% terhadap BK, dan peningkatan kuat geser tulangan (V_s) pada model benda uji BLK1 sebesar 63,19% terhadap BK. Momen retak awal (M_{cr}) pada model benda uji BK M_{cr} aktual = 3,5 kN, pada model benda uji BLK1 M_{cr} aktual = 1,56 kN, BLK2 M_{cr} aktual = 5,01 kN, BLK3 M_{cr} aktual = 7,51 kN, BLK4 M_{cr} aktual = 10,01 kN dan BLK5 M_{cr} aktual = 12,52 kN. Lendutan pada beban yang sama (17,88kN) didapat lendutan pada BLK 4 lebih kecil hingga 26,13% dibanding BK. Kuat geser (V_u) pada model benda uji BLK1 terjadi pada beban 58,11 kN dengan keruntuhan geser-lentur, pada model benda uji BLK2 terjadi pada beban 58,11 kN dengan keruntuhan geser-lentur, pada model benda uji BLK3 terjadi pada beban 49,17 kN dengan keruntuhan geser-lentur pada model benda uji BLK4 terjadi pada beban 44,7 kN dengan keruntuhan geser-lentur pada model benda uji BLK5 terjadi pada beban 40,23 kN dengan keruntuhan geser-lentur, pada model benda uji BK1 terjadi pada beban 27,21 kN dengan keruntuhan geser-lentur.

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

Abstract

Factors that influence the behavior and shear strength of reinforced concrete beams with a simple supported very much. According to Chu-Kia Wang and Charles G. Salmon (1986: 127-129) of various experimental results indicate that the shear span appeal (a) against the effective height (d) proved to be a very influential factor in the planning of the shear force on beam. the purpose of this study was to determine the effect of shear span comparative value (a) of the effective height (d) on the beam with a oblique shear reinforcement in terms of flexural strength and shear.

This research was conducted with the test methods labs. Specimens used in this study a beam amounted to 6 pieces for each variation of shear span ratio and high effective (a / d). This research was conducted at the Laboratory of Civil Engineering Department of Surabaya in Concrete. Model testing in this study using beam shear test ($1 < a / d < 6$).

The results results using concrete quality (f_c') = 19.57 MPa, obtained value appeal shear span (a) of the effective height (d) the effect on the beam flexural strength and shear. The greater the shear span appeal (a) against the effective height (d) on the beam, the more add strength and reduce the bending moment shear strength press. The actual shear strength (V_u) on the test object models BLK1 increased by 125.75% against BK, and a strong increase in shear reinforcement (V_s) on the test object models BLK1 by 63.19% against BK. Cracking moment early (M_{cr}) on the test object models BK actual M_{cr} = 3.5 kN, on the model of the test object BLK1 actual M_{cr} = 1.56 kN, BLK2 actual M_{cr} = 5.01 kN, BLK3 actual M_{cr} = 7.51 kN, M_{cr} BLK4 actual = 10.01 kN and BLK5 actual M_{cr} = 12.52 kN. Deflection at the same load (17,88kN) obtained BLK deflection on a smaller 4 to 26.13% compared to BK. Shear strength (V_u) on the test object models BLK1 occur at 58.11 kN load with shear-bending collapse, on the model of the test object BLK2 occur at 58.11 kN load with shear-bending collapse, on the model of the test object BLK3 occurs in the load 49 , 17 kN with shear failure-bending test object model BLK4 occurred in 44.7 kN load with shear failure-bending test object model BLK5 occurred at 40.23 kN load with shear-bending collapse, on the model of the test object GB1 occur in 27.21 kN load with shear-bending collapse

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

PENDAHULUAN

Sebagai elemen balok, beton bertulang harus diberikan penulangan yang berupa penulangan lentur (penulangan memanjang) dan penulangan geser, penulangan lentur digunakan untuk menahan pembebanan momen lentur yang terjadi pada balok, sedangkan penulangan geser digunakan untuk menahan pembebanan geser (gaya melintang) yang terjadi pada balok.

Faktor yang mempengaruhi perilaku dan kekuatan geser balok beton bertulang dengan tumpuan sederhana sangat banyak dan kompleks serta tidak seluruhnya bisa dipahami. Faktor-faktor tersebut termasuk ukuran dan bentuk penampang balok, jumlah dan susunan penulangan lentur, penulangan tekan dan rasio bentang geser terhadap tinggi efektif balok (a/d) serta sifat-sifat beton dan bajanya sendiri

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 pada balok. Nilai banding tersebut menunjukkan perbedaan perilaku runtuh pada struktur beton. Oleh sebab itu, penulangan geser sangat diperlukan. Perlu diperhatikan pula bahwa dalam struktur beton sebisa 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 miring dengan membengkokkan tulangan utama
5. Tulangan spiral.

Belum diketahui bagaimana pengaruh nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) menggunakan sengkang miring dengan tujuan untuk mencegah runtuh geser tarik dan runtuh geser tekan pada balok.

Berdasarkan uraian diatas untuk itu peneliti ingin meneliti seberapa besar pengaruh nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring ditinjau dari kuat lentur dan geser.

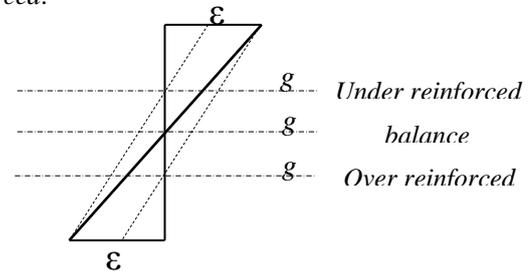
Beton Bertulang

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.

Balok Under Reinforced dan 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 ultimat 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*.



Gambar 1. Variasi letak garis netral

Pola runtuh balok

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. (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986: 127-129). Nilai banding tersebut menunjukkan perbedaan perilaku runtuh pada struktur beton.

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

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

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.

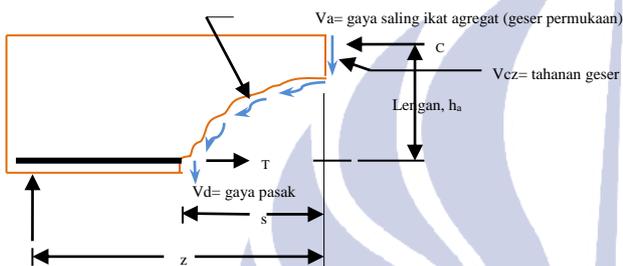
4. Balok Panjang ($a/d > 6$)

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 masimum. Namun demikian, kekuatan daripada balok sepenuhnya tergantung kepada besarnya momen maksimum dan tidak dipengaruhi oleh besarnya gaya geser.

Menurut Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon (1986: 125) pada konstruksi beton bertulang, mekanisme perlawanan geser yang terjadi ada beberapa komponen:

1. Adanya perlawanan geser beton sebelum terjadi retak.
2. Adanya gaya ikatan antar agregat.
3. Timbulnya aksi pasak tulangan memanjang sebagai reaksi terhadap gaya transversal yang harus ditahan.
4. Terjadinya perilaku pelengkung pada balok yang relatif tinggi (gaya tarik di sepanjang tulangan memanjang yang melengkung).
5. Adanya perlawanan penulangan geser.

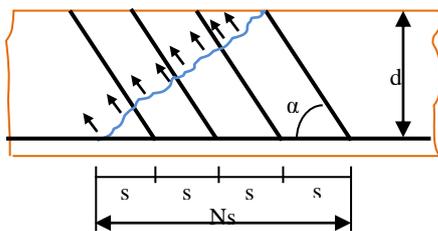


Gambar 2. Redistribusi perlawanan geser sesudah terbentuknya retak miring.

Senggang miring

Menurut Istimawan Dipohusodo (1999: 106), dasar pemikiran perencanaan penulangan geser adalah usaha menyediakan sejumlah tulangan baja untuk menahan gaya tarik tegak lurus terhadap retak tarik diagonal (retak miring), sehingga mampu mencegah retak lebih lanjut (runtuh geser).

Penulangan geser harus diangkerkan ke dalam daerah tekan beton dan biasanya dilingkarkan sekeliling penulangan tarik memanjang. Aksi dari penulangan geser miring seperti pada Gambar 2.4, sekalipun dapat memberikan penjelasan yang sederhana untuk perilaku senggang balok selama bertahun-tahun, cara ini tidak mengikutkan beberapa komponen yang utama dari pemindahan gaya geser. Tentu saja penulangan geser akan meningkatkan kekuatan geser dari suatu unsur, akan tetapi penulangan sedemikian hanya akan menyumbangkan sedikit perlawanan geser sebelum terbentuknya retak miring (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986: 134).



Gambar 3. Kekuatan geser (V_s) yang ditimbulkan oleh tulangan geser

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:

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

Atau menggunakan persamaan yang lebih teliti:

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

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

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

di dalam peraturan disyaratkan:

$$V_u \leq \phi \cdot V_c \quad (4)$$

dimana $\phi = 0,6$; 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 $V_u < 1/2 \phi \cdot V_c$

Sedangkan luas minimum tulangan geser diatur sebagai berikut:

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

dimana : A_u = luas tulangan geser

b = beban balok

s = jarak tulangan geser dari as ke as

f_y = mutu baja

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

$$V_u \leq \phi \cdot V_n \quad (6)$$

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

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

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

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

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

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

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

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

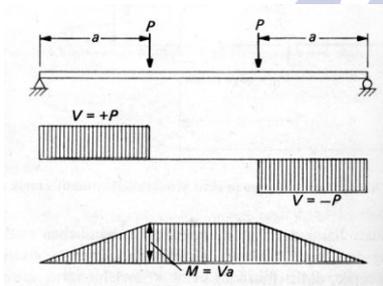
Pengaruh bentang geser dan tinggi efektif

Untuk balok persegi yang tanpa penulangan geser, pernah dilaporkan bahwa telah terbentuknya retak miring, pembagian dari pemindaian geser oleh berbagai mekanisme diatas adalah sebagai berikut : 15 sampai 25% oleh aksi pasak; 20 sampai 40% oleh daerah tekan dari beton yang belum retak; dan 33 sampai 55% oleh saling ikat antara agregat atau transfer geser antara permukaan. (Chu-Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1986: 125).

Untuk suatu balok sederhana yang dibebani dengan dua beban terpusat yang simetris harga perbandingan M/V dapat dianggap sebagai daerah sejajar α yang mempunyai nilai geser konstan. Jarak α ini dikenal dengan *bentang geser* (shear span). untuk hal yang umum dimana geser secara menerus berubah, bentang geser dapat dinyatakan sebagai

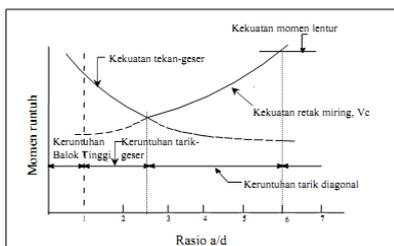
$$\alpha = M/V$$

yang mempunyai suatu harga pada setiap titik sepanjang balok.



Gambar 4. Definisi dasar dari bentang geser α

Pengaruh letak beban dengan penulangan geser yang berbeda pada balok tinggi dengan beton mutu tinggi ($f'c > 55$ MPa) juga telah diteliti, dimana dilakukan pengujian dengan beban seluruhnya terletak pada tepi atas balok, dan semua pada tepi bawah balok serta kombinasi tepi atas dan tepi bawah balok dengan ratio P_{top}/P_{bottom} masing-masing 1:1 dan 2:1. Sedangkan variasi penulangan geser yang diteliti antara lain balok tinggi dengan tulangan utama yang dimiringkan, tulangan geser vertical serta kombinasi tulangan geser vertikal dan horizontal. Penelitian ini juga menjelaskan bidang defleksi balok, lebar retak yang terbentuk, pola retak, model keruntuhan dan beban retak diagonal (Tan and Weng, 1999). Jika faktor selain rasio a/d dibuat tetap pada penampang balok persegi maka variasi kapasitas geser dapat dijelaskan seperti Gambar berikut ini.



Gambar 5. Perubahan rasio a/d terhadap geser pada balok persegi.

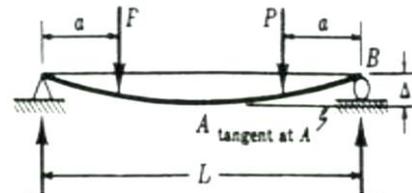
Lendutan

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:

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

M_{cr} dihitung dari rumus sebagai berikut:

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



Gambar 6. 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:

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

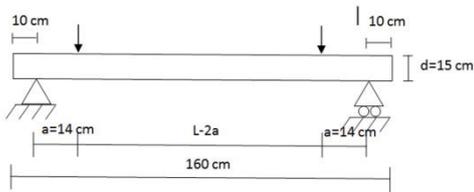
METODE

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang dilakukan dengan mengadakan manipulasi objek penelitian serta adanya control (Nazir, 1988: 74) dengan cara membuat benda uji.

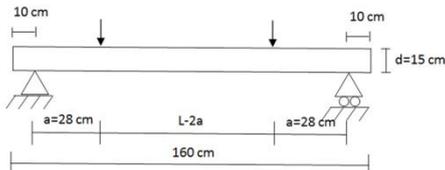
1. Benda uji
 - Benda uji yang akan digunakan sebagai obyek penelitian dibuat dari balok beton bertulang dengan campuran beton mutu 20 MPa. Dengan ukuran balok 10 x 15 x 160 cm, tebal selimut beton 2 cm, menggunakan tulangan tarik 3 Ø12 dan tulangan tekan 2 Ø 6 dengan sengkang miring berdiameter Ø6-100 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. Variasi sudut sengkang miring sama yakni 45° dan 1 balok sengkang vertikal sebagai pembanding dengan jarak antar sengkang 10 cm.
2. Jumlah benda uji
 - Benda berjumlah 6 buah balok dengan sengkang miring dan 1 balok dengan sengkang vertikal
 - a) 5 benda uji dengan tulangan tarik 3Ø12 dan tulangan tekan 2Ø6 sengkang Ø6-100 dengan kemiringan sudut 45.
 - b) 1 benda uji dengan tulangan tarik 3Ø12 dan sengkang Ø6-100 dengan kemiringan sudut 90°.

Skema pembebanan menggunakan dua beban terpusat dan satu beban terpusat dengan variasi rasio a/d pada BLK1= 1.07, BLK2= 2.15, BLK3= 3.23, BLK4= 4.3, BLK5= 5.38 dan BK 2.5 dengan maksud

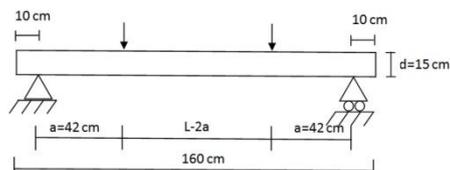
mendapatkan nilai geser dan retak tarik diagonal ($1 < a/d \leq 6$).



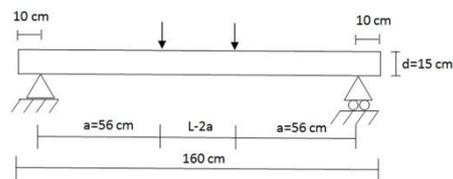
Gambar 7. Setting pembebanan BLK1 dengan rasio $a/d = 1.07$



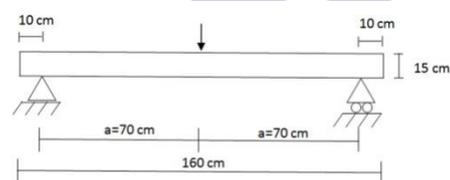
Gambar 8. Setting pembebanan BLK1 dengan rasio $a/d = 2.15$



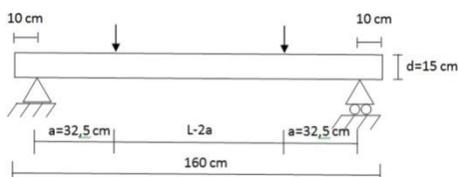
Gambar 9. Setting pembebanan BLK2 dengan rasio $a/d = 3.23$



Gambar 10. Setting pembebanan BLK1 dengan rasio $a/d = 4.3$



Gambar 11. Setting pembebanan BLK1 dengan rasio $a/d = 5.38$



Gambar 12. Setting pembebanan BLK1 dengan rasio $a/d = 2.5$

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

1. Kuat tarik baja tulangan.
2. Kuat tekan silinder beton (f_c')
3. Kekuatan teoritik
4. Pengaruh nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring terhadap kuat geser (V_u).
5. Pengaruh nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring terhadap kuat geser (M_{cr}).
6. Pengaruh nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring terhadap (Δ).
7. Pengaruh nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring terhadap pola runtuh.

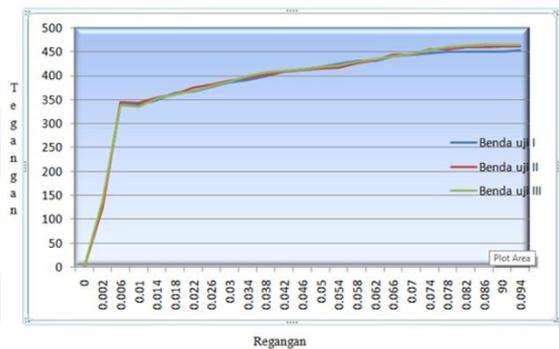
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Kuat Tarik Baja Tulangan

Dari pengujian kuat tarik baja tulangan polos $\varnothing 6$ mm didapat hasil seperti pada Tabel berikut ini:

Tabel 1. Kuat tarik benda uji baja polos tulangan $\varnothing 6$ mm

Sampel	Diameter (mm)	A (mm ²)	P (N)	$\sigma = P/A$ (N/mm ²)
BU I	5,77	26,13	8900	340,6
BU II	5,73	25,77	8900	345,36
BU III	5,79	26,31	8900	338,27
Rata-rata			8900	341,41

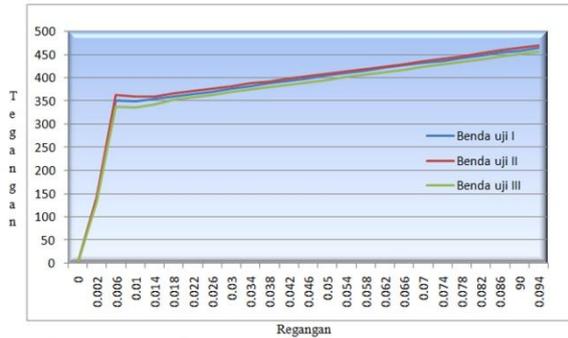


Gambar 13. Grafik hubungan regangan-tegangan besi tulangan $\varnothing 6$ mm

Pengujian tarik baja tulangan polos diameter $\varnothing 6$ mm ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 13. dari hasil kuat tarik BU I sebesar 340,6 MPa, kuat tarik BU II sebesar 345,36 MPa dan kuat tarik BU III sebesar 338,27 MPa. Mutu baja rata-rata dari pengujian tarik adalah 341,41 Mpa.

Tabel 2. Kuat tarik benda uji baja polos tulangan $\varnothing 12$ mm

Sampel	Diameter (mm)	A (mm ²)	P (N)	$\sigma = P/A$ (N/mm ²)
BU I	11,78	108,93	38300	351,6
BU II	11,67	106,9	38800	362,95
BU III	11,82	109,67	37100	338,28
Rata-rata			38200	350,94



Gambar 14. Grafik hubungan regangan-tegangan besi tulangan Ø 12 mm

Pengujian tarik baja tulangan polos diameter Ø 12 mm ditunjukkan pada Tabel 2 dan Gambar 14. dari hasil kuat tarik BU I sebesar 351,6 MPa, kuat tarik BU II sebesar 362,95 MPa dan kuat tarik BU III sebesar 338,28 MPa. Mutu baja rata-rata dari pengujian tarik adalah 350,94 Mpa.

B. Kekuatan Tekan silinder beton (f_c')

Dari pengujian kuat tarik baja tulangan polos Ø 6 mm didapat hasil seperti pada Tabel berikut ini: Tabel 3. Kuat tekan beton (f_c')

No. Benda Uji	Identifikasi Benda Uji			A (mm ²)	P (N)	$\sigma = P/A$ (N/mm ²)
	Diameter (mm)	Tinggi (mm)	Berat (gr)			
1	150	300	12453	17663	347300	19,66
2	150	300	12525	17663	344800	19,52
3	150	300	12490	17663	343400	19,44
4	150	300	12368	17663	356400	20,18
5	150	300	12890	17663	344600	19,51
6	150	300	12470	17663	338400	19,16
Rata-rata kuat tekan						19,57

Keterangan:
A : luas penampang
P : beban leleh
 σ : kuat tekan



Gambar 15. Kuat tekan silinder beton

Dari Tabel.3 didapatkan hasil dari pengujian tekan dari enam silinder beton menunjukkan bahwa nilai rata-rata mutu beton tergolong 19,57MPa, yang sebelumnya direncanakan menggunakan mutu beton 20 MPa. Hasil nilai kuat tekan benda uji 1 sebesar 19,66 Mpa, kuat tekan benda uji 2 sebesar 19,52 Mpa, kuat tekan benda uji 3 sebesar 19,44 Mpa, kuat tekan benda uji 4 sebesar 20,18 Mpa, kuat tekan benda uji 5 sebesar 19,51 Mpa dan kuat tekan benda uji 6 sebesar 19,16 Mpa. Nilai rata-rata kuat tekan beton sebesar 19,57 Mpa. Nilai dari masing-masing pengujian kuat tekan beton tidak sama, hal ini

dikarenakan, letak, ukuran dan jumlah agregat didalam silinder beton tidak sama.

C. Kekuatan Teoritik

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

Tabel 4. Kekuatan teoritik benda uji

Model benda uji	Jarak bentang geser (cm)	Sudut sengkang	M_n (kNm)	M_{cr} (kNm)	V_c (kN)	V_s (kN)	Δ_I (mm)
BLK 1	1.07	45°	8,59	1,321	9,58	28,77	4,37
BLK 2	2.15	45°	8,59	1,321	9,58	28,77	4,17
BLK 3	3.23	45°	8,59	1,321	9,58	28,77	3,88
BLK 4	4.3	45°	8,59	1,321	9,58	28,77	3,46
BLK 5	5.38	45°	8,59	1,321	9,58	28,77	2,94
BK	2.5	90°	8,59	1,321	9,58	17,63	4,09

Keterangan:
 M_n : momen nominal balok
 M_{cr} : momen retak awal teoritik
 V_s : kuat geser sengkang
 V_c : kuat geser beton
 Δ_I : lendutan teoritik

Dari Tabel 4 didapat hasil bahwa pada benda BLK1, BLK2, BLK3, BLK4, BLK5 dan BK mempunyai nilai momen nominal (M_n) yang sama yakni sebesar 8,59 kNm. Hal ini karena semua benda uji memiliki ukuran dimensi balok dan agregat penyusun yang sama. Pada momen retak awal (M_{cr}) benda uji sudut sengkang 90° mempunyai nilai yang sama dengan benda uji dengan sengkang miring 45° yaitu 1,321 kNm, karena semua benda uji menggunakan mutu beton, dan dimensi balok yang sama.

Dari perhitungan teoritik kuat geser beton (V_c) Dari perhitungan teoritik kuat geser beton (V_c) semua benda uji mempunyai nilai yang sama yaitu 9,58 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 benda uji BK balok sudut sengkang 90° didapat nilai 17,63 kN, dan pada balok BLK1, BLK2, BLK3, BLK4, dan BLK5 dengan sudut sengkang 45° didapat nilai yang sama sebesar 28,77 kN. Nilai untuk lendutan teoritik (Δ_I) juga mempunyai nilai yang tidak sama yaitu pada BLK1 sebesar 4,37 mm, BLK2 sebesar 4,17 mm, BLK3 sebesar 3,88 mm, BLK4 sebesar 3,46 mm, BLK5 sebesar 2,94 mm dan BK sebesar 4,09 mm. Hal ini karena jarak bentang geser (a) terhadap tinggi efektif masing-masing benda uji berbeda, Dan juga karena lendutan dihitung pada saat momen nominal balok (M_n).

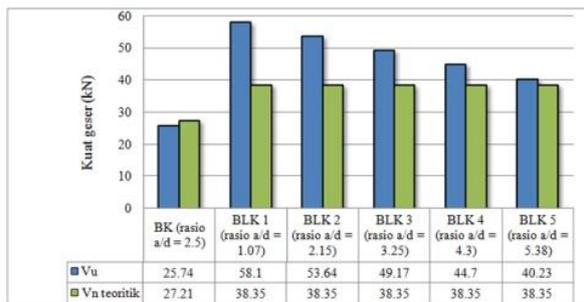
D. Pengaruh Nilai Banding Bentang Geser (a) Terhadap Tinggi Efektif (d) Pada Balok Dengan Sengkang Miring Terhadap Kuat Geser (v_u)

Dari pengujian kuat geser yang dilakukan didapat hasil seperti pada Tabel 5 dan Gambar 16 berikut ini:

Tabel 5. Kekuatan geser nominal (V_n) balok

Model benda uji	Rasio a/d	V_c teoritik kN	V_s teoritik kN	V_n teoritik kN	V_u kN	Kenaikan		
						% V_s thrdp V_n BK	% V_c thrdp V_n BK	% V_u thrdp V_n BK
						%	%	%
BLK 1	1.07	9,58	28,77	38,35	58,11	63,19	51,52	125,75
BLK 2	2.15	9,58	28,77	38,35	53,64	63,19	39,87	108,39
BLK 3	3.23	9,58	28,77	38,35	49,17	63,19	28,21	91,03
BLK 4	4.3	9,58	28,77	38,35	44,7	63,19	16,56	73,65
BLK 5	5.38	9,58	28,77	38,35	40,23	63,19	4,9	56,29
BK	2.5	9,58	17,63	27,21	25,74	0	5,4	0

Keterangan:
 V_c :kuat geser beton
 V_s : kuat geser senggang
 V_n : kuat geser nominal balok
 V_u : gaya geser berfaktor



Gambar 16. Kuat geser (V_n) teoritik dan kuat geser (V_u) aktual

Dari Tabel 5 dan Gambar 16 didapat hasil bahwa sudut senggang ,tinggi efektif dan bentang geser berpengaruh pada kekuatan geser balok secara teoritik dan pengujian lapangan. Dari perhitungan kuat geser secara teoritik didapat pada benda uji BLK1, BLK2, BLK3, BLK4, BLK5 memiliki nilai yang sama sebesar 38,35 KN dan pada BK sebesar 27,21 KN. Dari pengujian laboratorium, didapat nilai kuat geser (V_u) aktual pada benda uji balok BLK1, BLK2, BLK3, BLK4, BLK5 dan BK berturut-turut mengalami penurunan sebesar 58,11 kN, 53,64 kN, 49,17 kN, 44,7 kN, 40,23 kN, dan 28,71 kN. Persentase kenaikan V_u terhadap V_n teoritik untuk benda uji balok BLK1 mengalami kenaikan sebesar 51,52%, pada BLK2 mengalami kenaikan sebesar 39,87%, pada BLK3 mengalami kenaikan sebesar 28,21%, pada BLK4 mengalami kenaikan sebesar 16,56%, pada BLK5 mengalami kenaikan sebesar 4,9%, dan pada BK mengalami kenaikan sebesar 5,4%. Sedangkan persentase kenaikan V_u terhadap V_u BK pada BLK1 mengalami kenaikan sebesar 125,75%, pada BLK2 mengalami kenaikan sebesar 108,39%, BLK3 mengalami kenaikan sebesar 91,03%, BLK4 mengalami kenaikan sebesar 73,65% dan pada BLK5 mengalami kenaikan sebesar 56,29%.

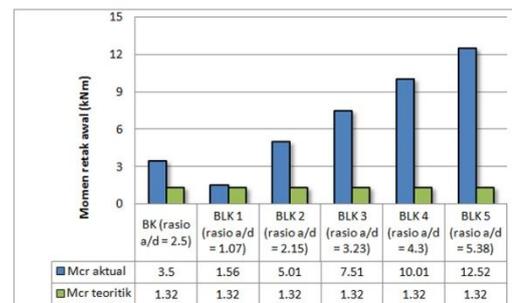
E. Pengaruh nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan senggang miring terhadap momen retak awal (M_{cr}).

Dari pengujian geser yang telah dilakukan, didapatkan hasil momen retak awal (M_{cr}) seperti pada Tabel 6 dan Gambar 17 berikut ini:

Tabel 6. Momen retak awal (M_{cr}) pada pengujian geser

Model benda uji	Rasio a/d	M_{cr} teoritik kNm	M_{cr} aktual kNm	P_{cr} kN	% M_{cr} thdp M_{cr} BK	% M_{cr} thdp M_{cr} BK
					%	%
					%	%
BLK 1	1.07	1,32	1,56	17,88	18,18	55,42
BLK 2	2.15	1,32	5,01	17,88	279,54	43,14
BLK 3	3.23	1,32	7,51	17,88	468,93	114,57
BLK 4	4.3	1,32	10,01	17,88	658,33	186
BLK 5	5.38	1,32	12,52	17,88	848,48	257,71
BK	2.5	1,32	3,5	10,89	165,15	0

Keterangan:
 M_{cr} : momen retak awal
 P_{cr} : beban pada retak awal aktual



Gambar 17. 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 4.6 dan Gambar 4.4 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 8,73 kN atau pada beban momen 1,32 kNm, ini dikarenakan semua benda uji berdimensi sama menggunakan mutu beton yang sama. Sedangkan hasil aktual di lapangan momen retak awal M_{cr} pada benda uji balok BK dengan sudut senggang 90% terjadi pada beban 10,89 kN atau pada beban momen 3,5 kNm, sedangkan pada benda uji BLK1, BLK2, BLK3, BLK4, BLK5 dengan sudut senggang 45% terjadi pada beban yang sama sebesar 17,88 kN tapi dengan beban momen berbeda berturut-urut sebesar 5,01 kNm pada BLK2, 7,51 kNm pada BLK3, 10,01 kNm pada BLK4, dan 12,52 kNm pada BLK5. Perbedaan pada momen retak awal M_{cr} di lapangan mungkin dikarenakan bentang geser dan tinggi efektif benda uji pada waktu pengujian di lapangan berbeda meskipun agregat yang menyusun sama, kemungkinan juga ada kesalahan pembacaan retak awal pada waktu pengujian balok.

F. Pengaruh Sudut Senggang Miring Pada Balok Pendek Terhadap Lentutan (Δ)

Pada pengujian geser yang dilakukan pada model benda uji didapatkan hasil momen maksimum (M_{maks}) pada Tabel 7, beban pada lentutan syarat pada Tabel 8 dan lentutan

maksimum pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.5 berikut ini:

Tabel 7. Momen maksimum (M_{maks}) balok

Model benda uji	Rasio a/d	$\frac{1}{2} P$	M_u	M_u	$\% M_u$ aktual thdp. M_u teoritik
		kN	kNm	kNm	%
BLK 1	1.07	37,99	5,369	5,319	0.93
BLK 2	2.15	35,76	10,738	10,01	6.77
BLK 3	3.23	42,46	16,107	14,08	12,58
BLK 4	4.3	40,23	21,476	17,52	18,42
BLK 5	5.38	37,99	26,845	20,33	24,26
BK	2.5	28,21	8,843	9,19	3,92

P : beban maksimum

M_{maks} : momen maksimum

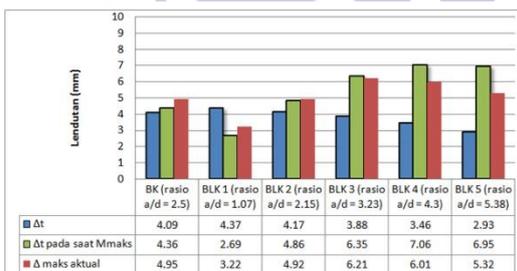
Tabel 8. Lendutan maksimum pada pengujian geser

Model benda uji	Rasio a/d	Standar SNI ($L=140cm$)	P	Δ_t	Δ_t pada saat M_{maks}	Δ_{maks} aktual	$\% \Delta_{maks}$ aktual thdp. Δ_t pada saat M_{maks}	$\% \Delta_{maks}$ aktual thdp. Δ_{maks} aktual BK
		mm	kN	Mm	mm	mm	%	%
BLK 1	1.07	3,889	37,99	4,37	2,69	3,22	24,39	34,94
BLK 2	2.15	3,889	35,76	4,17	4,86	4,92	21,08	0,6
BLK 3	3.23	3,889	33,52	3,88	6,35	6,21	8,95	25,45
BLK 4	4.3	3,889	31,29	3,46	7,06	6,01	6,6	21,41
BLK 5	5.38	3,889	29,05	2,93	6,95	5,32	6,6	7,47
BK	2.5	3,889	28,21	4,09	4,36	4,95	13,53	0

Keterangan:

Δ_t : lendutan teoritik
 M_{maks} : momen maksimum

P : beban maksimum
 Δ_{maks} : lendutan maksimum aktual

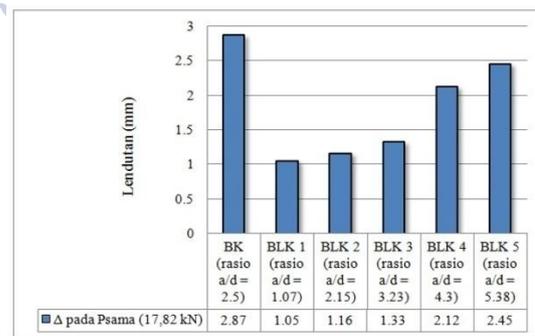


Gambar 18. Lendutan (Δ) pada balok

Pada Tabel 8 dan Gambar 18 didapatkan hasil bahwa lendutan pada benda uji mengalami pembesaran lendutan. Pada benda uji 1 sampai dengan 6 terlihat pembesaran lendutan hingga 24,39%. Dari perhitungan teoritik didapat lendutan Δ_t pada BK sebesar 4,09 mm, BLK1 sebesar 4,09 mm, BLK2 sebesar 4,09 mm, BLK3 sebesar 4,09 mm, BLK4 sebesar 4,09 mm, dan BLK5 sebesar 4,09 mm yang dihitung pada saat momen nominal balok teoritik (M_n). Dari data di lapangan, lendutan maksimum aktual Δ_{maks} pada benda uji BK terjadi lendutan sebesar 4,95 mm, benda uji BLK1 terjadi lendutan sebesar 3,22 mm, benda uji BLK2 terjadi lendutan sebesar 4,92 mm, benda uji BLK3 terjadi lendutan sebesar 6,21 mm, benda uji BLK4 terjadi lendutan sebesar 6,01 mm dan benda uji BLK5 terjadi lendutan sebesar 5,32 mm. Semakin besar kuat runtuh balok, semakin besar lendutan yang dihasilkan.

lendutan yang terjadi pada balok dengan pembebanan yang sama pada setiap benda uji dapat dilihat pada Tabel 9 dan Gambar 19 berikut ini: Tabel 9. Lendutan di beban yang sama pada balok

Model benda uji	Rasio a/d	P_{sama}	Δ_{aktual} pada P_{sama}	$\% \Delta_{aktual}$ thdp. Δ_{aktual} BK pada P_{sama}
		kN	mm	%
BLK 1	1.07	17,88	1,05	63,4
BLK 2	2.15	17,88	1,16	59,58
BLK 3	3.23	17,88	1,33	53,6
BLK 4	4.3	17,88	2,12	26,13
BLK 5	5.38	17,88	2,45	14,63
BK	2.5	17,88	2,87	0



Gambar 19. Lendutan di beban yang sama pada balok

Pada Tabel 9 didapatkan hasil beban P naik pada Pada Tabel 9 dan Gambar 19 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 benda uji BLK1 dengan sudut sengkang 45°, yakni sebesar 63,4% terhadap benda uji balok BK dengan sudut sengkang 90°.

Tabel 7. Lendutan maksimum pada pengujian geser

G. Pengaruh Sudut Sengkang Miring Pada Balok Pendek Terhadap Pola Runtuh

Pada pengujian geser yang dilakukan pada Pengujian lentur dan geser yang dilakukan pada model benda uji BLK1, BLK2, BLK3, BLK4, BK dengan dua beban terpusat dengan berbagai variasi sedangkan BLK5 dengan satu beban terpusat di tengah bentang, didapatkan retak miring pertama seperti pada Tabel 10 dan gambar pola runtuh penampang balok sebagai berikut:

Tabel 10 Beban pada saat pengujian

Model benda uji	Rasio a/d	V_n teoritik kN	V_u kN	Kenaikan	
				% V_u trhdp V_n teoritik	% V_u trhdp V_u BK
				%	%
BLK 1	1.07	38,35	58,11	51,52	102,4
BLK 2	2.15	38,35	53,64	39,86	86,83
BLK 3	3.23	38,35	49,17	28,21	71,26
BLK 4	4.3	38,35	44,7	16,55	55,69
BLK 5	5.38	38,35	40,23	4,9	40,12
BK	2.5	27,21	25,74	5,51	0

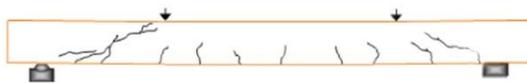
1. Balok model benda uji BLK1



Gambar 20. Pola retak model benda uji BLK1

Pada Gambar 20 benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut 45° dengan tinggi efektif (d) 10 cm dan bentang geser (a) 14 cm, dari pengujian model benda uji dilapangan didapatkan retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 17,88 kN dengan panjang retak 2 cm di bagian bawah balok berjarak 6 cm di sebelah kiri tumpuan (tumpuan sebelah kanan), Timbul retak kedua pada beban 22,35 kN dengan panjang 4cm sebelah kanan retak pertama. Timbul retak lagi pada beban 31,29 kN dengan panjang 2,5 cm sebelah kanan retak pertama berjarak 12 cm dari tumpuan dan balok mengalami runtuh pada beban 93,89 kN dengan keruntuhan geser tarik dan geser tekan, salah satu faktor yang menyebabkan keruntuhan geser tarik dan geser tekan yaitu syarat a/d balok sebesar 1,75 dan juga nilai V_n lebih kecil dari pada V_u .

2. Balok uji model benda uji BLK2

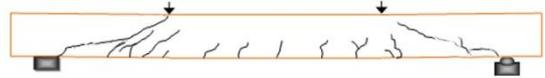


Gambar 21. Pola retak model benda uji BLK2°

Pada Gambar 21 benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut 45° dengan tinggi efektif (d) 10 cm dan bentang geser (a) 28 cm, dari pengujian model benda uji dilapangan didapatkan retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 17,88 kN dengan panjang retak 4 cm di bagian bawah balok berjarak 20 cm di sebelah kiri tumpuan (tumpuan sebelah kanan), Timbul retak kedua pada beban 24,58 kN dengan panjang 3cm sebelah kanan retak pertama. Timbul retak lagi pada beban 29,05 kN dengan panjang 4,5 cm sebelah kanan retak pertama berjarak 12 cm dari tumpuan dan balok mengalami runtuh pada

beban 35,76 kN dengan keruntuhan geser tarik, salah satu faktor yang menyebabkan keruntuhan geser yaitu syarat a/d balok sebesar 3,5 dan juga nilai V_n lebih kecil dari pada V_u .

3. Balok uji model benda uji BLK3



Gambar 22. Pola retak model benda uji BLK3

Pada Gambar 22 benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut 45° dengan tinggi efektif (d) 10 cm dan bentang geser (a) 42 cm, dari pengujian model benda uji dilapangan didapatkan retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 17,88 kN dengan panjang retak 2 cm di bagian bawah balok berjarak 32 cm di sebelah kiri tumpuan (tumpuan sebelah kanan). Timbul retak baru pada beban 29,05 kN 5 cm sebelah tumpuan dengan arah miring dengan sudut 45° dan bertemu dengan retak ke dua dengan panjang retak hingga hampir menyentuh titik pembebanan geser sebelah kanan, dan balok mengalami runtuh pada beban 33,52 kN dengan keruntuhan geser- lentur atau, salah satu faktor yang menyebabkan keruntuhan geser yaitu syarat a/d balok sebesar 5,25 dan juga nilai V_n lebih kecil dari pada V_u .

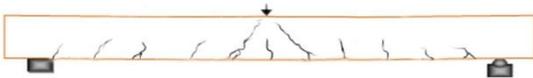
4. Balok uji model benda uji BLK4



Gambar 23. Pola retak model benda uji BLK4

Pada Gambar 23 benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut 45° dengan tinggi efektif (d) 10 cm dan bentang geser (a) 42 cm, dari pengujian model benda uji dilapangan didapatkan retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 17,88 kN dengan panjang retak 2 cm di bagian bawah balok berjarak 32 cm di sebelah kiri tumpuan (tumpuan sebelah kanan). Timbul retak baru pada beban 29,05 kN 5 cm sebelah tumpuan dengan arah miring dengan sudut 45° dan bertemu dengan retak ke dua dengan panjang retak hingga hampir menyentuh titik pembebanan geser sebelah kanan, dan balok mengalami runtuh pada beban 33,52 kN dengan keruntuhan geser- lentur atau, salah satu faktor yang menyebabkan keruntuhan geser yaitu syarat a/d balok sebesar 5,25 dan juga nilai V_n lebih kecil dari pada V_u .

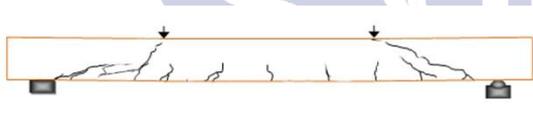
5. Balok uji model benda uji BLK5



Gambar 24. Pola retak model benda uji BLK5

Pada Gambar 24 benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut 45° dengan tinggi efektif (d) 10 cm dan bentang geser (a) 70 cm, menggunakan satu titik pembebanan. dari pengujian model benda uji dilapangan didapatkan retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 8,94 kN dengan panjang retak 6 cm di bagian bawah balok berjarak 52 cm di sebelah kiri tumpuan (tumpuan sebelah kanan). Timbul retak ke-dua pada beban 20,11 kN dengan panjang 2,5 cm sebelah kanan retak pertama berjarak 61 cm dari tumpuan yang merupakan awal dari retak miring akibat geser., dan balok mengalami runtuh pada beban 29,05 kN dengan keruntuhan geser lentur, salah satu faktor yang menyebabkan keruntuhan geser yaitu syarat a/d balok sebesar 5,38 dan juga nilai V_n lebih kecil dari pada V_u .

6. Balok uji model benda uji BLK6

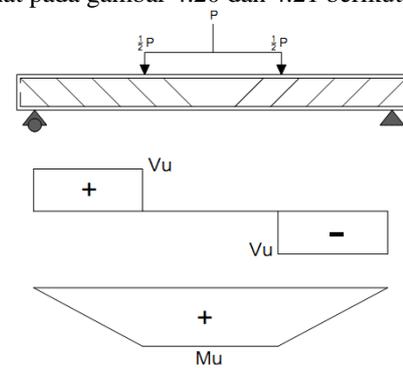


Gambar 25. Pola retak model benda uji BK

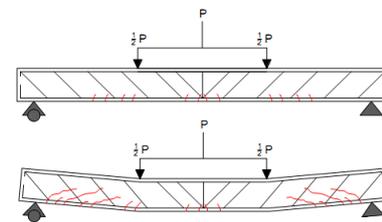
Pada Gambar 25 benda uji balok menggunakan sengkang dengan sudut 45° dengan tinggi efektif (d) 10cm dan bentang geser (a) 32,5 cm, menggunakan dua titik pembebanan. dari pengujian model benda uji dilapangan didapatkan retak awal pengujian geser terdapat retak pada beban 10,89 kN dengan panjang retak 4 cm di bagian bawah balok berjarak 56 cm di sebelah kiri tumpuan (tumpuan sebelah kanan). Timbul retak baru pada beban 13,36 kN 6 cm sebelah tumpuan dengan arah miring dengan sudut 45° dan bertemu dengan retak ke dua dengan panjang retak hingga hampir menyentuh titik pembebanan geser sebelah kanan, dan balok mengalami runtuh pada beban 56,43 kN dengan keruntuhan geser lentur, salah satu faktor yang menyebabkan keruntuhan geser yaitu syarat a/d balok sebesar 4,06 dan juga nilai V_n lebih kecil dari pada V_u .

Dapat disimpulkan penggunaan satu titik pembebanan dalam pengujian mengakibatkan gaya geser maksimum dan momen maksimum terpusat pada bagian tengah bentang, sedangkan menggunakan dua titik pembebanan bertujuan untuk memperkecil gaya geser yang terjadi pada

area tengah bentang balok, sehingga gaya-gaya yang bekerja pada balok tidak terpusat pada satu titik, dengan demikian pada area tengah bentang balok hanya dipengaruhi oleh lentur dan gaya geser maksimum hanya bekerja pada area tumpuan balok. Berdasarkan uraian diatas dimungkinkan retak geser akan terjadi pada area tumpuan balok, sehingga adanya perlawanan dari tulangan sengkang dalam menahan gaya geser yang terjadi. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 4.20 dan 4.21 berikut ini



Gambar 26. Bidang geser dan bidang momen pada 2 tumpuan



Gambar 27. Simulasi retak geser balok pada 2 titik tumpuan.

Retak yang ditimbulkan cenderung ke retak lentur geser dan retak geser. Retak yang terjadi pada pengujian geser mula-mula 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 model benda BLK1, BLK2, BLK3, BLK4, BLK5 dan BK menunjukkan bahwa retak yang terjadi semakin banyak hingga yang banyak terjadi retak adalah model benda uji BLK1. Banyaknya retak ternyata menandakan kekuatan balok, semakin terdapat banyak retak berarti balok mempunyai kekuatan yang lebih besar

PENUTUP

Simpulan

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

1. Nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring berpengaruh pada pola runtuh. Semakin besar nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) maka semakin menambah kekuatan 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. Nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring berpengaruh pada peningkatan kuat geser actual (V_u) pada model uji BLK1 sebesar 51,52% terhadap sengkang vertikal, dan berpengaruh juga pada peningkatan kuat geser tulangan (V_s) pada model benda uji BLK1 sebesar 63,19% terhadap sengkang vertikal. Semakin besar nilai banding bentang geser terhadap tinggi efektif maka semakin kecil kuat geser yang dihasilkan balok.
3. Nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring berpengaruh pada momen retak awal (M_{cr}) teoritik, tetapi berpengaruh pada momen retak awal aktual. Pada model benda uji BLK1 M_{cr} aktual= 1,56 kN, BLK2 M_{cr} aktual= 5,01 kN, BLK3 M_{cr} aktual= 7,51 kN, BLK4 M_{cr} aktual= 10,01 kN, BLK5 M_{cr} aktual= 12,52kN dan BK M_{cr} aktual= 3,5 kN
4. Nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) pada balok dengan sengkang miring berpengaruh pada lendutan (Δ). Pada beban yang sama (17,88 kN) model benda uji BLK1 didapat lendutan pada sengkang miring lebih kecil hingga 63,4% dibanding BK. Pada model benda uji BLK2 didapat lendutan pada sengkang miring lebih kecil hingga 59,58% dibanding BK, Pada model benda uji BLK3 didapat lendutan pada sengkang miring lebih kecil hingga 53,6% dibanding BK, Pada model benda uji BLK4 didapat lendutan pada sengkang miring lebih kecil hingga 26,13% dibanding BK, dan Pada model benda uji BLK5 didapat lendutan pada sengkang miring lebih kecil hingga 14,63% dibanding BK.
5. Beban gaya geser berfaktor saat pengujian balok model benda uji BLK1 sebesar 58,11 kN dengan keruntuhan geser tarik, balok model benda uji BLK2 sebesar 53,64 kN dengan keruntuhan geser tarik, balok model benda uji BLK3 sebesar 49,17 kN dengan keruntuhan geser tarik, balok model benda uji BLK4 sebesar 44,7 kN dengan keruntuhan geser tekan, balok model benda uji BLK5 sebesar 40,23 kN dengan keruntuhan geser tekan dan balok model benda uji BK sebesar 25,74 kN dengan keruntuhan tarik. 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

Berdasarkan uraian kesimpulan diatas beberapa saran untuk memperoleh kesempurnaan dan hasil yang baik, sebagai berikut:

1. Pada pengujian diharapkan ketelitian dalam pembacaan *dial gauge*.
2. Penelitian selanjutnya disarankan supaya mempelajari terlebih dahulu cara mengelola data dan mempelajari sistem kerja alat uji lentur dan uji tarik, sehingga tidak terjadi kesalahan pada saat melakukan pengujian.
3. Perlu ada penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi nilai banding bentang geser (a) terhadap tinggi efektif (d) dengan beberapa jenis sudut pada sengkang miring.
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.
- Suprpto 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.
- David, Achmad 2012. "pengaruh sudut sengkang miring pada balok pendek terhadap pola runtuh" Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.