

# REKAYASA TULANGAN SENGGANG VERTIKAL PADA BALOK BETON BERTULANG

**Basuki**

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil FT UMS

## ABSTRAKSI

*Beton bertulang merupakan suatu bentuk konstruksi yang dibuat dengan menggabungkan dua jenis bahan yaitu beton dan tulangan baja. Kerjasama antara kedua jenis bahan ini telah terbukti memberikan bukti kinerja yang sangat positif dalam menahan beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut. Pemakaian konstruksi beton bertulang telah sering dan banyak kita jumpai diantaranya pada struktur bangunan gedung, jembatan, bendungan air, perkerasan jalan, dinding penahan, konstruksi kolam, dan banyak konstruksi lainnya.*

*Konstruksi beton bertulang pada struktur bangunan gedung diantaranya dipakai pada bagian balok, kolom, plat maupun pondasi. Konstruksi balok beton bertulang dalam perencanaan penulangannya diperhitungkan terhadap beban momen dan geser. Beban momen merupakan beban yang akan ditahan oleh tulangan memanjang balok, sedangkan beban geser akan ditahan oleh tulangan sengkang (tulangan geser). Penulangan sengkang pada balok beton bertulang yang sering dan lazim dilaksanakan adalah dengan menggunakan sengkang vertical. Tulangan sengkang vertical merupakan bentuk standar yang banyak dipakai dimana analisis yang dapat diberikan pada jenis tulangan sengkang ini yaitu dengan memperhitungkan kekuatan sengkang berdasarkan bagian tulangan vertikalnya.*

*Suatu penelitian tentang tulangan sengkang vertical telah dilakukan yaitu mengkaji tentang keberadaan bagian tulangan sengkang vertical atas-bawah (bagian horizontal) apakah efektif berpengaruh dalam mendukung dan memberikan kontribusi kekuatan pada sengkang tersebut. Hasil yang didapatkan adalah dari penelitian perbandingan kekuatan sengkang vertical konvensional (sengkang standar) dan sengkang vertical alternative (tanpa bagian atas-bawah), menunjukkan bahwa kekuatan geser yang dimiliki kedua jenis tulangan sengkang tersebut relative sama. Hal ini berarti bahwa keberadaan bagian atas-bawah tulangan sengkang vertical konvensional berfungsi sebagai pengikat saja dan dapat dilakukan suatu langkah efisiensi bahan tulangan sengkang vertical dengan meniadakan bagian atas-bawah tersebut, atau memodifikasi bagian tulangan sengkang vertical atas-bawah agar efektif memberikan kekuatan yang maksimal dan efisien dalam hal bahan yang digunakan. Suatu penelitian yang analisis tentang pemakaian sengkang vertical konvensional dan sengkang alternative pada konstruksi balok beton bertulang pada bangunan gedung 2 lantai memberikan hasil yang cukup signifikan dalam hal penghematan biaya bahan tulangan sengkang pada konstruksi bangunan gedung tersebut. Besarnya penghematan biaya bahan yang didapatkan dengan menggunakan sengkang alternative sebesar 25,56 % bila dibandingkan dengan pemakaian jenis sengkang konvensional (standar).*

**Kata kunci :** *sengkang, konvensional, alternative, kuat geser, efisiensi*

---

## PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang Masalah

Beton adalah elemen struktural bangunan yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan sampai sekarang ini. Beton juga telah banyak mengalami perkembangan-perkembangan, baik dalam teknologi pembuatan campurannya ataupun teknologi pelaksanaan konstruksinya. Perkembangan yang telah populer adalah ditemukannya kombinasi antara material beton dan baja tulangan yang digabungkan menjadi satu kesatuan konstruksi, dan dikenal sebagai beton bertulang.

Beton bertulang telah banyak diterapkan pada bangunan-bangunan struktural, seperti bangunan gedung, jembatan, perkerasan jalan, bendungan air, tandon air dan berbagai konstruksi lainnya. Pada bangunan gedung beton bertulang dijumpai beberapa elemen struktur, misalnya balok,

kolom, plat lantai, pondasi, sloof, ring balok, ataupun plat atap.

Sebagai elemen balok, beton bertulang harus diberikan penulangan yang berupa penulangan lentur (penulangan memanjang) dan penulangan geser. Penulangan lentur dipakai untuk menahan pembebanan momen lentur yang terjadi pada balok. Penulangan geser digunakan untuk menahan pembebanan geser (gaya lintang) yang terjadi pada balok. Penulangan geser balok sering dikenal dengan istilah penulangan sengkang. Ada beberapa macam tulangan sengkang pada balok, yaitu tulangan sengkang vertical, tulangan sengkang spiral, tulangan sengkang miring. Ketiga macam tulangan sengkang ini sudah sangat lazim diterapkan dan sudah sangat dikenal dalam dunia konstruksi, sehingga dapat dikenal sebagai tulangan sengkang konvensional.

Tulangan sengkang konvensional yang telah dikenal selama ini dalam konsep perhitungannya

dengan memperhitungkan bahwa bagian tulangan sengkang yang berfungsi menahan beban geser adalah bagian tulangan sengkang pada arah vertikal (tegak lurus terhadap sumbu batang balok). Sedangkan bagian tulangan sengkang pada arah horisontal (di bagian atas dan bawah) tidak diperhitungkan menahan beban gaya yang terjadi pada balok. Hal ini dikarenakan perilaku beban geser balok akan menyebabkan terjadinya keretakan geser, yang pada umumnya dekat dengan bagian tumpuan balok (dengan beban geser besar), kemudian menjalar kearah vertikal-horisontal menuju tengah bentang balok. Keretakan geser akan menyebabkan terbelahnya balok menjadi dua bagian yang dipisahkan oleh garis keretakan geser tersebut, yaitu bagian bawah retak geser dan bagian atas retak geser. Keretakan ini semakin lama akan semakin besar, sehingga kedua bagian balok akan terbelah. Berdasarkan kejadian ini, maka bagian tulangan sengkang pada arah vertikal adalah tulangan yang berhubungan langsung dengan keretakan geser tersebut. Tulangan ini akan mencegah terbelahnya balok akibat adanya keretakan geser, karena tulangan sengkang berfungsi untuk mengikat antara bagian balok di bawah retak geser dan bagian balok di atas retak geser. Dengan perencanaan yang tepat, maka retak geser pada balok tidak akan terjadi karena tulangan sengkang pada arah vertikal ini telah direncanakan mampu menahan gaya geser tersebut.

Berdasarkan uraian di atas, maka terlihat bahwa tulangan sengkang pada arah horisontal tidak berhubungan langsung dengan keretakan geser yang terjadi pada balok, khususnya balok beton bertulang. Oleh karena itu, tulangan ini dapat dianggap sebagai bagian tulangan sengkang yang tidak berperan secara penuh, hanya sebagai bagian pengikat saja. Melihat perilaku ini, maka sangat menarik untuk diteliti dan dikaji lebih lanjut tentang keberadaan bagian tulangan sengkang pada arah horisontal, apakah memang perlu ada dan dipasang, ataukah tidak perlu ada dan tidak perlu dipasang. Apabila bagian tulangan ini memang tidak perlu ada, maka penulangan sengkang dengan konsep ini akan dapat memberikan manfaat positif, yaitu dalam hal efisiensi bahan atau biaya. Selanjutnya konsep penulangan sengkang semacam ini diidentifikasi atau diberi istilah sebagai sengkang alternatif.

## B. Rumusan Masalah

Permasalahan yang menjadi topik utama dalam penelitian ini dapat dijabarkan sebagai berikut: 1). Seberapa besar beban geser maksimal yang dapat ditahan oleh sengkang alternatif dan sengkang konvensional pada balok beton bertulang. 2). Seberapa besar kuat geser sengkang alternatif dan sengkang konvensional pada balok beton bertulang.

3). Apakah ada perbedaan dan seberapa besar perbedaan kuat geser pada sengkang alternatif dan sengkang konvensional.

## C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1). Besarnya beban geser maksimal yang dapat ditahan oleh sengkang alternatif dan sengkang konvensional pada balok beton bertulang. 2). Kuat geser sengkang alternatif dan sengkang konvensional pada balok beton bertulang. 3). Adanya perbedaan atau tidak pada kuat geser sengkang alternatif dan sengkang konvensional pada balok beton bertulang, dan besarnya perbedaan kuat geser tersebut jika memang ada.

## D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini akan dapat memberikan manfaat-manfaat sebagai berikut :

1). Manfaat secara teoritis, dapat memberikan analisis secara ilmiah tentang kekuatan sengkang alternatif dan sengkang konvensional, sehingga menambah wawasan perkembangan keilmuan khususnya tentang sengkang alternatif pada balok beton bertulang. 2). Manfaat secara praktis, dapat memberikan alternatif bentuk penulangan geser (sengkang) pada balok beton bertulang yang dimungkinkan akan memberikan efisiensi bahan atau biaya.

## E. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. Beton

Beton dibuat dari pencampuran antara bahan-bahan agregat halus dan kasar (yaitu pasir, batu, batu pecah, atau bahan semacam lainnya), dengan menambahkan bahan perekat semen secukupnya, dan air sebagai bahan pembantu guna keperluan reaksi kimia selama proses pengerasan dan perawatan beton berlangsung. Agregat halus dan kasar, disebut sebagai bahan yang diikat pada campuran beton, dan merupakan komponen utama kekuatan tekan beton.

Nilai kuat tekan beton relatif tinggi bila dibandingkan dengan kuat tariknya, sehingga beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% saja dari kuat tekannya.

Kerjasama antara beton dan baja tulangan (sebagai beton bertulang) hanya dapat terwujud dengan didasarkan pada keadaan-keadaan berikut (Dipohusodo, 1994) : (1) lekatan sempurna antara batang tulangan baja dengan beton keras yang membungkusnya sehingga tidak terjadi penggelinciran di antara keduanya, (2) beton yang mengelilingi batang tulangan baja bersifat kedap sehingga mampu melindungi dan mencegah terjadinya karat baja, (3) angka muai kedua bahan

hampir sama untuk setiap kenaikan suhu satu derajat Celcius (angka muai beton 0,000010 sampai 0,000013 sedangkan baja 0,000012) , sehingga tegangan yang timbul karena perbedaan nilai dapat diabaikan.

2. Kuat Beton Terhadap Gaya Tekan

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum  $f'_c$  dengan satuan N/mm<sup>2</sup> atau MPa (Mega Pascal). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai kurang lebih 10 MPa – 65 MPa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar antara 17 MPa – 30 MPa, sedangkan untuk beton prategangan digunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi , berkisar antara 30 MPa - 45 MPa. Untuk keadaan dan keperluan struktur khusus, beton ready mix sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 MPa dan untuk memproduksi beton kuat tekan tinggi tersebut umumnya dilaksanakan dengan pengawasan ketat dalam laboratorium.

Pada Pasal 3.3.2 SK SNI T-15-1991-03 menetapkan, bahwa regangan kerja maksimum yang diperhitungkan di serat tepi beton tekan terluar adalah 0,003 sebagai batas hancur. Regangan kerja maksimum 0,003 tersebut boleh jadi  $\leq 0,707$  konservatif untuk beton kuat tinggi dengan nilai  $f'_c$  antara 55 MPa – 80 MPa.

3. Kuat Beton Terhadap Gaya Tarik

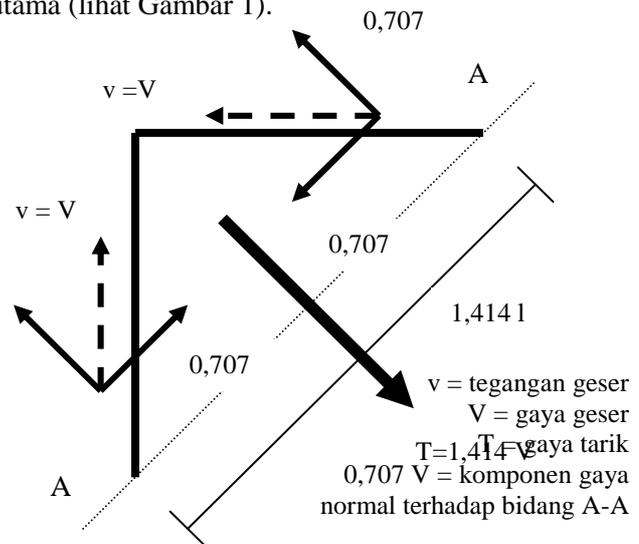
Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar yang dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik bahan beton normal hanya berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Kuat tarik bahan beton yang tepat sulit untuk diukur. Menurut Dipohusodo (1994), nilai pendekatan yang diperoleh dari hasil pengujian berulang kali mencapai kekuatan 0,50 – 0,60 kali  $\sqrt{f'_c}$ , sehingga untuk beton normal digunakan nilai  $0,57\sqrt{f'_c}$ .

4. Kuat Geser Balok

Pembahasan mengenai balok terlentur harus dipertimbangkan pula, bahwa pada saat yang sama balok juga menahan gaya geser akibat lenturan. Kondisi kritis geser akibat lentur ditunjukkan dengan timbulnya tegangan-regangan tarik tambahan di tempat-tempat tertentu pada komponen struktur terlentur. Untuk komponen struktur beton bertulang, apabila gaya geser yang bekerja sedemikian besar hingga di luar kemampuan beton untuk menahannya, perlu memasang baja tulangan tambahan untuk menahan geser tersebut.

Tegangan geser dan lentur akan timbul di sepanjang komponen struktur yang menahan gaya

geser dan momen lentur, sehingga penampang komponen mengalami tegangan-tegangan pada wilayah antara garis netral dan serat tepi penampang. Komposisi tegangan-tegangan tersebut di suatu tempat akan menyesuaikan diri secara alami dengan membentuk keseimbangan tegangan geser dan tegangan normal maksimum dalam suatu bidang yang membentuk sudut kemiringan terhadap sumbu balok. Dengan menggunakan lingkaran mohr dapat ditunjukkan bahwa tegangan normal maksimum dan minimum akan bekerja pada dua bidang yang saling tegak lurus satu sama lainnya. Bidang-bidang tersebut dinamakan bidang utama dan tegangan-tegangan yang bekerja disebut tegangan-tegangan utama (lihat Gambar 1).

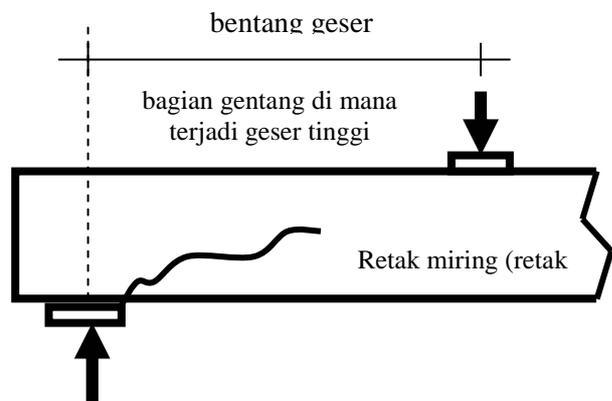


Gambar 1. Tegangan-tegangan pada balok terlentur

Tegangan tarik dengan variasi besar dan kemiringan, baik sebagai akibat geser saja atau gabungan dengan lentur, akan timbul di setiap tempat di sepanjang balok, yang harus diperhitungkan pada analisis dan perencanaan. Kejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, kerusakan umumnya terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok, dan dinamakan bentang geser. Retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser. Untuk bentang geser yang lebih pendek, kerusakan akan timbul sebagai kombinasi dari pergeseran, remuk dan belah. Sedangkan untuk balok beton tanpa tulangan dengan bentang geser lebih panjang, retak akibat tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum retak karena tarik diagonal. Dengan demikian terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan merupakan peringatan awal kerusakan geser (Dipohusodo, 1994).

Retak miring akibat geser di badan balok beton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai

kelanjutan proses retak lentur yang telah mendahuluinya. Retak miring pada balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan sebagai retak geser badan. Kejadian retak geser badan jarang dijumpai pada balok beton bertulang biasa dan lebih sering pada balok beton prategangan berbentuk huruf I dengan badan tipis dan flens (sayap) lebar. Retak geser badan juga dapat terjadi di sekitar titik balik lendutan atau pada tempat di mana terjadi penghentian tulangan balok struktur bentang menerus. Retak miring yang terjadi sebagai proses kelanjutan dari retak lentur yang telah timbul sebelumnya dinamakan sebagai retak geser lentur. Retak jenis terakhir ini dapat dijumpai baik pada balok beton bertulang biasa maupun prategangan. Proses terjadinya retak lentur umumnya cenderung merambat dimulai dari tepi masuk ke dalam balok dengan arah hampir vertikal. Proses tersebut terus berlanjut tanpa mengakibatkan berkurangnya tegangan sampai tercapainya suatu kombinasi kritis tegangan lentur dan geser di ujung salah satu retak terdalam, di mana terjadi tegangan geser cukup besar yang kemudian mengakibatkan terjadinya retak miring. Pada balok beton bertulangan lentur arah memanjang, tulangan baja akan bertugas sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Sementara itu, apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat seiring dengan beban. Sedangkan tulangan baja yang diperuntukkan menahan momen lentur di dalam balok letaknya tidak pada tempat di mana tegangan tarik diagonal timbul. Sehingga untuk itu diperlukan tambahan tulangan baja untuk menahan tegangan tarik diagonal tersebut di tempat-tempat yang sesuai (Dipohusodo, 1994). Mengenai retak miring pada balok beton bertulang, maka lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Retak miring pada balok beton bertulang

Ada beberapa cara penulangan geser yang dapat dilakukan dengan memperhatikan pola retak yang terjadi, yaitu dengan cara pemasangan sengkang

vertikal, pemasangan jaringan kawat baja las yang dipasang tegak lurus terhadap sumbu aksial, pemasangan sengkang miring atau diagonal, pemasangan batang tulangan miring diagonal yang dapat dilakukan dengan cara membengkokkan batang tulangan pokok balok di tempat-tempat yang diperlukan, atau pemasangan tulangan spiral (Dipohusodo, 1994).

## F. LANDASAN TEORI

### 1. Perilaku Balok Tanpa Penulangan Geser

Kejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, kerusakan umumnya terjadi di daerah sepanjang kurang lebih tiga kali tinggi efektif balok, dan dinamakan bentang geser. Retak akibat tarik diagonal merupakan salah satu cara terjadinya kerusakan geser. Untuk bentang geser yang lebih pendek, kerusakan akan timbul sebagai kombinasi dari pergeseran, remuk dan belah. Sedangkan untuk balok beton tanpa tulangan dengan bentang geser lebih panjang, retak akibat tegangan tarik lentur akan terjadi terlebih dahulu sebelum retak karena tarik diagonal. Dengan demikian terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan merupakan peringatan awal kerusakan geser.

### 2. Perencanaan Penulangan Geser

Dasar pemikiran perencanaan penulangan geser atau penulangan geser badan balok adalah usaha menyediakan sejumlah tulangan baja untuk menahan gaya tarik arah tegak lurus terhadap retak tarik diagonal sedemikian rupa sehingga mampu mencegah bukaan retak lebih lanjut.

Perencanaan geser untuk komponen-komponen struktur terlentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihanannya atau kekuatan geser di atas kemampuan beton untuk menahannya dilimpahkan kepada tulangan baja geser. Cara yang umum dilaksanakan dan lebih sering dipakai untuk penulangan geser adalah dengan menggunakan sengkang, di mana selain pelaksanaannya lebih mudah juga menjamin ketepatan pemasangannya. Penulangan dengan sengkang hanya memberikan andil terhadap sebagian pertahanan geser, karena formasi atau arah retak yang miring. Tetapi bagaimanapun, cara penulangan demikian terbukti mampu memberikan sumbangan untuk peningkatan kuat geser ultimit komponen struktur yang mengalami lenturan.

Untuk komponen-komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja, persamaan (3.4-3) SK SNI T-15-1991-03 memberikan kapasitas kemampuan beton (tanpa penulangan geser) untuk menahan gaya geser adalah  $V_c$ ,

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'c} b_w d \quad (1)$$

atau dengan menggunakan persamaan (3.4-6) yang lebih terinci sebagai berikut :

$$V_c = \frac{1}{7} (\sqrt{f'c} + 120 \rho_w (\frac{V_u d}{M_u})) b_w d \quad (2)$$

dengan  $M_u$  adalah momen terfaktor yang terjadi bersamaan dengan gaya geser terfaktor maksimum  $V_u$  pada penampang kritis, sedangkan batas atas faktor pengali dan  $V_u$  adalah sebagai berikut :

$$\frac{V_u d}{M_u} \leq 1,0 \quad (3)$$

$$V_c \leq (0,30 \sqrt{f'c}) b_w d \quad (4)$$

dengan :

$V_c$  = kuat geser beton (N)

$f'c$  = kuat tekan beton (N/mm<sup>2</sup>)

$b_w$  = lebar efektif penampang balok (mm)

$\rho_w$  = ratio luas tulangan lentur dengan luas penampang balok

$M_u$  = Momen akibat beban luar yang bekerja (Nmm)

Kuat geser ideal beton dikenakan faktor reduksi kekuatan  $\phi = 0,60$ . Sedangkan kuat geser rencana  $V_u$  didapatkan dari hasil penerapan faktor beban, di mana nilai  $V_u$  lebih mudah ditentukan dengan menggunakan diagram gaya geser.

Meskipun secara teoritis tidak perlu penulangan geser apabila  $V_u \leq \phi V_c$ , peraturan mengharuskan untuk selalu menyediakan penulangan geser minimum pada semua bagian struktur beton yang mengalami lenturan (meskipun menurut perhitungan tidak memerlukannya), kecuali untuk plat dan fondasi plat, struktur balok beton rusuk seperti yang ditentukan dalam Pasal 3.1.11 SK SNI T-15-1991-03, balok yang tinggi totalnya tidak lebih dari 250 mm, atau 2,5 kali tebal flens, atau 1,5 kali lebar badan balok, diambil mana yang lebih besar, dengan rumus :

$$V_u \leq \frac{1}{2} \phi V_c \quad (\text{dengan } \phi = 0,60) \quad (5)$$

Ketentuan tulangan geser minimum tersebut untuk menjaga apabila timbul beban yang tak terduga pada komponen struktur yang mungkin akan mengakibatkan kerusakan (kegagalan) geser. Sedangkan pada tempat di mana diperlukan tulangan geser minimum, jumlah luasnya ditentukan dengan Pasal 3.4-14 SK SNI T-15-1991-03 sebagai berikut :

$$A_v = \frac{1}{3} (b_w \frac{S}{f_y}) \quad (6)$$

dengan :

$A_v$  = luas penampang tulangan geser total dengan jarak spasi antar tulangan  $s$ , untuk sengkang keliling tunggal  $A_v = 2 A_s$ , di mana  $A_s$  adalah

luas penampang batang tulangan sengkang (mm<sup>2</sup>)

$b_w$  = lebar balok, untuk balok persegi =  $b$  (mm)

$S$  = jarak pusat ke pusat batang tulangan geser ke arah sejajar tulangan pokok memanjang (mm)

$f_y$  = kuat luluh tulangan geser (MPa)

Apabila gaya geser yang bekerja  $V_u$  lebih besar dari kapasitas geser beton  $\phi V_c$ , maka diperlukan penulangan geser untuk memperkuatnya. Apabila gaya geser yang bekerja di sembarang tempat sepanjang bentang lebih besar dari  $\frac{1}{2} \phi V_c$ , peraturan mengharuskan memasang paling tidak tulangan geser minimum yang disyaratkan. Pada Pasal 3.4.1 dan Pasal 3.4.2 SK SNI T-15-1991-03 dinyatakan bahwa dasar perencanaan tulangan geser adalah :

$$V_u \leq \phi V_n \quad (7a)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (7b)$$

Sehingga  $V_u \leq \phi V_c + \phi V_s \quad (7c)$

dengan :

$V_u$  = Beban geser terfaktor (N)

$\phi$  = faktor reduksi kuat geser

$V_c$  = kuat geser beton (N)

$V_n$  = kuat geser ideal atau nominal (N)

$V_s$  = kuat geser nominal yang dapat disediakan oleh tulangan geser (N)

Untuk sengkang tegak (vertikal),  $V_s$  dapat dihitung dengan menggunakan Pasal 3.4-17 SK SNI T-15-1991-03 :

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \quad (8)$$

Seperti telah disebutkan terdahulu, sebagai pembatas geser rencana ( $V_u$ ) atau gaya geser yang telah dikalikan dengan faktor beban, sama dengan kuat geser beton ditambah kuat geser tulangan geser.  $V_u \leq \phi (V_c + V_s) \quad (9)$

Menentukan jarak spasi tulangan sengkang dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

Untuk sengkang vertical,

$$s \text{ perlu} = (\frac{A_v f_y d}{V_s}) \quad (10)$$

Untuk sengkang miring,

$$s \text{ perlu} = (1,414) (\frac{A_v f_y d}{V_s}) \quad (11)$$

Kedua persamaan tersebut digunakan untuk menghitung jarak maksimum antar sengkang didasarkan pada kuat bahan yang diperlukan. Kuat tulangan geser nominal yang diperlukan  $V_s$  dapat ditentukan dari diagram gaya geser terfaktor  $V_u$ , dan Pasal 3.4-1 dan Pasal 3.4-2 SK SNI T-15-1991-03 :

$$V_u \leq \phi V_c + \phi V_s \quad (12)$$

Selanjutnya diperoleh :

$$V_s \text{ perlu} = \frac{(V_u - \phi \cdot V_c)}{\phi}$$

$$V_s \text{ perlu} = \left( \frac{V_u}{\phi} \right) - V_c \quad (13)$$

**G. Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain :

- 1). Semen Portland jenis I merk Gresik
- 2). Pasir, berasal dari Muntilan, Jogjakarta
- 3). Kerikil, berasal dari Karanganyar
- 4). Air, berasal dari Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil UMS
- 5). Tulangan baja, berasal dari toko bahan bangunan di Surakarta
- 6). Bekisting untuk cetakan balok beton bertulang digunakan kayu sengon.

**H. Peralatan Penelitian**

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1). Alat untuk pemeriksaan kualitas bahan-bahan penelitian.
- 2). Alat untuk pembuatan campuran adukan beton.
- 3). Alat untuk pembuatan sampel uji kuat tekan beton.
- 4). Alat untuk pembuatan sampel uji kuat geser sengkang balok beton bertulang.
- 5). Alat untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik tulangan baja .
- 6). Alat untuk pengujian kuat geser sengkang balok beton bertulang.

**I. Sampel Pengujian Geser**

Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan sengkang konvensional dan tulangan sengkang alternative dengan ukuran penampang balok, lebar=15 cm, tinggi=20 cm dan bentang balok 150 cm. Spasi sengkang dipasang sebesar 40 mm, 80 mm, dan 120 mm. Jumlah sengkang masing-masing variasi sample adalah 2 buah, sehingga total sample balok beton bertulang untuk pengujian geser adalah 12 buah.

**J. Hasil Pengujian dan Pembahasan**

Tabel 1. Berat Jenis Sampel Kuat Desak Beton

No	Kode sampel	Berat sampel (kg)	Volume sampel (cm <sup>3</sup> )	Berat jenis sampel (T/m <sup>3</sup> )	Berat jenis sampel rata-rata (T/m <sup>3</sup> )
1	BN-1	11,7	5298,75	2,208	2,12
2	BN-2	11	5298,75	2,076	
3	BN-3	11	5298,75	2,076	

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja Tulangan

No	Kode sampel	Beban Tarik saat luluh (kN)	Luas penampang sampel (mm <sup>2</sup> )	Tegangan luluh baja (MPa)	Tegangan luluh baja rata-rata (MPa)
1	BJ-1	11	42,98	255,891	252,01
2	BJ-2	10	42,98	232,628	
3	BJ-3	11,5	42,98	267,523	

Hasil pengujian kuat tarik tulangan baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuat luluh (f<sub>y</sub>) sebesar 252,01 MPa. Besarnya kuat luluh tulangan baja yang digunakan ini relative mendekati kuat luluh yang direncanakan sebesar 240 MPa. Selanjutnya untuk keperluan analisis maupun berbagai perhitungan dalam penelitian ini digunakan nilai riil kuat luluh tulangan baja sebesar f<sub>y</sub> = 252,01 MPa.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Desak Beton

No	Kode sampel	Beban desak maksimum (kN)	Luas penampang sampel (mm <sup>2</sup> )	Tegangan desak beton (MPa)	Teg. Dsk. beton rata2 (MPa)
1	BJ-1	365	17662,5	20,665	20,382
2	BJ-2	345	17662,5	19,533	
3	BJ-3	370	17662,5	20,948	

Tabel 4. Hasil pengujian geser balok

No	Kode sampel	Beban geser maks (P) (kN)	Displacement (cm)	Beban geser rata-rata (P) (kN)
1	SK-40 mm (1)	30	3	35
2	SK-40 mm (2)	40	2,8	
3	SK-80 mm (1)	27	3	28,5
4	SK-80 mm (2)	30	2,6	
5	SK-120 mm (1)	25	3	26
6	SK-120 mm (2)	27	3	
7	SA-40 mm (1)	37	3	33,75
8	SA-40 mm (2)	30,5	3	
9	SA-80 mm (1)	33	3	31
10	SA-80 mm (2)	29	3	
11	SA-120 mm (1)	27	3	27
12	SA-120 mm (2)	27	3	

Keterangan :

SK : sengkang konvensional, SA : sengkang alternative

Hasil pengujian kuat desak beton diperoleh tegangan desak beton rata-rata (kuat desak beton) sebesar f<sub>c</sub> = 20,382 MPa. Kuat desak beton yang direncanakan dalam penelitian ini adalah sebesar 20 MPa, sehingga dapat dinyatakan bahwa hasil pengujian kuat desak beton tersebut relative sama dengan yang direncanakan. Maka dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian kuat desak beton telah memenuhi rencana dan selanjutnya untuk keperluan analisis dan berbagai perhitungan dalam penelitian ini dipergunakan kuat desak beton sebesar 20,382 MPa.

Pengujian kuat geser sengkang yang dilakukan dalam penelitian ini ada 2 macam bentuk tulangan sengkang, yaitu sengkang konvensional dan sengkang alternatif. Pengujian kuat geser ini dilakukan dengan menggunakan mesin uji geser model dongkrak hidrolik dan pengujian dilakukan sampai dengan benda uji geser yang berupa balok beton bertulang mengalami keretakan geser. Pada saat balok beton bertulang tersebut mengalami keretakan geser, maka dari mesin uji geser dapat

dicatat besarnya beban yang menyebabkan keretakan geser tersebut. Selanjutnya hasil pengujian kuat geser sengkang dapat dilihat pada Lampiran IV.14 atau dituliskan pada Tabel V.9.

Selanjutnya hasil perhitungan  $V_u$  maksimal pada semua benda uji disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan  $V_u$  maksimal hasil pengujian pada sengkang konvensional

Benda uji	Beban geser maksimal (kN)	$V_u$ maks (kN)	Rata-rata $V_u$ (kN)
SK-40 mm (1)	30	15,477	17,977
SK-40 mm (2)	40	20,477	
SK-80 mm (1)	27	13,977	14,727
SK-80 mm (2)	30	15,477	
SK-120 mm (1)	25	12,977	13,477
SK-120 mm (2)	27	13,977	

SK : sengkang konvensional

Tabel 6. Hasil perhitungan  $V_u$  maksimal hasil pengujian pada sengkang alternatif

Benda uji	Beban geser maksimal (kN)	$V_u$ maks (kN)	Rata-rata $V_u$ (kN)
SA-40 mm (1)	37	18,977	17,352
SA-40 mm (2)	30,5	15,727	
SA-80 mm (1)	33	16,977	15,977
SA-80 mm (2)	29	14,977	
SA-120 mm (1)	27	13,977	13,977
SA-120 mm (2)	27	13,977	

SA : sengkang alternatif

Selanjutnya hasil perhitungan besarnya  $V_u$  maksimal analitis untuk semua kelompok sampel ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan  $V_u$  maks analitis (beban geser maksimal) pada balok uji

Kode sampel	$V_u$ maks (kN)	$V_u$ rata-rata (kN)
SK-40 mm (1)	24,718	24,718
SK-40 mm (2)	24,718	
SK-80 mm (1)	17,542	17,542
SK-80 mm (2)	17,542	
SK-120 mm (1)	15,132	15,132
SK-120 mm (2)	15,132	
SA-40 mm (1)	24,718	24,718
SA-40 mm (2)	24,718	
SA-80 mm (1)	17,542	17,542
SA-80 mm (2)	17,542	
SA-120 mm (1)	15,132	15,132
SA-120 mm (2)	15,132	

SK : sengkang konvensional , SA : sengkang alternatif

Berdasarkan Tabel V.9 terlihat bahwa beban geser maksimal dan beban geser maksimal rata-rata antara sampel dengan sengkang konvensional maupun sampel dengan sengkang alternatif nilainya hampir sama pada tiap-tiap kelompok sampel dengan spasi sengkang yang sama. Walaupun ada perbedaan besarnya beban geser maksimal maupun beban geser rata-rata pada kedua jenis sengkang tersebut, tetapi perbedaannya (selisihnya) tidak begitu signifikan. *Displacement* (lendutan) maksimal yang terjadi pada saat beban geser maksimal tercapai berkisar antara nilai 2,6 cm – 3 cm. Dengan besarnya lendutan

maksimal yang hampir sama pada semua sampel tersebut menunjukkan bahwa keretakan (runtuhnya) balok uji beton bertulang terjadi pada keadaan yang hampir sama pula. Maka, data hasil pengujian geser yang telah diperoleh di atas dapat dinyatakan sebagai data yang *valid* (dapat dipertanggungjawabkan).

Tabel 8. Perbandingan  $V_u$  rata-rata hasil pengujian dan  $V_u$  rata-rata analitis

Kode sampel	$V_u$ rata-rata hasil pengujian (kN)	$V_u$ rata-rata analitis (kN)	Keterangan
SK-40 mm (1)	17,977	24,718	Hasil pengujian lebih kecil dari analitis
SK-40 mm (2)			
SK-80 mm (1)	14,727	17,542	
SK-80 mm (2)			
SK-120 mm (1)	13,477	15,132	Hasil pengujian lebih kecil dari analitis
SK-120 mm (2)			
SA-40 mm (1)	17,352	24,718	Hasil pengujian lebih kecil dari analitis
SA-40 mm (2)			
SA-80 mm (1)	15,977	17,542	
SA-80 mm (2)			
SA-120 mm (1)	13,977	15,132	Hasil pengujian lebih kecil dari analitis
SA-120 mm (2)			

Perhitungan beban geser yang dilimpahkan kepada tulangan sengkang ( $V_s$ ) pada balok uji berdasarkan  $V_u$  rata-rata hasil pengujian. Selanjutnya, untuk semua balok uji hasil perhitungan  $V_s$  disajikan pada Tabel V.14.

Tabel 9. Hasil perhitungan  $V_s$  pada balok uji

Kode sampel	$V_u$ rata-rata hasil pengujian (kN)	$V_s$ (kN)	Keterangan
SK-40 mm (1)	17,977	12,775	Sengkang konvensional
SK-40 mm (2)			
SK-80 mm (1)	14,727	7,358	Sengkang konvensional
SK-80 mm (2)			
SK-120 mm (1)	13,477	5,275	Sengkang konvensional
SK-120 mm (2)			
SA-40 mm (1)	17,352	11,733	Sengkang alternatif
SA-40 mm (2)			
SA-80 mm (1)	15,977	9,441	Sengkang alternatif
SA-80 mm (2)			
SA-120 mm (1)	13,977	6,108	Sengkang alternatif
SA-120 mm (2)			

Berdasarkan Tabel 8 di atas terlihat bahwa semua balok uji mempunyai  $V_u$  maksimal rata-rata dari hasil pengujian di laboratorium lebih kecil nilainya dibandingkan dengan  $V_u$  rata-rata analitis. Hal ini menunjukkan bahwa pada pengujian yang telah dilakukan ternyata keruntuhan geser terjadi

pada saat beban yang bekerja masih di bawah beban analitis yang mampu ditahan oleh balok uji tersebut. Maka, analisis lebih lanjut besarnya  $V_u$  yang digunakan untuk mengetahui kekuatan sengkang konvensional maupun sengkang alternatif dipakai  $V_u$  rata-rata hasil pengujian karena lebih sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.

Tabel 10. Perbandingan  $V_s$ , kekuatan sengkang konvensional dan sengkang alternatif

Kode sampel	$V_s$ (kN)	Kode sampel	$V_s$ (kN)	Selisih kekuatan (%)
SK-40 mm	12,775	SA-40 mm	11,733	8,88
SK-80 mm	7,358	SA-80 mm	9,441	28,31
SK-120 mm	5,275	SA-120 mm	6,108	15,79

Selanjutnya, dari Tabel 10 di atas dapat diketahui bahwa sengkang konvensional lebih kuat dibandingkan dengan sengkang alternatif pada kelompok sampel dengan spasi 40 mm. Pada kelompok sampel dengan spasi 80 mm dan 120 mm, sengkang alternatif lebih kuat dibandingkan dengan sengkang konvensional. Berdasarkan hal tersebut di atas, maka secara umum tidak dapat dinyatakan apakah sengkang konvensional lebih kuat dibandingkan dengan sengkang alternatif atau sebaliknya, karena hasil analisis seperti disajikan pada Tabel 10, tidak seluruh kelompok sampel mempunyai perilaku yang sama. Perbedaan kekuatan (selisih kekuatan) antara kedua jenis sengkang tersebut dari perhitungan diperoleh angka sebesar maksimal 28,31 %. Selanjutnya, selisih kekuatan ini akan ditinjau apakah masih dalam batas toleransi yang dapat diterima untuk menyatakan bahwa kekuatan antara kedua jenis sengkang tersebut relatif sama. Maka, akan ditinjau selisih beban geser yang diperoleh dari pengujian di laboratorium pada benda uji di kelompok sampel yang sama, yang akan dinitung seperti Tabel 11 berikut ini.

Dari Tabel 11 di atas terlihat bahwa dalam kelompok sampel yang sama, besarnya beban geser yang terjadi tidak bisa persis sama besarnya tetapi ada perbedaan atau selisih. Ada satu kelompok sampel yang benar-benar sama beban geser yang terjadi, tetapi ada lebih banyak kelompok sampel yang tidak sama beban geser yang terjadi. Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh besarnya selisih beban geser maksimal sebesar 33,33 % yaitu pada kelompok sampel SK-40 mm. Selisih beban geser sebesar 33,33 % ini selanjutnya ditetapkan sebagai batas toleransi yang dapat diterima untuk menyatakan keadaan yang sama (relatif sama).

Tabel 11. Selisih beban geser maksimal pada sampel pengujian

Kode sampel	Beban geser maks (kN)	Selisih beban geser maks (kN)	Prosentase Selisih beban geser maks (%)
SK-40 mm (1)	30	10	33,33
SK-40 mm (2)	40		
SK-80 mm (1)	27	3	11,11
SK-80 mm (2)	30		
SK-120 mm (1)	25	2	8
SK-120 mm (2)	27		
SA-40 mm (1)	37	6,5	21,311
SA-40 mm (2)	30,5		
SA-80 mm (1)	33	4	13,79
SA-80 mm (2)	29		
SA-120 mm (1)	27	0	0
SA-120 mm (2)	27		

Selanjutnya, meninjau kembali besarnya selisih kekuatan yang terjadi antara sengkang konvensional dan sengkang alternatif sebesar 28,31 %, maka jika dibandingkan dengan batas toleransi yang dapat diterima untuk menyatakan keadaan yang sama (relatif sama) yaitu sebesar 33,33 %, nilai 28,31 % masih lebih kecil dari 33,33 %. Sehingga, berdasarkan hal tersebut di atas dapat dinyatakan bahwa kekuatan geser sengkang konvensional dibandingkan dengan kekuatan geser sengkang alternatif adalah sama (relatif sama).

**K. KESIMPULAN DAN SARAN**

**1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, maka beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh dinyatakan sebagai berikut :

- 1). Beban geser maksimal yang terjadi pada balok uji ( $V_u$  maksimal hasil pengujian) dengan tulangan sengkang konvensional diperoleh sebagai berikut :
  - (a). beban geser maksimal rata-rata sebesar 17,977 kN, untuk sengkang dengan spasi 40 mm.
  - (b). beban geser maksimal rata-rata sebesar 14,727 kN, untuk sengkang dengan spasi 80 mm.
  - (c). beban geser maksimal rata-rata sebesar 13,477 kN, untuk sengkang dengan spasi 120 mm.
- 2). Beban geser maksimal yang terjadi pada balok uji ( $V_u$  maksimal hasil pengujian) dengan tulangan sengkang alternatif diperoleh sebagai berikut :
  - (a). beban geser maksimal rata-rata sebesar 17,352 kN, untuk sengkang dengan spasi 40 mm.
  - (b). beban geser maksimal rata-rata sebesar 15,977 kN, untuk sengkang dengan spasi 80 mm.

- (c). beban geser maksimal rata-rata sebesar 13,977 kN, untuk sengkang dengan spasi 120 mm.
- 3). Kuat geser maksimal tulangan sengkang konvensional ( $V_s$  maksimal hasil pengujian) dapat dijabarkan sebagai berikut :
- (a). kuat geser maksimal rata-rata sebesar 12,775 kN, untuk sengkang dengan spasi 40 mm.
- (b). kuat geser maksimal rata-rata sebesar 7,358 kN, untuk sengkang dengan spasi 80 mm.
- (c). kuat geser maksimal rata-rata sebesar 5,275 kN, untuk sengkang dengan spasi 120 mm.
- 4). Kuat geser maksimal tulangan sengkang alternatif ( $V_s$  maksimal hasil pengujian) dapat dijabarkan sebagai berikut :
- (a). kuat geser maksimal rata-rata sebesar 11,733 kN, untuk sengkang dengan spasi 40 mm.
- (b). kuat geser maksimal rata-rata sebesar 9,441 kN, untuk sengkang dengan spasi 80 mm.
- (c). kuat geser maksimal rata-rata sebesar 6,108 kN, untuk sengkang dengan spasi 120 mm.
- 5). Ada sedikit perbedaan kuat geser antara tulangan sengkang konvensional dan tulangan sengkang alternatif, yaitu selisih kuat geser maksimal antara kedua bentuk penulangan tersebut sebesar 28,31%. Selisih kuat geser sebesar 28,31% ini masih lebih kecil dari selisih beban geser pada kelompok sampel yang sama, yaitu sebesar 33,33% (dinyatakan sebagai batas toleransi yang dapat diterima untuk menyatakan keadaan yang sama atau relatif sama). Maka, kekuatan geser antara tulangan sengkang konvensional dan

tulangan sengkang alternatif dapat dinyatakan sama (*relatif sama*).

## 2. Saran

Hal-hal yang dapat disarankan berdasarkan hasil penelitian ini antara lain :

- 1). Penelitian dengan topik semacam ini perlu untuk ditinjau pada umur beton yang lebih lama misalnya umur beton 21 hari, 28 hari atau yang lebih lama lagi untuk mengetahui perilaku-perilaku pada kedua bentuk penulangan geser di atas terhadap kekuatannya.
- 2). Penelitian semacam ini juga dapat dikembangkan pada balok tinggi yaitu balok beton yang cenderung menahan pembebanan geser yang lebih dominan dibandingkan dengan beban lentur, sehingga diperlukan tinggi penampang yang besar dibandingkan lebar penampangnya.
- 3). Penelitian yang telah dilakukan ini terbatas dengan alat pengujian geser balok dengan dimensi maksimal penampang balok beton sebesar 20 cm dan kapasitas alat menahan beban sebesar maksimal 10 ton. Dengan kondisi semacam ini maka dapat dilakukan penelitian serupa untuk balok beton dengan dimensi penampang balok yang lebih besar dan dengan alat pengujian geser yang mempunyai kapasitas menahan beban maksimal yang lebih besar lagi.
- 4). Perlu dilakukan penelitian lanjut untuk mendapatkan hasil penelitian yang jauh lebih baik dari penelitian sebelumnya, yaitu dengan menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak lagi agar didapatkan data yang lebih bervariasi.

---

## DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A., 1997. *Struktur Beton I (Balok dan Plat Beton Bertulang)*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Asroni, A., 2001. *Struktur Beton Lanjut*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Dipohusodo, I., 1994. *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Kenneth, M. L., 1997. *Reinforced Concrete Design*, Mc.Graw Hill, Singapore.
- Kusuma, G., 1997. *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Erlangga, Jakarta.
- LPMB, 1991. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung (SK SNI T-15-1991-03)*, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
- Murdock, L. J. and K.M. Brook, 1991. *Bahan dan Praktek Beton Terjemahan Stephany Hindarko*, Erlangga, Jakarta.
- Neville, A. M., 1987. *Concrete Technology*, Longman Group UK Limited, England.
- Wahyudi, L., 1997. *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.