

TINJAUAN KUAT GESER SENGGANG ALTERNATIF DAN SENGGANG KONVENSIONAL PADA BALOK BETON BERTULANG

Basuki*, Nurul Hidayati**

ABSTRACT

Reinforced-concrete requires bending and shearing reinforcement. Bending reinforcement is used to detain bending moment, whereas shearing reinforcement (senggang) is used to detain shearing load. Generally, vertical shearing reinforcement has a function to detain shearing load. Whereas horizontal shearing reinforcement is not calculated in detaining load force occurred on a beam. Vertical shearing reinforcement prevents a beam to apart due to shear force. This research was done to find whether horizontal shearing reinforcement (alternative reinforcement) is required in construction. The objectives of this research is to know the maximum shear load and the difference between alternative reinforcement and conventional reinforcement in reinforced-concrete beam. This research was carried out in 5 steps, i.e., preparation of research equipment and material; inspection of research material quality; provision of test materia; concrete strength compression test and reinforced-concrete beam shear compression test; and analysis and discussion. The research took place at Construction Material Laboratory at Civil Engineering Department, Faculty of Engineering UMS. The number of object test were 12 pieces, and 2 pieces of object test were used for each variation. The space variation used were 40 mm, 80 mm and 120 mm, with reinforcement weidth 15 cm and height 20 cm, and beam length 150 cm. According to analysis result, it is known that maximum shear force occurred in a reinforcement with space 40 mm, i.e., 1797,7 kgs for conventional reinforcement and 1735,2 kgs for alternative reinforcement. Whereas, maximum shear compression is 766,5 kgs for conventional reinforcement and 704 kgs for alternative reinforcement, and the biggest difference between conventional reinforcement shear compression and alternative reinforcement shear compression is 28,31% which occurred in a reinforcement with space 80 mm, and the difference of shear load is 8,49%. Generally, it can be said that shear strength between conventional reinforcement and alternative reinforcement is relatively equal.

Keywords : kuat geser, senggang alternatif, senggang konvensional, balok beton bertulang

PENDAHULUAN

Beton merupakan elemen struktur bangunan yang telah dikenal dan banyak dimanfaatkan sampai saat ini. Beton banyak mengalami perkembangan, baik dalam pembuatan campuran maupun dalam pelaksanaan konstruksinya. Salah satu perkembangan beton yaitu pembuatan kombinasi antara material beton dan baja tulangan menjadi satu kesatuan konstruksi yang dikenal sebagai beton bertulang. Beton bertulang banyak diterapkan pada bangunan-bangunan seperti: gedung, jembatan, perkerasan jalan, bendungan, tandon air dan berbagai konstruksi lainnya. Beton bertulang pada bangunan gedung terdiri dari beberapa elemen struktur, misalnya balok, kolom, plat lantai, pondasi, *sloof*, ring balok, ataupun plat atap.

Beton bertulang sebagai elemen balok harus diberi penulangan yang berupa penulangan lentur (memanjang) dan penulangan geser. Penulangan lentur dipakai untuk menahan pembebanan momen

lentur yang terjadi pada balok. Penulangan geser (penulangan senggang) digunakan untuk menahan pembebanan geser (gaya lintang) yang terjadi pada balok. Ada beberapa macam tulangan senggang pada balok, yaitu senggang vertikal, senggang spiral, dan senggang miring. Ketiga macam tulangan ini sudah lazim diterapkan dan sangat dikenal, yang dikenal sebagai tulangan senggang konvensional (Wahyudi, 1997).

Tulangan tipe ini mempunyai konsep perhitungan bahwa bagian tulangan senggang yang berfungsi menahan beban geser adalah bagian pada arah vertikal (tegak lurus terhadap sumbu batang balok), sedangkan pada arah horisontal (di bagian atas dan bawah) tidak diperhitungkan menahan beban gaya yang terjadi pada balok. Beban geser balok menyebabkan terjadinya keretakan geser, yang pada umumnya dekat dengan tumpuan balok beban gesernya besar. Kondisi ini menjalar ke arah vertikal-horisontal menuju tengah bentang balok.

* Basuki, staf pengajar jurusan Teknik Sipil - Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani No. 1 Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta 57102. E-mail: abas742003@yahoo.com

** Nurul Hidayati, staf pengajar jurusan Teknik Sipil - Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jl. A. Yani No. 1 Tromol Pos 1, Pabelan Kartasura, Surakarta 57102. E-mail : nh_hisyam@yahoo.com

Keretakan geser 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 semakin besar, sehingga kedua bagian balok akan terbelah. Berdasarkan kejadian ini, bagian tulangan sengkang pada arah vertikal adalah tulangan yang berhubungan langsung dengan keretakan geser tersebut. Tulangan ini mencegah terbelahnya balok akibat adanya keretakan geser, karena berfungsi untuk mengikat antara bagian balok di bawah retak geser dan bagian balok di atas retak geser. Retak geser pada balok tidak akan terjadi jika direncanakan dengan tepat agar mampu menahan gaya geser tersebut (Kennet, 1997).

Berdasarkan uraian tersebut penelitian ini dilakukan untuk mengkaji 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 tidak perlu ada, maka penulangan sengkang dengan konsep ini dapat memberikan manfaat positif, berupa efisiensi bahan/biaya. Konsep penulangan sengkang ini diistilahkan sebagai sengkang alternatif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui:

- 1) 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) Ada tidaknya perbedaan kuat geser sengkang alternatif dan sengkang konvensional pada balok beton bertulang, dan besarnya perbedaan tersebut.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut: menambah wawasan keilmuan khususnya tentang sengkang alternatif pada balok beton bertulang, dan dapat memberikan alternatif bentuk penulangan geser (sengkang) pada balok beton bertulang yang dimungkinkan akan memberikan efisiensi bahan atau biaya.

Beton

Beton terbuat dari agregat kasar, agregat halus, dan semen yang bereaksi dengan air sebagai bahan perekat, yang harus dicampur dan diaduk dengan benar dan merata agar dapat diperoleh mutu beton yang baik. Umumnya pengadukan bahan beton dilakukan dengan menggunakan mesin, kecuali jika hanya untuk mendapatkan beton mutu rendah, maka pengadukan dapat dilakukan tanpa menggunakan mesin pengaduk. Nilai *slump* digunakan sebagai petunjuk ketepatan jumlah pemakaian air, yang berhubungan dengan faktor air semen yang ingin dicapai. Waktu yang digunakan untuk pengadukan beton tergantung pada kapasitas isi mesin pengaduk, jumlah adukan, jenis serta susunan butir bahan

penyusun, serta nilai *slump* yang ingin dicapai. Umumnya waktu tersebut tidak kurang dari 1,50 menit dimulai saat pengadukan, dan hasil adukannya menunjukkan susunan warna yang merata. Nilai kuat tekan beton relatif tinggi bila dibandingkan dengan kuat tariknya, sehingga beton merupakan bahan bersifat getas. Nilai kuat tariknya hanya berkisar 9% - 15% dari kuat tekannya (Neville, 1987).

Kuat Beton terhadap Gaya Tekan dan Gaya Tarik

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan N/mm² atau MPa. Kuat tekan beton umur 28 hari nilainya berkisar antara kurang lebih 10 MPa - 65 MPa. Struktur beton bertulang umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar antara 17 MPa - 30 MPa, sedangkan beton prategangan menggunakan beton dengan kuat tekan lebih tinggi, berkisar antara 30 MPa-45 MPa. Beton *ready mix* sanggup mencapai nilai kuat tekan 62 MPa digunakan untuk keadaan dan keperluan struktur khusus, dan untuk memproduksi beton kuat tekan tinggi tersebut umumnya dilaksanakan dengan pengawasan ketat dalam laboratorium (Kusuma, 1997).

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 tidak konservatif untuk beton kuat tinggi dengan nilai f'_c antara 55 MPa - 80 MPa.

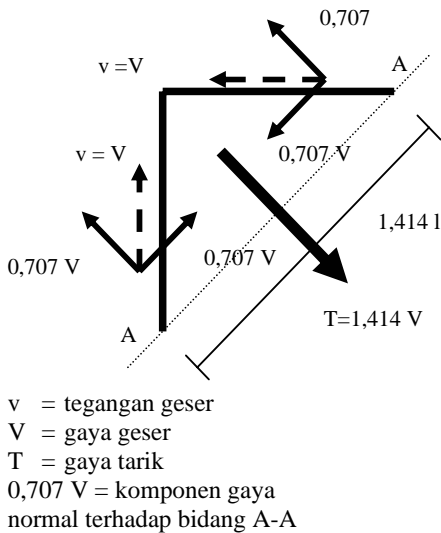
Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus. Setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar yang dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik beton normal hanya berkisar antara 9% - 15% dari kuat tekannya. Kuat tarik beton yang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

Kuat Geser Balok

Balok yang terlentur pada saat bersamaan juga menahan gaya geser akibat lenturan. Kondisi kritis geser akibat lentur ditunjukkan dengan timbulnya tegangan-regangan tarik tambahan di tempat tertentu pada komponen struktur terlentur. Apabila gaya geser yang bekerja pada struktur beton bertulang cukup besar hingga di luar kemampuan beton, maka perlu dipasang baja tulangan tambahan untuk menahan geser tersebut.

Tegangan geser dan lentur timbul di sepanjang struktur yang menahan gaya geser dan momen lentur, sehingga penampang mengalami tegangan di antara garis netral dan serat tepi penampang. Komposisi 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 (Asroni, 1997).

Lingkaran Mohr digunakan untuk menunjukkan bahwa tegangan normal maksimum dan minimum akan bekerja pada dua bidang yang saling tegak lurus satu sama lainnya. Bidang tersebut dinamakan bidang utama dan tegangan yang bekerja disebut tegangan utama (Asroni, 2001) seperti dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tegangan pada balok terlentur

Menurut Dipohusodo (1994), tegangan tarik dengan variasi besar dan kemiringan, baik sebagai akibat geser saja/gabungan dengan lentur, akan timbul di setiap tempat sepanjang balok, yang harus diperhitungkan dalam analisis dan perencanaan. Kejadian geser pada balok beton tanpa tulangan, umumnya kerusakan 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. Bentang geser yang lebih pendek, kerusakan 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

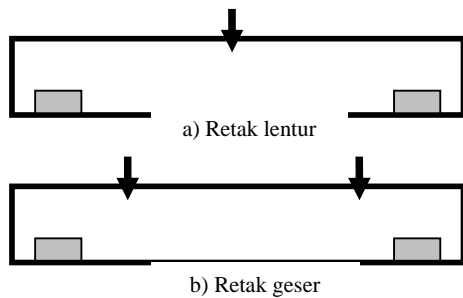
sebelum retak karena tarik diagonal. Terjadinya retak tarik lenturan pada balok tanpa tulangan merupakan peringatan awal kerusakan geser.

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 di tempat terjadinya 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, yang terjadi tegangan geser cukup besar dan mengakibatkan terjadinya retak miring. Tulangan baja pada balok beton bertulangan lentur arah memanjang bertugas sepenuhnya menahan gaya tarik yang timbul akibat lenturan. Apabila beban yang bekerja terus meningkat, tegangan tarik dan geser juga akan meningkat, sedangkan tulangan baja yang diperuntukkan menahan momen lentur di dalam balok letaknya tidak pada tempat terjadinya tegangan tarik diagonal, sehingga untuk itu diperlukan tambahan tulangan baja untuk menahan tegangan tarik diagonal tersebut di tempat yang sesuai (Dipohusodo, 1994).

Retak miring pada balok beton bertulang lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2, sedangkan perilaku balok tanpa penulangan geser dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Retak miring pada balok beton bertulang



Gambar 3. Perilaku balok tanpa penulangan geser

Menurut Dipohusodo (1994), mekanisme perlawanan geser dalam komponen struktur beton bertulang adalah sebagai berikut:

- 1) Adanya perlawanan geser beton sebelum terjadi retak.
- 2) Adanya gaya ikatan antar agregat (pelimpahan geser antar permukaan butir) ke arah tangensial di sepanjang retakan, yang serupa dengan gaya gesek akibat saling ikat antar agregat yang tidak teratur di sepanjang permukaan beton kasar.
- 3) Timbulnya aksi pasak tulangan memanjang sebagai perlawanan terhadap gaya transversal yang harus ditahan.
- 4) Terjadinya perilaku pelengkung pada balok yang relatif lebih tinggi, di mana segera setelah terjadi retak miring, beban yang dipikul oleh susunan reaksi gaya tekan yang membentuk busur melengkung dengan pengikatnya (tali busur) adalah gaya tarik di sepanjang tulangan memanjang yang ternyata memberikan cadangan kapasitas cukup tinggi.
- 5) Adanya perlawanan penulangan geser yang berupa sengkang vertikal ataupun miring (untuk balok bertulangan geser).

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).

Perencanaan Penulangan Geser

Perencanaan geser untuk komponen struktur tertentur didasarkan pada anggapan bahwa beton menahan sebagian dari gaya geser, sedangkan kelebihan/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 menggunakan sengkang, selain pelaksanaannya lebih mudah juga menjamin ketepatan pemasangannya. Penulangan dengan sengkang hanya memberikan andil terhadap sebagian pertahanan geser karena formasi/arah retak yang miring. Cara penulangan demikian terbukti mampu memberikan sumbangan untuk peningkatan kuat geser ultimate komponen struktur yang mengalami lenturan.

Persamaan (3.4-3) SK SNI T-15-1991-03, untuk komponen struktur yang menahan geser dan lentur saja, 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 menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

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/mm²)

b_w = lebar efektif penampang balok (mm)

ρ_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, 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 hasil 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 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 akan mengakibatkan kerusakan (kegagalan) geser. Sedangkan pada tempat yang memerlukan tulangan geser minimum, jumlah luasnya ditentukan dengan Pasal 3.4-14 SK SNI T-15-1991-03 sebagai berikut:

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

dengan:

A_v = luas penampang tulangan geser total dengan jarak spasi antar tulangan s , untuk sengkang keliling tunggal $A_v=2A_s$, dengan A_s luas penampang batang tulangan sengkang (mm²)

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 ϕV_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. Pasal 3.4.1 dan Pasal 3.4.2 SK SNI menyatakan dasar perencanaan tulangan geser adalah:

$$V_u \leq \phi V_n \quad (8)$$

$$V_n = V_c + V_s \quad (9)$$

$$\text{sehingga, } V_u \leq \phi V_c + \phi V_s \quad (10)$$

dengan:

V_u = beban geser terfaktor (N)

ϕ = 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)

Nilai V_s untuk sengkang tegak (vertikal), dapat dihitung dengan menggunakan Pasal 3.4.17 SK SNI, yaitu:

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \quad (11)$$

Menggunakan konsep tegangan geser SK SNI T-15-1991-03 dan dengan beberapa substitusi, maka didapatkan:

$$\text{Tegangan geser} = \frac{V_u}{\phi b_w d} = \frac{(\phi (V_c + V_s))}{\phi (b_w \cdot d)} \quad (12)$$

Persamaan tersebut dapat ditulis:

$$\text{Tegangan geser} = \left(\frac{V_c}{b_w \cdot d} \right) + \left(\frac{V_s}{b_w \cdot d} \right) \quad (13)$$

$\frac{V_c}{b_w \cdot d}$ = kapasitas tegangan geser beton,

$\frac{V_s}{b_w \cdot d}$ = kelebihan tegangan geser di atas kapasitas

beton yang harus didukung oleh tulangan baja geser pada balok.

Luas daerah tempat bekerjanya tegangan yang harus ditahan oleh tulangan geser adalah $1,414 S b_w$, sehingga gaya tarik diagonal adalah:

$$1,414 S b_w \left(\frac{V_s}{b_w \cdot d} \right) \quad (14)$$

komponen vertikal gaya tarik diagonal:

$$\begin{aligned} 0,707 (1,414 s b_w) \left(\frac{V_s}{b_w \cdot d} \right) &= s b_w \left(\frac{V_s}{b_w \cdot d} \right) \\ &= V_s \frac{S}{d} \end{aligned} \quad (15)$$

$A_v f_y$ adalah kapasitas tarik ultimit sengkang. Karena ke arah vertikal harus terjadi keseimbangan, maka:

$$A_v f_y = V_s \frac{S}{d}$$

$$\text{sehingga, } V_s = \frac{A_v f_y d}{S} \quad (16)$$

untuk tulangan sengkang miring sesuai dengan Pasal 3.4-18 SK SNI T-15-1991-03:

$$V_s = A_v f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) \left(\frac{d}{s} \right) \quad (17)$$

s adalah jarak spasi pusat ke pusat antar sengkang arah horisontal sejajar tulangan pokok memanjang.

Menentukan jarak spasi tulangan sengkang menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{sengkang vertikal} \quad s \text{ perlu} = \left(\frac{A_v f_y d}{V_s} \right) \quad (18)$$

$$\text{sengkang miring} \quad s \text{ perlu} = (1,414) \left(\frac{A_v f_y d}{V_s} \right) \quad (19)$$

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 yang selanjutnya diperoleh:

$$V_s \text{ perlu} = \frac{(V_u - \phi \cdot V_c)}{\phi} = \left(\frac{V_u}{\phi} \right) - V_c \quad (20)$$

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan-bahan yang dipergunakan antara lain:

- 1) Semen portland jenis I merk Gresik
- 2) Pasir berasal dari Muntilan, Yogyakarta
- 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.

Peralatan

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

Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam 5 tahap yang dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Tahap I : Persiapan bahan-bahan dan alat-alat penelitian.
- 2) Tahap II : Pemeriksaan kualitas bahan-bahan penelitian.
- 3) Tahap III : Penyediaan benda uji
 - a) Perencanaan campuran/*mix design*, pembuatan adukan beton dan sampel pengujian kuat tekan beton.
 - b) Pembuatan sampel balok beton bertulang untuk pengujian kuat geser sengkang.
 - c) Perawatan sampel pengujian kuat tekan beton dan kuat geser sengkang balok beton bertulang.
- 4) Tahap IV : Pengujian, meliputi: kuat tekan beton dan kuat geser sengkang balok beton bertulang.
- 5) Tahap V : Analisis data dan pembahasan

Tahap-tahap penelitian tersebut dijabarkan dalam bagan alir seperti Gambar 4.

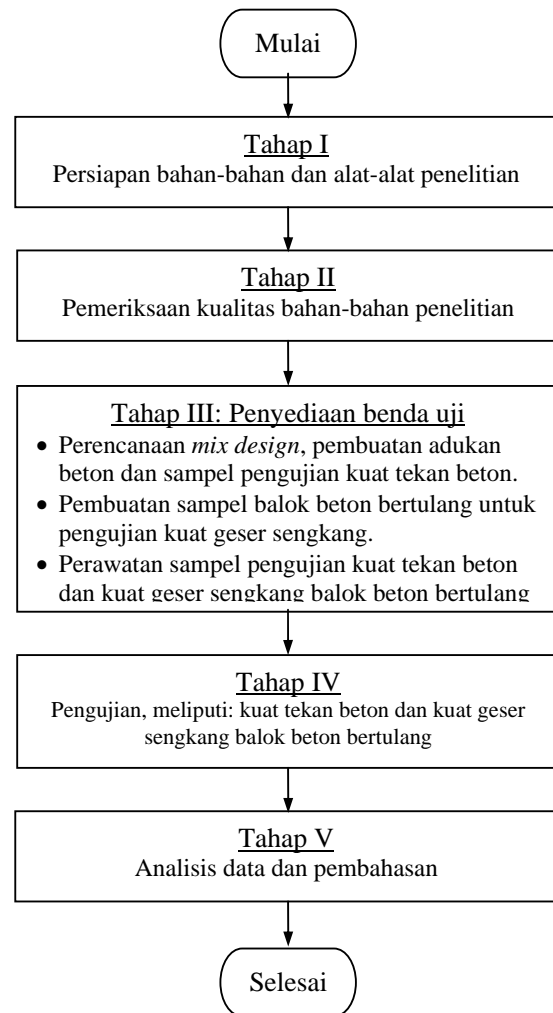
Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium dengan cara membuat sampel pengujian. Adapun sampel pengujian tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

Kelompok pertama : Sampel untuk pemeriksaan kualitas bahan susun beton.

Kelompok kedua : Sampel untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik tulangan baja.

Kelompok ketiga : Sampel untuk pengujian kuat geser sengkang balok beton bertulang.



Gambar 4. Bagan alir penelitian

Sampel pada kelompok ketiga ini, dibuat sebagai berikut:

- 1) Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan sengkang konvensional ukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm dan bentang balok 150 cm. Jumlah sampel 2 buah. Spasi sengkang 40 mm.
- 2) Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan sengkang alternatif berukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm dan bentang balok 150 cm. Jumlah sampel 2 buah. Spasi sengkang 40 mm.
- 3) Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan sengkang konvensional berukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm dan bentang balok 150 cm. Jumlah sampel 2 buah. Spasi sengkang 80 mm.

- 4) Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan sengkang alternatif berukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm dan bentang balok 150 cm. Jumlah sampel 2 buah. Spasi sengkang 80 mm.
 - 5) Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan sengkang konvensional berukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm dan bentang balok 150 cm. Jumlah sampel 2 buah. Spasi sengkang 120 mm.
 - 6) Sampel berupa balok beton bertulang dengan tulangan sengkang alternatif berukuran lebar 15 cm, tinggi 20 cm dan bentang balok 150 cm. Jumlah sampel 2 buah. Spasi sengkang 120 mm.
- Total jumlah sampel adalah sebanyak 12 buah.

Metode Analisis Data

Analisis data menggunakan bantuan Program MS-Excel untuk melakukan perhitungan dan pembuatan tabel, gambar serta kurva. Analisis meliputi perhitungan tentang pemeriksaan kualitas bahan-bahan penelitian, perhitungan kuat tekan dan kuat tarik tulangan baja, perhitungan kuat geser sengkang balok beton bertulang yang semuanya disesuaikan dengan rumus-rumus serta peraturan-peraturan yang berlaku. Pembuatan tabel, grafik, kurva dan gambar merupakan cara untuk mempermudah dalam melakukan analisis data agar dapat diketahui secara jelas bagaimana perilaku hasil penelitian dikaitkan dengan permasalahan dalam penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

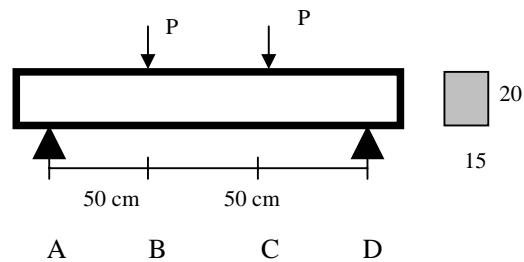
- 1) Pemeriksaan kandungan bahan organik pada agregat halus (Pasir dari Muntilan) diperoleh warna sesuai dengan warna standart nomor 5.
- 2) Pemeriksaan kandungan lumpur pada pasir diperoleh sebesar 9,61%, kandungan lumpur pada pasir tersebut melebihi dari syarat yang dianjurkan sebesar maksimal 5%. Agar kandungan lumpur berkurang dan memenuhi syarat yang diberlakukan, maka dilakukan tindakan pencucian dengan menyiramkan air ke material pasir tersebut agar dapat melarutkan lumpur yang terkandung dalam pasir.
- 3) Pemeriksaan gradasi pasir, diperoleh modulus halus butir 2,53. Gradasi pasir masuk daerah I / (II) / III / IV (kasar / *agak kasar* / agak halus / halus).
- 4) Pemeriksaan gradasi kerikil (dari Tawangmangu, Karanganyar), diperoleh modulus halus butir 6,77, sedangkan keausannya diperoleh sebesar 35,64 %. Syarat keausan untuk agregat kasar yang dipakai untuk bahan susun beton menurut PUBI tahun 1982 maksimal sebesar 50%. Berdasarkan hasil pengujian bahan dapat dinyatakan bahwa nilai

keausan agregat kasar telah memenuhi syarat yang diberlakukan.

- 5) Pemeriksaan berat jenis diperoleh: BJ kerikil 2,314 gram/cm³ dengan penyerapannya 4,38%, BJ agregat halus 2,405 gram/cm³ dengan penyerapan sebesar 8,21%, BJ kuat desak beton 2,12 T/m³.
- 6) Hasil pengujian kuat tarik tulangan baja diperoleh kuat luluh (f_y) sebesar 252,01 MPa. Besarnya kuat luluh tulangan baja yang digunakan ini relatif mendekati kuat luluh yang direncanakan sebesar 240 MPa. Nilai riil kuat luluh tulangan baja dalam analisis maupun menggunakan f_y sebesar 252,01 MPa.
- 7) Hasil pengujian kuat desak beton diperoleh kuat desak beton sebesar (f'_c) 20,382 MPa. Kuat desak beton yang direncanakan adalah sebesar 20 MPa, hasil pengujian tersebut relatif sama dengan yang direncanakan. Selanjutnya dalam analisis dipergunakan kuat desak beton sebesar 20,382 MPa.

Pendekatan Analisis

Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik baja tulangan, maka secara analisis dapat dijabarkan keruntuhan balok beton bertulang sebagai berikut:



Gambar 5. Struktur balok beton dengan pembebanannya

diketahui:

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan beton} \quad f'_c &= 20,382 \text{ MPa} \\ \text{Kuat tarik baja tulangan} \quad f_y &= 252,01 \text{ MPa} \\ \text{Berat jenis beton} &= 2,12 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

sehingga diperoleh berat sendiri beton (q):

$$\begin{aligned} q &= \text{berat jenis beton} \times (0,15 \text{ m} \times 0,20 \text{ m}) \\ q &= 2,12 \text{ t/m}^3 \times 0,15 \text{ m} \times 0,20 \text{ m} \\ q &= 0,0636 \text{ t/m} \end{aligned}$$

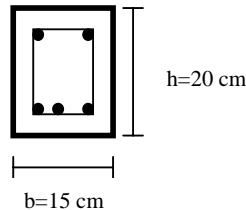
Reaksi tumpuan:

$$\begin{aligned} R_A = R_B &= P/2 + 1/2 q L \\ &= P/2 + 1/2 (0,0636 \text{ t/m} \times 1,5 \text{ m}) \\ &= 0,5 P + 0,0477 \text{ t} \\ &= 0,5 P + 47,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{M maksimal} &= \text{Momen di tengah-tengah bentang} \\ &= (R_A \times 0,75 \text{ m}) - (1/8 q L^2) - (P/2 \times 0,25 \text{ m}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= ((0,5 P + 47,7) \times 0,75) - (1/8 \times 0,0636 \times (1,5)^2) - (0,125 P) \\
&= 0,375 P + 35,775 - 0,0179 - 0,125 P \\
&= 0,25 P + 35,775 - 17,9 \\
&= 0,25 P + 17,875
\end{aligned}$$

Tulangan pada balok beton benda uji adalah sebagai berikut:



- φ tulangan sengkang 4 mm
- φ tulangan lentur 7,44 mm
- Tulangan lentur atas 2 D 7,44 mm
- Tulangan lentur bawah 3 D 7,44 mm
- Tebal selimut beton 40 mm
- $d = h - 40 - 4 - \frac{1}{2} \times 7,44$
- $d = 200 - 40 - 4 - \frac{1}{2} \times 7,44$
- $d = 152,28$ mm
- $ds = ds' = 47,72$ mm

Kuat tekan beton, $f'c = 20,382$ MPa
 Kuat tarik baja tulangan, $fy = 252,01$ MPa
 $As = 3 D 7,4 = 130,358$ mm²
 $As' = 2 D 7,4 = 86,905$ mm²
 $f_{kap} = \phi \cdot fy = 1,25 \times 252,01 = 315,013$ MPa
 $a = (As - As') f_{kap} / (0,85 \times f'c \times b) = 13688,259 / 2598,705 = 5,267$ mm
 $a_{kap} = 600 \beta_1 ds' / (600 - f_{kap}) = 600 \times 0,85 \times 47,72 / (600 - 315,013) = 85,397$ mm
 $a < a_{kap}$, maka a sebenarnya adalah:
 $p = (600 \times As' - As \times f_{kap}) / (1,7 \times f'c \times b) = 2,131$
 $q = (600 \times \beta_1 ds' \times As') / (0,85 \times f'c \times b) = 813,877$
 $a = (p^2 + q)^{0,5} - p = 26,476$ mm
 $f's = (a - 0,85 \times ds') \times 600 / a = -315,201 < 0$

sehingga:

$$\begin{aligned}
M_{kap} &= 0,85 \times f'c \times a \times b \times (d - a/2) \\
&= 9409830 \text{ Nmm} = 940,983 \text{ kg m}
\end{aligned}$$

Momen akibat beban P dan berat sendiri balok:
 Momen maksimal = $0,25 P m + 17,875$ kg m
 Momen maksimal = Momen kapasitas
 $0,25 P + 17,875 = 940,983$
 $0,25 P = 923,108$
 $P = 3692,432$ kg
 $P = 3,692432$ ton = 3,692 ton

P sebesar 3,692 ton adalah beban yang akan menyebabkan terjadinya keruntuhan lentur balok.

Balok dengan beban P sebesar 3,692 ton, maka besar gaya geser maksimalnya adalah V_u , yaitu sebesar R_A .

$$\begin{aligned}
V_u \text{ maks} &= 0,5 P + 47,7 \\
&= 0,5 \times 3692 + 47,7 \\
&= 1893,7 \text{ kg} = 1,8937 \text{ ton}
\end{aligned}$$

Besarnya kekuatan beton menahan gaya geser adalah:

$$\begin{aligned}
\phi V_c &= 0,6 \times 1/6 \times (f'c)^{0,5} b w d = 0,6 \times 1/6 \times \\
&= (20,382)^{0,5} \times 150 \times 152,28 \\
&= 10312,347 \text{ N} = 1,0312 \text{ ton}
\end{aligned}$$

$$V_u \text{ maks} = 1,8937 \text{ ton}$$

$$\phi V_c = 1,0312 \text{ ton}$$

Terlihat bahwa $V_u \text{ maks} > \phi V_c$, berarti akan terjadi keruntuhan geser pada balok beton bertulang pada saat $V_u \text{ maks} = \phi V_c$. Selanjutnya sisa beban geser pada $V_u \text{ maks}$ akan dilimpahkan kepada tulangan sengkang yang dipasang.

Selain itu $V_u \text{ maks} > \phi V_c$, menunjukkan bahwa tulangan lentur yang dipasang telah dapat menjamin terjadinya keruntuhan geser lebih dulu dibandingkan dengan keruntuhan lentur. Hal ini terlihat bahwa untuk terjadinya keruntuhan lentur memerlukan beban yang menyebabkan $V_u \text{ maks} = 1,8937$ ton, sedangkan keruntuhan geser akan terjadi pada saat $V_u \text{ maks}$ (beban geser) = $\phi V_c = 1,0312$ ton, sehingga beban P yang menyebabkan $V_u \text{ maks} = 1,0312$ ton tersebut lebih kecil dibandingkan beban P yang akan menyebabkan keruntuhan lentur. Maka besarnya beban geser yang dilimpahkan (ditahan) oleh tulangan geser (sengkang) adalah:

$$\begin{aligned}
\phi V_s &= V_u \text{ maks} - \phi V_c \\
&= 1,8937 \text{ ton} - 1,0312 \text{ ton} \\
&= 0,8625 \text{ ton} = 862,5 \text{ kg}
\end{aligned}$$

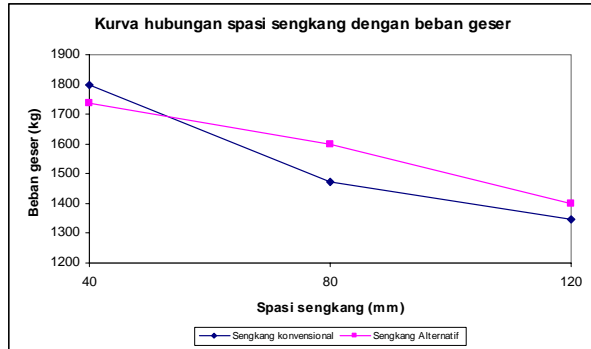
Hasil analisis secara lengkap yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2, Gambar 6 dan Gambar 7.

Tabel 1. Nilai beban geser maksimal tulangan sengkang

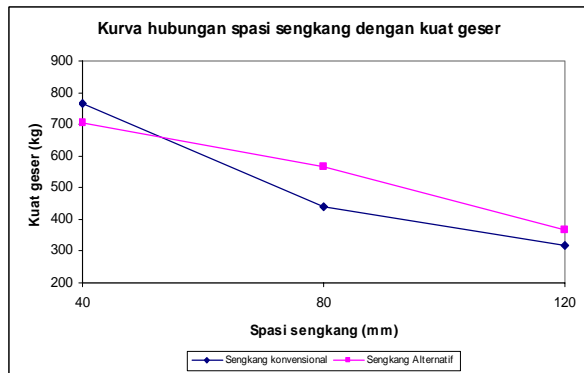
Sengkang konvensional		Sengkang Alternatif	
Spasi sengkang (mm)	Beban geser maksimal rata-rata (kg)	Spasi sengkang (mm)	Beban geser maksimal rata-rata (kg)
40	1797,7	40	1735,2
80	1472,7	80	1597,7
120	1347,7	120	1397,7

Tabel 2. Nilai kuat geser maksimal tulangan sengkang

Sengkang konvensional		Sengkang Alternatif	
Spasi sengkang (mm)	Kuat geser maksimal rata-rata (kg)	Spasi sengkang (mm)	Kuat geser maksimal rata-rata (kg)
40	766,5	40	704,0
80	441,5	80	566,5
120	316,5	120	366,5



Gambar 6. Kurva hubungan spasi sengkang dengan beban geser



Gambar 7. Kurva hubungan spasi sengkang dengan kuat geser

Berdasarkan Gambar 6 dan Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa semakin besar spasi sengkangnya maka kecenderungan nilai beban geser dan kuat gesernya semakin kecil. Kondisi tersebut terjadi baik untuk sengkang konvensional maupun sengkang alternatif. Gambar tersebut juga memperlihatkan bahwa secara umum nilai beban geser dan kuat geser sengkang alternatif lebih besar dibanding sengkang konvensional.

Beban geser maksimal terbesar terjadi pada sengkang dengan spasi 40 mm, yaitu sebesar 1797,7 kg untuk sengkang konvensional dan 1735,2 kg untuk sengkang alternatif. Kuat geser maksimal sebesar 766,5 kg untuk sengkang konvensional dan

704 kg untuk sengkang alternatif terjadi pada sengkang dengan spasi 40 mm.

Ada perbedaan kuat geser antara tulangan sengkang konvensional dan tulangan sengkang alternatif, yaitu selisih terbesar kuat geser maksimal adalah sebesar 28,31%. Selisih kuat geser sebesar 28,31% terjadi pada sengkang dengan spasi 80 mm. Perbedaan nilai juga terjadi pada beban geser maksimalnya, yaitu sebesar 8,49%. Meskipun terdapat perbedaan nilai, secara umum dikatakan bahwa kekuatan geser antara tulangan sengkang konvensional dan tulangan sengkang alternatif *relatif sama*.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

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

- 1) Beban geser maksimal terbesar terjadi pada sengkang dengan spasi 40 mm, yaitu sebesar 1797,7 kg untuk sengkang konvensional dan 1735,2 kg untuk sengkang alternatif.
- 2) Kuat geser maksimal sebesar 766,5 kg untuk sengkang konvensional dan 704 kg untuk sengkang alternatif terjadi pada sengkang dengan spasi 40 mm.
- 3) Ada perbedaan kuat geser antara tulangan sengkang konvensional dan tulangan sengkang alternatif, yaitu selisih terbesar kuat geser maksimal adalah sebesar 28,31%. Selisih kuat geser sebesar 28,31% terjadi pada sengkang dengan spasi 80 mm. Perbedaan nilai juga terjadi pada beban geser maksimalnya, yaitu sebesar 8,49%. Meskipun terdapat perbedaan nilai, secara umum dikatakan bahwa kekuatan geser antara tulangan sengkang konvensional dan tulangan sengkang alternatif *relatif sama*.

Saran

Beberapa saran 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.

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.
- Neville, A.M., 1987. *Concrete Technology*, Longman Group UK Limited, England.
- Wahyudi, L., 1997. *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.