

TINJAUAN VARIASI BENGKOKAN UJUNG-UJUNG TULANGAN SENGGANG VERTIKAL MODEL SKSNI DAN MODEL PASARAN TERHADAP KUAT GESER PADA BALOK BETON BERTULANG

THE VARIATION POINT OF VIEW OF VERTICAL FRAMING CROSSBAR BENDING POINTS BETWEEN SKSNI AND COMMON MODELS TOWARDS FRICATIVE STRENGTH IN THE REINFORCED CONCRETE BLOCK

Basuki

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan Kartasura Surakarta

ABSTRAK

Balok beton bertulang membutuhkan penulangan yang berupa penulangan lentur (penulangan memanjang) dan penulangan geser. Penulangan lentur dipakai untuk menahan beban momen lentur. Penulangan geser digunakan untuk menahan beban geser (gaya lintang) yang terjadi pada balok. Penulangan geser balok dikenal dengan istilah penulangan sengkang. Ada beberapa macam tulangan sengkang pada balok, yaitu tulangan sengkang vertikal, tulangan sengkang spiral, tulangan sengkang miring. Dari ketiga bentuk tulangan sengkang tersebut di atas, bentuk tulangan sengkang vertikal lebih sering dipergunakan pada konstruksi balok beton bertulang karena faktor kemudahan pembuatan dan pelaksanaannya. Tulangan sengkang vertikal dalam pembuatannya disesuaikan dengan bentuk penampang balok beton yang akan dibuat. Untuk bentuk penampang balok beton persegi empat, maka tulangan sengkang dibuat membentuk persegi empat pula dengan ujung-ujung bengkokan yang saling bertemu. Ujung-ujung bengkokan tulangan sengkang vertikal ini dibuat membentuk sudut 135° sesuai dengan SKSNI dan ada yang dibuat membentuk sudut 90° yaitu yang sering dijumpai di pasaran. Berdasarkan bentuk bengkokan kedua jenis tulangan sengkang vertikal, dimungkinkan bentuk bengkokan yang membentuk sudut 135° akan lebih kuat ikatannya dibandingkan dengan bentuk bengkokan yang membentuk sudut 90° .

Penting untuk dikaji lebih jauh adalah apakah variasi bentuk bengkokan ujung tulangan sengkang vertikal tersebut berpengaruh terhadap kuat gesernya. Sehingga sangat menarik untuk dilakukan penelitian di laboratorium mengenai pengaruh variasi bentuk bengkokan ujung-ujung tulangan sengkang vertikal terhadap kekuatan gesernya pada suatu konstruksi beton bertulang. Berdasarkan hasil penelitian terhadap balok beton bertulang dengan menggunakan tulangan sengkang vertikal model SKSNI (bengkokan ujung 135°) dan model pasaran (bengkokan ujung 90°) didapatkan hasil bahwa kekuatan geser sengkang vertikal model SKSNI cenderung lebih besar dibandingkan dengan kekuatan sengkang vertikal model pasaran. Selisih kekuatan geser antara kedua jenis tulangan tersebut cukup signifikan, yaitu berkisar antara 16,82% - 81,41%. Tulangan sengkang vertikal model SKSNI lebih kuat dibandingkan model pasaran disebabkan oleh adanya bengkokan ujung-ujung yang membentuk sudut 135° , dan berdampak pada ikatan antara tulangan sengkang vertikal model SKSNI tersebut dengan tulangan lentur menjadi lebih kuat dibandingkan ikatan pada sengkang vertikal model pasaran.

Kata Kunci: sengkang vertikal, bengkokan ujung-ujung, model SKSNI, model pasaran, kekuatan geser.

ABSTRACT

Reinforced concrete beam needs flexural reinforcement and shear reinforcement. Flexural reinforcement is used to support moment and shear reinforcement is used to support shear force in beam. The shear force reinforcement is usually called as cross bar reinforcement. There are some ways to make cross bar reinforcement in beam, as like vertical cross bar, spiral cross bar, or oblique cross bar. From the three kind of those cross bars, the vertical cross bar is most often used in the reinforced concrete beam because it is easy in the creating and constructing. Creating vertical cross bar has to suit to the shape of the cross section of the concrete beam. For the rectangular concrete beam shape, the shape of the vertical cross bar is rectangular shape too. The ends of the vertical cross bar are meets to each other. The ends bending of the vertical cross bar can be made in angle 135° as suggested SKSNI and can be made in angle 90° as can be found in practise. Based on the both shape of the ends bending of the vertical cross bar, the angle 135° is looked like having stronger capacity in shear support than the angle 90° because of the bunch from its ends. Later, it will be an interesting matter to be investigated the variety of the ends bending of the verti-

cal cross bar in the capacity of shear support when it used in the reinforcement concrete beam. Based on the result of the investigation of the reinforcement concrete beam using the vertical cross bar in SKSNI model (ends bending angle 135°) and vertical cross bar in practice (ends bending angle 90°), can be found that the first shape of the vertical cross bar is stronger than the second shape in the capacity of shear support. The difference of the capacity in shear support is about 16,82% up to 81,41%. The vertical cross bar SKSNI model is stronger than the practise model because of the ends bending in angle 135° gives bunch stronger to the flexural reinforcement than the angle 90° . This stronger bunch causes the vertical cross bar SKSNI model will be stronger too in supporting the shear force load.

Keywords: vertical cross bar, ends bending, SKSNI model, practise model, capacity of shear support

PENDAHULUAN

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 vertikal, tulangan sengkang spiral, tulangan sengkang miring. Dari ketiga bentuk tulangan sengkang tersebut di atas, bentuk tulangan sengkang vertikal lebih sering dipergunakan pada konstruksi balok beton bertulang karena faktor kemudahan pembuatan dan pelaksanaannya.

Suatu penelitian tentang sengkang konvensional dan sengkang alternatif memberikan hasil bahwa bentuk tulangan sengkang alternatif yaitu tulangan sengkang vertical tanpa bagian horizontal mempunyai kekuatan yang sama dengan tulangan sengkang konvensional (tulangan sengkang vertical) dan lebih hemat (efisien), karena dapat memberikan penghematan bahan tulangan sengkang dibandingkan dengan sengkang konvensional (Basuki, 2006).

Penelitian lainnya tentang sengkang konvensional dan sengkang alternatif adalah tentang besarnya penghematan (efisiensi) bahan tulangan yang dapat disumbangkan oleh bentuk tulangan sengkang alternatif. Analisis perbandingan kebutuhan bahan tulangan sengkang konvensional dan sengkang alternatif pada balok beton bertulang bangunan gedung 2 lantai memberikan hasil bahwa penghematan bahan tulangan yang dapat disumbangkan oleh sengkang alternatif adalah sebesar 25,56% (Basuki, 2006). Berdasarkan kedua hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa penulangan geser (sengkang) merupakan obyek yang cukup menarik untuk diteliti terus menerus sehingga akan didapatkan suatu desain tulangan geser (sengkang) yang optimal.

Tulangan sengkang vertikal dalam pembuatannya disesuaikan dengan bentuk penampang balok beton yang akan dibuat. Untuk bentuk penampang balok beton persegi empat, maka tulangan sengkang dibuat membentuk persegi empat pula dengan ujung-ujung bengkokan yang saling bertemu. Ujung-ujung bengkokan tulangan sengkang vertikal ini dibuat membentuk sudut 135° sesuai dengan SKSNI dan ada yang dibuat membentuk sudut 90° yaitu yang sering dijumpai di pasaran.

Berdasarkan bentuk bengkokan kedua jenis tulangan sengkang vertikal, dimungkinkan bentuk bengkokan yang membentuk sudut 135° akan lebih kuat ikatannya dibandingkan dengan bentuk bengkokan yang membentuk sudut 90° . Hal penting yang perlu dikaji lebih jauh adalah apakah variasi bentuk bengkokan ujung tulangan sengkang vertikal tersebut berpengaruh terhadap kuat geser dari tulangan sengkang vertikal saat dipergunakan sebagai tulangan geser pada balok beton bertulang. Sangat menarik untuk dilakukan penelitian di laboratorium mengenai pengaruh variasi bentuk bengkokan ujung-ujung tulangan sengkang vertikal terhadap kekuatan gesernya pada suatu konstruksi beton bertulang.

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.

Kerja sama 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.

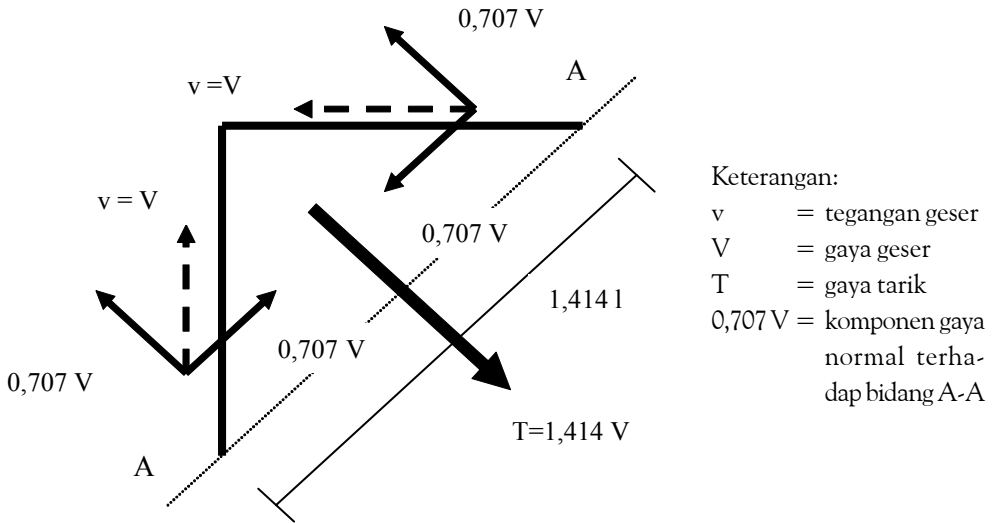
Untuk kepentingan pengendalian mutu, di samping pertimbangan ekonomis, beton dengan nilai kuat tekan f'_c lebih dari 20 MPa, perbandingan campuran bahan susun beton baik pada percobaan maupun produksinya harus didasarkan pada teknik penakaran berat. Untuk beton dengan nilai f'_c sampai dengan 20 MPa, pada pelaksanaan produksinya boleh menggunakan teknik penakaran volume, di mana volume tersebut adalah hasil konversi takaran berat sewaktu membuat rencana campuran. Sedangkan untuk beton dengan nilai f'_c tidak lebih dari 10 MPa, perbandingan campuran boleh menggunakan takaran volume 1 pc : 2 ps : 3 kr atau 1 pc : 3/2 ps : 5/2 kr (kedap air) , dengan catatan nilai slump tidak melampaui 100 mm.

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan N/mm² 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.

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
 (Sumber: Dipohusodo, 1994)

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 diperlukan tambahan tulangan baja untuk menahan tegangan tarik diagonal tersebut di tempat-tempat yang sesuai (Dipohusodo, 1994). Menge



Gambar 2. Retak Miring pada Balok Beton Bertulang
(sumber Dipohusodo, 1994)

Mekanisme perlawanan geser di dalam komponen struktur beton bertulang tidak lepas dari pengaruh serta tersusun sebagai kombinasi beberapa kejadian atau mekanisme sebagai berikut (*Dipohusodo, 1994*) :

- 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*).

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 kelebihan 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 ,

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

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

$$V_c = 1/7 (\sqrt{f'_c} + 120 r_w (V_u d / M_u)) b_w d \quad (2)$$

Di mana 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 :

$$(V_u d) / M_u \leq 1.0 \quad (3)$$

$$V_c \leq (0.30 \sqrt{f'_c}) b_w d \quad (4)$$

Dengan :

V_c = kuat geser beton (N)

f'_c = kuat tekan beton (N/mm²)

b_w = lebar efektif penampang balok (mm)

r_w = ratio luas tulangan lentur dengan luas penampang balok

M_u = Momen akibat beban luar yang bekerja (Nmm)

Apabila gaya geser yang bekerja V_u lebih besar dari kapasitas geser beton V_c , maka diperlukan penulangan geser untuk memperkuatnya. Apabila gaya geser yang bekerja di sembarang tempat sepanjang bentang lebih besar dari $1/2 f V_c$, 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 :

$$V_u \leq f V_n \quad \text{SK SNI T-15-1991-03 Pasal 3.4-1}$$

Di mana $V_n = V_c + V_s$ SK SNI T-15-1991-03 Pasal 3.4-2

Sehingga $V_u \leq f V_c + f V_s$ (5)

Dengan :

V_u = Beban geser terfaktor (N)

f = 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 :

$$V_s = (A_v f_y d) / S \quad (6)$$

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.

$$V_u \leq f (V_c + V_s) \quad (7)$$

$$V_u \leq f V_c + f V_s \quad (8)$$

Selanjutnya didapat :

$$V_s \text{ perlu} = (V_u - f V_c) / f$$

$$V_s \text{ perlu} = (V_u / f) - V_c$$

Permasalahan yang menarik untuk diteliti tentang sengkang vertikal pada balok beton bertulang dapat dijabarkan menjadi beberapa bagian. Bagian pertama adalah mengenai bagaimana beban geser maksimal yang dapat ditahan oleh tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 135° (sesuai SKSNI) dan tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 90° (sesuai di pasaran). Bagian kedua adalah bagaimana kuat geser tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 135° (sesuai SKSNI) dan tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 90° (sesuai di pasaran). Dan bagian ketiga adalah, adakah perbedaan dan seberapa besar perbedaan kuat geser pada tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 135° (sesuai SKSNI) dan tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 90° (sesuai di pasaran).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui: (1) besarnya beban geser maksimal yang dapat ditahan oleh tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 135° (sesuai SKSNI) dan tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 90° (sesuai di pasaran), (2) besarnya kuat geser tulangan sengkang vertikal dengan

bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 135° (sesuai SKSNI) dan tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 90° (sesuai di pasaran), dan (3) adanya perbedaan dan seberapa besar perbedaan kuat geser pada tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 135° (sesuai SKSNI) dan tulangan sengkang vertikal dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 90° (sesuai di pasaran).

METODE PENELITIAN

Bahan-bahan yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain: (a) semen Portland jenis I merk Gresik, (b) pasir, berasal dari Muntilan, Yogyakarta, (c) kerikil, berasal dari Karanganyar, (d) air, berasal dari Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil UMS, (e) tulangan baja, berasal dari toko bahan bangunan di Surakarta, dan (f) bekisting untuk cetakan balok beton bertulang digunakan kayu sengon.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah: (a) ayakan standart dan penggetar ayakan. Alat ini digunakan untuk pengujian gradasi agregat halus dan agregat kasar, (b) timbangan. Alat ini digunakan untuk menimbang semen, pasir, kerikil sebagai bahan susun beton, (c) gelas ukur. Alat ini digunakan untuk pengujian kadar Lumpur dan kandungan bahan organik pada agregat, (d) kerucut *conus*. Alat ini digunakan untuk pengujian SSD (*Saturated Surface Dry*), (e) *oven*. Alat ini digunakan untuk mengeringkan agregat pada waktu pemeriksaan kadar Lumpur, berat jenis, penyerapan air, serta kandungan bahan organik dalam agregat, (f) *desiccator*. Alat ini digunakan untuk menjaga suhu kamar agregat setelah dioven pada waktu pemeriksaan kadar Lumpur, penyerapan air, dan berat jenis agregat, (g) *volumetric flash*. Alat ini digunakan untuk pemeriksaan berat jenis serta penyerapan air pada agregat halus, (h) mesin uji *Los Angeles*. Alat ini digunakan untuk pemeriksaan keausan agregat kasar, (i) *mollen*. Alat ini digunakan untuk pembuatan adukan beton, (j) kerucut *Abram's*. Alat ini digunakan untuk pengujian *slump*, (k) cetakan beton silinder. Alat ini digunakan untuk pembuatan benda uji kuat tekan beton, (l) mesin uji merk *CONTROLS*. Alat ini digunakan untuk pengujian kuat tekan beton dan kuat tarik baja tulangan, dan (m) mesin uji geser hidrolik. Alat ini digunakan untuk pengujian kuat geser sengkang balok beton bertulang.

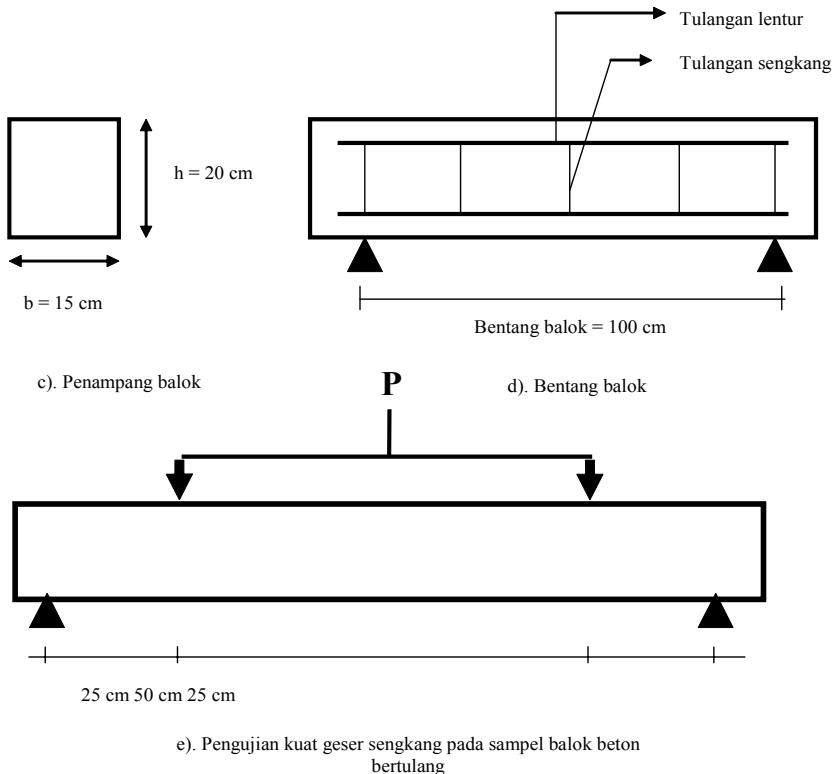
Penelitian ini dilaksanakan dalam 5 tahap yang dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Tahap I : Persiapan bahan-bahan dan alat-alat penelitian.
- 2) Tahap II : Pemeriksaan kualitas bahan-bahan penelitian.
- 3) Tahap III : Penyediaan benda uji

Pada tahap ini kegiatan yang dilakukan antara lain :

- Perencanaan campuran (*mix design*) dan pembuatan adukan beton dan sampel untuk pengujian kuat tekan beton.
- Pembuatan sampel untuk pengujian kuat tarik baja tulangan.
- Pembuatan sampel balok beton bertulang untuk pengujian kuat geser sengkang.

Sampel uji kuat geser sengkang balok beton bertulang adalah berupa balok beton bertulang dengan penampang lebar 15 cm, tinggi 20 cm serta panjang 100 cm. Penulangan sengkang pada balok menggunakan sengkang vertical dengan spasi 40 mm, 80 mm dan 120 mm, dan masing-masing dibuat sengkang vertical model SKSNI (bengkokan ujung 45°) dan model pasaran (bengkokan ujung 90°). Setiap jenis variasi sampel balok beton bertulang dibuat sampel 2 buah. Sehingga total jumlah sampel balok beton bertulang ini adalah 12 buah.



Gambar 3. Set Up Alat dan Pengujian

d) Perawatan sampel pengujian kuat tekan beton dan kuat geser sengkang balok beton bertulang. Kegiatan perawatan ini dilakukan selama 14 hari.

4) Tahap IV : Pengujian

Tahap pengujian yang dimaksudkan di sini adalah pengujian utama dalam penelitian ini, yaitu pengujian kuat geser sengkang balok beton bertulang. Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat uji kuat geser hidrolik yang berkapasitas 10 ton.

Adapun set up bentuk sampel dan pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.

5) Tahap V : Analisis data dan pembahasan

Analisis data adalah suatu proses pengolahan data mentah yang didapatkan dari pengujian di laboratorium menjadi data-data lanjut sesuai dengan kebutuhan data akhir yang diperlukan dalam penelitian.

Untuk lebih jelasnya, tahap-tahap penelitian tersebut dijabarkan dalam bagan alir seperti Gambar 4.

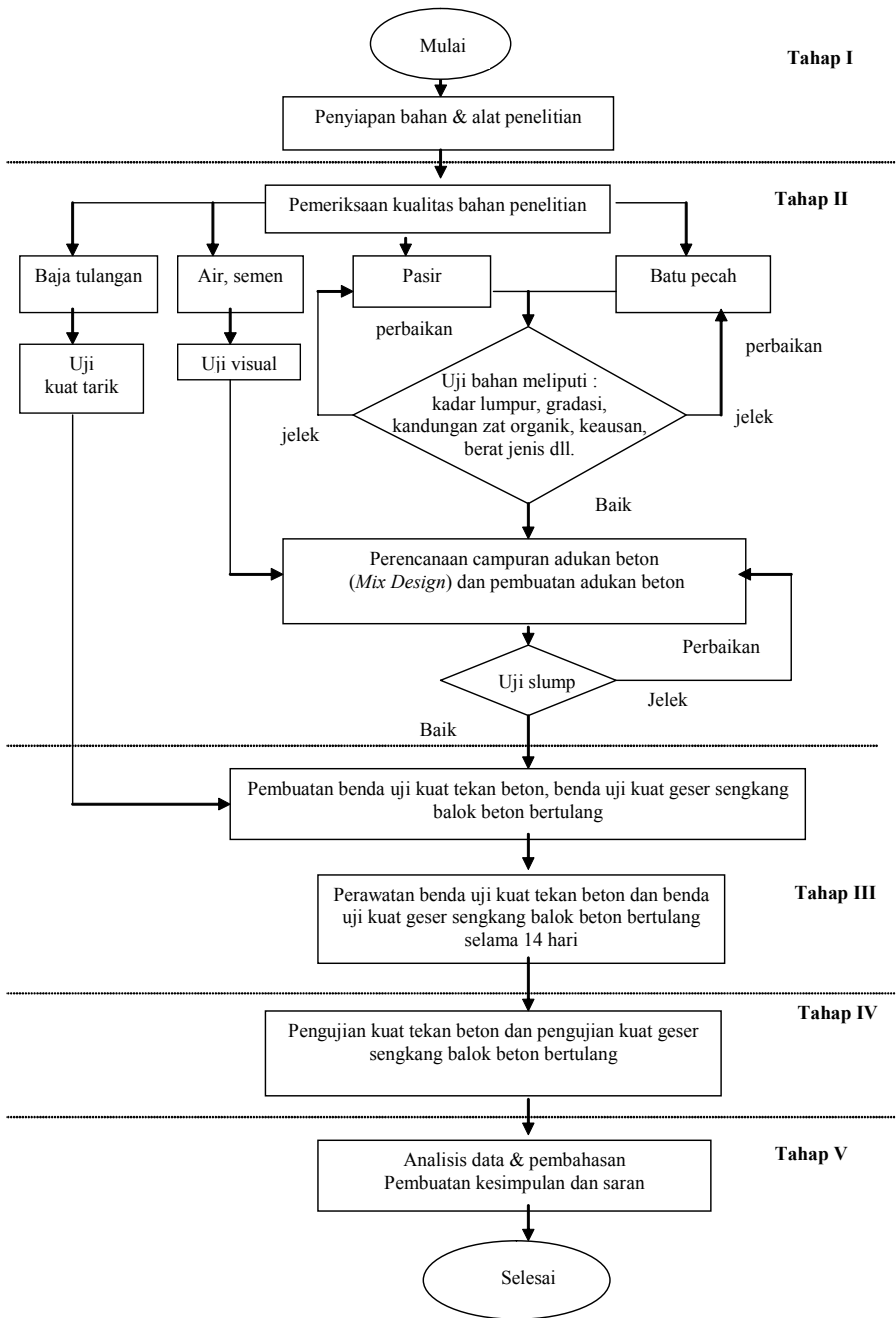
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan semua pengujian pada penelitian ini, maka data hasil penelitian yang didapatkan dapat dijabarkan sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengujian Berat Jenis Beton

Kode benda uji	Berat jenis beton (T/m^3)	Berat jenis beton rata-rata (T/m^3)
BN-1	2,510	
BN-2	2,586	2,542
BN-3	2,529	

Berat jenis rata-rata beton yang didapatkan dari penelitian ini sebesar $2,542 T/m^3$ memperlihatkan bahwa beton yang dibuat dapat dikategorikan sebagai beton normal, yaitu berat jenis beton berkisar $2,2 T/m^3 - 2,5 T/m^3$.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

Tabel 2. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton umur 14 hari didapatkan nilai sebesar 11,7 MPa. Kuat tekan ini akan meningkat seiring bertambahnya umur beton, dan akan mencapai kuat rencana pada umur 28 hari. Kuat tekan beton yang dihasilkan sebesar 11,7 MPa menunjukkan bahwa mutu beton kurang bagus karena kuat tekannya relatif rendah. Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai kurang lebih 10 MPa – 65 MPa.

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tarik (Leleh) Baja Tulangan

No	Benda Uji	Beban tekannya (kN)	Tegangan leleh (F_y) (MPa)	Jumlah luas penampang leleh (A_{leleh}) (mm ²)	Tegangan leleh rata-rata (F_y) (N/mm ²)	Kuat tarik rata-rata (MPa)
1	BN-1 BJ-1	245	255,89	17662,5	13,871	
2	BN-2 BJ-2	200	232,628	17662,5	11,32	
3	BN-3 BJ-3	175	267,523	17662,5	252,01	11,7
rata-rata (MPa)						

Kuat tarik (leleh) baja tulangan rata-rata sebesar 252,01 MPa menunjukkan bahwa baja tulangan mempunyai kekuatan tarik yang cukup tinggi. Baja tulangan tersebut masuk dalam kategori BJTP-24 , yaitu baja tulangan polos dengan kekuatan leleh minimal sebesar 240 MPa.

Setelah dilakukan pengujian terhadap sampel balok beton bertulang dengan pembebanan geser, diperoleh data hasil pengujian sebagai berikut :

Tabel 4. Hasil Pengujian Geser pada Balok Uji

Balok dengan sengkang SKSNI ($\alpha = 135^\circ$)				
No	Benda Uji	Beban Uji (P) maksimal (kN)	Beban Uji (P) maksimal rata-rata (kN)	
1	BU-1	60	50,5	
2	BU-2	41		
3	BU-3	61	61	
4	BU-4	61		
5	BU-5	39	39,5	
6	BU-6	40		
Balok dengan sengkang pasaran ($\alpha = 90^\circ$)				
No	Benda Uji	Beban Uji (P) maksimal (kN)	Beban Uji (P) maksimal rata-rata (kN)	
1	BU-7	30	30	
2	BU-8	30		
3	BU-9	60	55	
4	BU-10	50		
5	BU-11	35	42	
6	BU-12	49		

Dari tabel 4 terlihat bahwa beban uji maksimal rata-rata pada sengkang model SKSNI cenderung lebih besar dibandingkan dengan beban uji maksimal rata-rata pada sengkang model pasaran. Didapatkan fakta bahwa 2/3 dari total sampel memberikan data yang mendukung pernyataan tersebut.

Tabel 5. Beban Geser (V_u Maksimal) pada Sengkang

Balok dengan sengkang SKSNI ($\alpha = 135^\circ$)				
No	Benda Uji	Spasi sengkang (cm)	P maks rata-rata (kN)	V_u maks (kg)
1	BU-1	4	50,5	2563,13
2	BU-2	8	61	3088,13
3	BU-3	12	39,5	2013,13
Balok dengan sengkang pasaran ($\alpha = 90^\circ$)				
No	Benda Uji	Spasi sengkang (cm)	P maks rata-rata (kN)	V_u maks (kg)
1	BU-4	4	30	1538,13
2	BU-5	8	55	2788,13
3	BU-6	12	42	2138,13

V_u maksimal yang diperoleh dari table di atas memperlihatkan 2/3 dari total sampel memberi gambaran bahwa pada sengkang model SKSNI memiliki V_u maksimal yang lebih besar daripada V_u maksimal pada sengkang model pasaran dan 1/3 sampel lainnya menunjukkan gambaran sebaliknya. Berdasarkan fakta ini dapat dinyatakan bahwa sengkang model SKSNI cenderung dapat menahan beban geser (gaya lintang) yang lebih besar dibandingkan dengan sengkang model pasaran.

Setelah didapatkan besarnya V_u maksimal pada semua benda uji balok beton bertulang, maka dilanjutkan menghitung besarnya beban geser (V_s) yang ditahan oleh tulangan sengkang (tulangan geser). Hasil perhitungan V_s ditampilkan pada table berikut ini.

Tabel 6. Hasil Hitungan Beban Geser (V_s) yang Ditahan oleh Sengkang

Beban geser (V_s) pada balok dengan sengkang SKSNI ($\alpha = 135^\circ$)				
No	Benda Uji	V_u maks (kg)	V_c (kg)	V_s (kg)
1	BU-1	2563,13	1304,08	1259,05
2	BU-2	3088,13	1304,08	1784,05
3	BU-3	2013,13	1304,08	709,05
Beban geser (V_s) pada balok dengan sengkang pasaran ($\alpha = 90^\circ$)				
No	Benda Uji	V_u maks (kg)	V_c (kg)	V_s (kg)
1	BU-4	1538,13	1304,08	234,05
2	BU-5	2788,13	1304,08	1484,05
3	BU-6	2138,13	1304,08	834,05

Dari tabel 6. terlihat bahwa besarnya beban geser (V_s) yang ditahan oleh sengkang model SKSNI cenderung lebih besar dibandingkan beban geser (V_s) pada sengkang model pasaran. Data dari table menunjukkan 2/3 dari total sampel mendukung pernyataan tersebut. Hal ini berarti bahwa pada sengkang model SKSNI cenderung akan mampu menahan beban geser (V_s) yang lebih besar dibandingkan dengan sengkang model pasaran.

Tabel 7. Selisih Beban Geser (V_s) pada Senggang SKSNI ($\alpha = 135^\circ$) dan Senggang Pasaran ($\alpha = 90^\circ$)

Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan, terlihat bahwa senggang vertical model SKSNI (bengkokan ujung 135°) cenderung mempunyai kekuatan geser yang lebih besar dibandingkan dengan senggang vertical model pasaran (bengkokan ujung 90°). Hal ini disebabkan oleh adanya ikatan yang lebih kuat pada tulangan senggang vertical model SKSNI karena dengan bengkokan ujung-ujung membentuk sudut 135° tersebut, maka senggang vertical ini akan sangat kuat mengikat tulangan lentur balok. Dengan ikatan yang lebih kuat ini, maka akan berdampak pada kestabilan tulangan senggang vertical model SKSNI sehingga tidak akan mudah renggang dan tidak mudah runtuh dalam menahan beban geser yang diterimanya.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya beban geser maksimal pada balok beton bertulang dengan senggang vertical model SKSNI dan senggang vertical model pasaran adalah sebagai berikut :
 - a. Pada balok beton bertulang dengan senggang vertical spasi 40 cm, beban geser maksimal pada senggang model SKSNI adalah 50,5 kN dan model pasaran adalah 30 kN.
 - b. Pada balok beton bertulang dengan senggang vertical spasi 80 cm, beban geser maksimal pada senggang model SKSNI adalah 61 kN dan model pasaran adalah 55 kN.
 - c. Pada balok beton bertulang dengan senggang vertical spasi 120 cm, beban geser maksimal pada senggang model SKSNI adalah 39,5 kN dan model pasaran adalah 42 kN.
 - d. Beban uji geser maksimal pada balok beton bertulang dengan senggang vertical model pasaran (bengkokan ujung 90°) cenderung lebih kecil

dibandingkan dengan beban geser maksimal pada balok beton bertulang dengan sengkang vertical model SKSNI (bengkokan ujung 135°).

2. Besarnya kekuatan geser tulangan sengkang model SKSNI dan sengkang model pasaran diperoleh hasil sebagai berikut :
 - a. Pada balok beton bertulang dengan sengkang vertical spasi 40 cm, kuat geser sengkang model SKSNI adalah 1259,05 kg dan model pasaran adalah 234 kg.
 - b. Pada balok beton bertulang dengan sengkang vertical spasi 80 cm, kuat geser sengkang model SKSNI adalah 1784,05 kg dan model pasaran adalah 1484,05 kg.
 - c. Pada balok beton bertulang dengan sengkang vertical spasi 120 cm, kuat geser sengkang model SKSNI adalah 709,05 kg dan model pasaran adalah 824,05 kg.
 - d. Kuat geser balok beton bertulang dengan sengkang vertical model pasaran (bengkokan ujung 90°) cenderung lebih kecil dibandingkan dengan kuat geser balok beton bertulang dengan sengkang vertical model SKSNI (bengkokan ujung 135°).
3. Ada perbedaan kekuatan geser antara sengkang vertical model SKSNI (bengkokan ujung 135°) dan model pasaran (bengkokan ujung 90°), dimana kekuatan geser sengkang vertical model SKSNI cenderung lebih besar dibandingkan dengan kekuatan geser sengkang vertical model pasaran. Besarnya perbedaan kekuatan antara kedua model sengkang vertical tersebut berkisar antara 16,82% - 81,41% , dan hal ini menunjukkan bahwa perbedaan kekuatan geser antara sengkang vertical model SKSNI dan sengkang vertical model pasaran dapat dinyatakan *cukup signifikan*.

DAFTAR PUSTAKA

- Asroni, A., 1997. *Struktur Beton I (Balok dan Plat Beton Bertulang)*. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Asroni, A., 2001. *Struktur Beton Lanjut*. Surakarta: Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Dipohusodo, I., 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.

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