

## KUAT GESER BAJA KOMPOSIT DENGAN VARIASI TINGGI PENGHUBUNG GESER TIPE-T DITINJAU DARI UJI GESER MURNI

Ida Bagus Rai Widiarsa<sup>1</sup> dan Putu Deskarta<sup>1</sup>

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas geser dari penghubung geser tipe-T dengan tinggi penghubung geser ( $h$ ) yang bervariasi, sedangkan lebar penghubung geser ( $l$ ) dan tebal penghubung geser ( $t$ ) konstan.

Mutu beton  $f'_c$  direncanakan 22,5 MPa. Benda uji untuk pengujian tekan digunakan kubus (15x15x15) cm sebanyak 8 buah, sedangkan pengujian kuat geser *shear connector* dilakukan terhadap 4 jenis spesimen komposit, dimana tinggi penghubung geser setiap jenis bervariasi yaitu 30 mm, 45 mm, 60 mm, dan 75 mm dan masing-masing dibuat 3 benda uji. Masing-masing benda uji dibuat dari kombinasi baja H-beam (200x200) mm, panjang 200 mm dan pelat beton berukuran (280x340x100) mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan tinggi penghubung geser 30 mm, spesimen komposit langsung runtuh tanpa menimbulkan retak belah pada pelat beton. Hal ini disebabkan karena luas bidang muka penghubung geser tipe T yang terlalu kecil sehingga penghubung geser tidak mampu memberikan gaya tarik belah pada pelat beton. Pada spesimen komposit dengan tinggi penghubung geser lebih dari 30 mm, semuanya mengalami retak belah pada pelat beton. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa penambahan tinggi penghubung geser tipe-T meningkatkan kapasitas penghubung geser, walaupun nilai yang dicapai agak seragam. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh panjang beton di muka penghubung geser, sehingga pada saat hancur spesimen komposit belum mencapai kapasitas maksimumnya.

Kata kunci: penghubung geser tipe-T, baja komposit, kuat geser, uji geser murni.

## SHEAR STRENGTH OF COMPOSITE STEEL WITH HEIGHT VARIATION OF T-TYPE SHEAR CONNECTOR BASED ON PURE SHEAR TEST

**Abstract:** The objective of this research was to determine the capacities of T-type shear connectors with variety in height ( $h$ ) of the shear connectors, meanwhile the width ( $l$ ) and thickness ( $t$ ) of the shear connectors were constant.

The compressive strength of the concrete of  $f'_c = 22,5$  MPa was used for compression test. The samples used were 8-concrete cubes with dimension of (15x15x15) cm. For shear test, 4 types of composite specimens were used with height of shear connector of 30 mm, 45 mm, 60 mm, and 75 mm. Each type consisted of 3 samples with similar dimension. All samples were made by combination of (200 x 200) mm H-beam steel with length of 200 mm and concrete plate with dimension of (280x340x100) mm.

Result of research indicated that by using shear connector with height of 30 mm, the composite specimens were collapsed directly without generating splitting crack on concrete plate. These caused by the area of the shear connector was unable to present splitting pull strength on the concrete plate. Meanwhile, composite specimens with shear connector height more than 30 mm showed splitting crack on the concrete plate. The result also showed that the addition of height increased the capacity of the connector, although reached a uniform value. These probably influenced by concrete length in front of the shear connector, therefore the composite specimens did not reach their maximum capacities when collapse occurred.

Keywords: T-type shear connector, composite steel, shear strength, pure shear test.

---

<sup>1</sup> Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Denpasar.

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Konstruksi komposit yang banyak digunakan saat ini adalah komposit beton dan baja. Sebelum berkembangnya material ringan untuk perlindungan terhadap api selama 25 tahun terakhir, beton yang membungkus balok baja telah secara luas digunakan sejak awal 1900-an. Balok tersebut didesain secara komposit parsial. Namun saat ini, aksi komposit digunakan hampir di semua situasi dimana terjadi interaksi antara beton dan baja baik pada struktur bangunan maupun jembatan (Salmon, 1996).

Struktur komposit antara beton dan balok baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan. Kelebihan tersebut adalah beton kuat terhadap tekan dan baja kuat terhadap tarik. Balok baja yang menumpu konstruksi pelat beton yang dicor ditempat, sebelumnya didesain berdasarkan asumsi bahwa pelat beton dan baja dalam menahan beban bekerja secara terpisah. Pengaruh komposit dari pelat beton dan baja yang bekerja bersama-sama tidak diperhitungkan. Pengabaian ini berdasarkan asumsi bahwa ikatan antara pelat beton dengan bagian atas balok baja tidak dapat diandalkan. Namun dengan kemajuan penggunaan las, penggunaan penyambung geser mekanis menjadi praktis untuk menahan gaya geser horisontal.

Penghubung geser (*shear connector*) berfungsi untuk menahan geser horisontal yang terjadi selama pembebanan. Supaya didapat penampang yang sepenuhnya komposit, penghubung geser harus cukup kaku sehingga dapat menahan geseran (*slip*) yang terjadi pada bidang pertemuan antara beton dan balok baja. Dewasa ini, hampir semua penghubung geser memakai stud berkepala. Kelemahan dari penghubung geser stud berkepala adalah dapat mengalami deformasi lentur pada saat pembebanan sehingga tidak cukup kuat untuk menahan *slip* antara beton dan

balok baja. Untuk mengantisipasi hal tersebut, biasanya dalam pelaksanaan di lapangan dipasang penghubung geser stud berkepala dalam jumlah banyak. Hal ini dimaksudkan agar penghubung geser menjadi lebih kuat dan kaku. Karena terpasang dalam jumlah yang banyak maka dilihat dari pelaksanaannya membutuhkan biaya yang tidak sedikit. Jenis penghubung geser lainnya yang diperkirakan memiliki kekakuan yang lebih besar yaitu penghubung geser yang dibuat berbentuk T, dimana dilihat dari bentuknya penghubung ini sangat kaku sehingga akan mengalami deformasi yang sangat kecil pada saat dibebani. Pada saat pembebanan, terjadinya *slip* pada bidang pertemuan antara beton balok baja, mungkin diakibatkan oleh kondisi yang lain misalnya beton yang hancur atau kegagalan pada sambungan las (Sugupta, 1999).

### Tujuan Penelitian

Dari uraian di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh tinggi penghubung geser tipe T terhadap kuat geser baja komposit ditinjau dari uji geser murni.

## MATERI DAN METODE

### Beton

Sifat penting yang dimiliki beton adalah kekuatan tekannya. Karena beton lebih kuat terhadap tekan daripada tarik, maka dalam hal ini kuat tekan beton merupakan gambaran dari mutu beton yang ada. Dalam penelitian ini mutu beton diusahakan konstan agar data yang dihasilkan tidak bervariasi terhadap mutu beton. Untuk memperoleh mutu beton yang seragam, maka digunakan adukan beton produksi *Ready Mix*.

### Baja

Dewasa ini, baja dapat diproduksi dengan bermacam-macam kekuatan yang dinyatakan dengan kekuatan tegangan tarik leleh  $f_y$  atau oleh tegangan tarik batas  $f_u$ . Meskipun dari jenis yang paling rendah

kekuatannya, bahan baja tetap memiliki perbandingan kekuatan per volume lebih tinggi dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya. Hal ini memungkinkan perencanaan konstruksi baja memiliki beban mati yang lebih kecil untuk bentang yang lebih panjang, sehingga dapat memberikan kelebihan ruang yang dapat dimanfaatkan akibat langsingnya profil-profil yang digunakan. Keuntungan baja lainnya adalah keseragaman bahan, kemudahan pembuatan, dan proses pemasangan yang cepat di lapangan. Disamping keuntungan tersebut, bahan baja juga memiliki kelemahan antara lain mudahnya bahan ini mengalami korosi dan berkurangnya kekuatan pada temperatur tinggi.

Adanya sifat daktilitas yang dimiliki oleh baja, membuat suatu struktur baja mampu mencegah runtuhnya bangunan secara tiba-tiba. Sifat ini sangat menguntungkan dilihat dari segi keamanan penghuni bangunan, sebab memberikan peringatan dini pada pemakai melalui deformasinya yang besar.

Balok baja untuk pemakaian struktural dibuat dari profil giling (*rolled shapes*). Baja jenis ini terdiri atas baja karbon, baja paduan rendah berkekuatan tinggi, dan baja paduan. Baja paduan rendah kekuatan tinggi memiliki sifat tahan karat yang lebih besar dari baja karbon struktural, baik dengan atau tanpa penambahan tembaga. Sifat karat pada baja tergantung pada beberapa faktor yaitu susunan kimia, derajat polusi pada atmosfer, serta frekwensi pembasahan dan pengeringan.

### **Komposit**

Sistem struktur komposit terbentuk akibat interaksi antara komponen struktur baja dan beton yang karakteristik dasar masing-masing bahan dimanfaatkan secara optimal. Karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur baja adalah kekuatan tinggi, modulus elastisitas tinggi, serta daktilitas tinggi. Sedangkan karakteristik penting yang dimiliki oleh struktur beton adalah ketahanan yang baik terhadap api, mudah dibentuk, dan murah.

Struktur baja komposit dalam aplikasinya dapat merupakan elemen dari bangunan, baik sebagai balok, kolom dan pelat. Struktur balok komposit terdiri dari dua tipe yaitu balok komposit dengan penghubung geser dan balok komposit yang diselubungi beton. Kolom komposit dapat merupakan tabung atau pipa baja yang dicor beton atau baja profil yang diselubungi beton dengan tulangan longitudinal dan diikat dengan tulangan lateral. Pada struktur pelat komposit digunakan pelat beton yang bagian bawahnya diperkuat dengan dek baja bergelombang.

Aksi komposit terjadi apabila dua batang struktural pemikul beban, seperti pada pelat beton dan balok baja sebagai penyangganya, dihubungkan secara menyeluruh dan mengalami defleksi sebagai satu kesatuan. Pada balok non komposit, pelat beton dan balok baja tidak bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan karena tidak terpasang alat penghubung geser. Apabila balok non komposit mengalami defleksi pada saat dibebani, maka permukaan bawah pelat beton akan tertarik dan mengalami perpanjangan sedangkan permukaan atas dari balok baja akan tertekan dan mengalami perpendekan. Karena penghubung geser tidak terpasang pada bidang pertemuan antara pelat beton dan balok baja maka pada bidang kontak tersebut tidak ada gaya yang menahan perpanjangan serat bawah pelat dan perpendekan serat atas balok baja. Dalam hal ini, pada bidang kontak tersebut hanya bekerja gaya geser vertikal. Sedangkan pada balok komposit, pada bidang pertemuan antara pelat beton dan balok baja dipasang alat penghubung geser sehingga pelat beton dan balok baja bekerja sebagai satu kesatuan. Pada bidang kontak tersebut bekerja gaya geser vertikal dan horisontal, dimana gaya geser horisontal tersebut akan menahan perpanjangan serat bawah pelat dan perpendekan serat atas balok baja.

**Penghubung Geser**

Secara mekanis, penghubung geser memiliki dua fungsi dasar yaitu mentransfer gaya geser horisontal dan mencegah pemisahan secara vertikal yang terjadi antara pelat beton dan balok baja. Supaya pelat beton dan balok baja dapat bekerja bersama membentuk satu kesatuan maka pada bidang pertemuan antara pelat beton dan balok baja tersebut perlu dipasang alat penghubung geser atau konektor geser. Penghubung geser tersebut dilas pada sayap bagian atas balok baja.

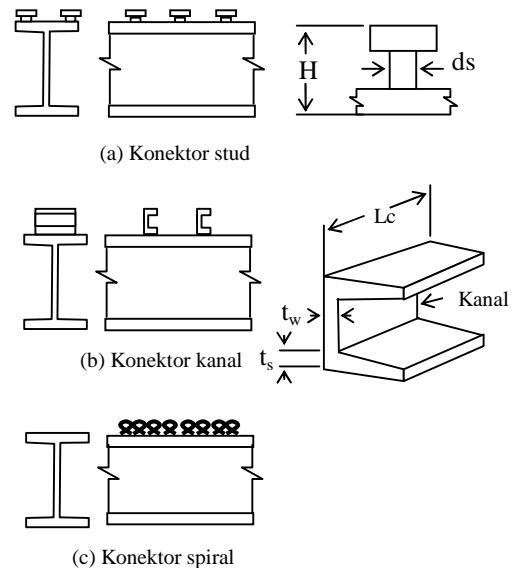
**Jenis-jenis Penghubung Geser**

Penghubung geser yang secara khusus dibuat untuk memenuhi Spesifikasi *American Institute of Steel Construction (AISC)* adalah penghubung geser jenis stud dan jenis kanal, dimana penghubung geser tersebut tergolong jenis fleksibel. Disebut fleksibel karena penghubung geser stud dan kanal mudah mengalami pembengkokan. Sedangkan untuk penghubung geser yang diuji dalam penelitian ini yaitu penghubung geser tipe T, termasuk dalam jenis kaku. Karena memiliki bentuk T, apabila ada gaya yang menekan salah satu sisinya maka sisi yang lain akan menahannya sehingga penghubung geser ini tidak mudah mengalami deformasi.

Praktek desain dewasa ini lebih banyak menggunakan penghubung geser berbentuk stud berkepala yang dilas pada sayap atas balok baja. Pada Gambar 1 diperlihatkan beberapa jenis penghubung geser mekanis yang biasa digunakan.

**Kekuatan Penghubung Geser**

Secara umum, kapasitas suatu penghubung geser untuk dapat mentransfer geser horisontal dipengaruhi oleh kekakuan dan luas bidang kontak penghubung geser tersebut dengan beton. Faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya deformasi pada penghubung geser yaitu bentuk dan ukurannya, lokasinya pada balok, lokasi momen maksimum, dan cara pemasangannya pada balok baja.



**Gambar 1. Jenis-jenis penghubung geser**

Kekuatan penghubung geser ini diperkirakan akan sebanding dengan kekakuannya dan luas bidang kontak muka terhadap beton. Luas bidang kontak muka dipengaruhi oleh tinggi penghubung geser (*h*) dan lebar penghubung geser (*l*), sedangkan kekakuannya dipengaruhi oleh tebal penghubung geser (*t*). Yang ditinjau disini adalah bagaimana hubungan antara kekuatan geser terhadap luas bidang kontak muka, dengan *l* dan *t* konstan sedangkan *h* bervariasi. Bentuk penghubung geser tipe T dapat dilihat pada Gambar 2.

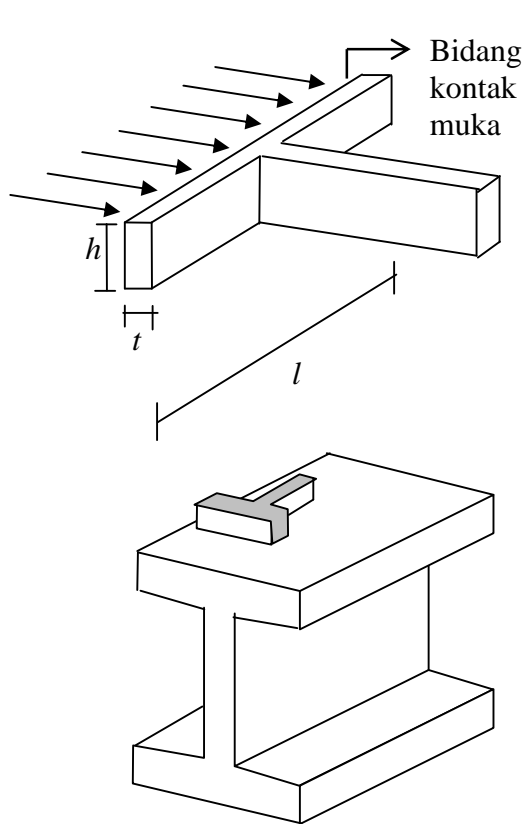
Dalam TCPSBUBG–LRFD 2000 telah ditetapkan besarnya kekuatan nominal satu penghubung geser jenis stud dan kanal, yaitu:

a. Penghubung geser stud :

$$Q_n = 0,0005 A_{sc} \sqrt{f'_c \cdot E_c} \text{ untuk } \frac{H_s}{ds} \geq 4$$

dimana:

- $Q_n$  : kekuatan nominal satu stud, kN
- $H_s$  : tinggi stud, mm
- $ds$  : diameter stud, mm
- $A_{sc}$  : luas penampang penghubung geser stud berkepala, mm<sup>2</sup>
- $f'_c$  : kekuatan tekan beton, MPa
- $E_c$  : modulus elastisitas beton
- :  $w^{1,5} (0,041) \sqrt{f'_c}$  dengan *w* adalah 2320 kg/m<sup>3</sup>



Gambar 2. Penampang penghubung geser tipe T dan pemasangannya pada balok baja

b. Penghubung geser kanal :

$$Q_n = 0,0003 ( t_f + 0.5t_w ) L_c \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$

dimana:

$Q_n$  : kekuatan nominal satu kanal, kN

$t_f$  : tebal sayap kanal, mm

$t_w$  : tebal badan kanal, mm

$L_c$  : panjang kanal, mm

$f'_c$  : kekuatan tekan beton, MPa

$E_c$  : modulus elastisitas beton

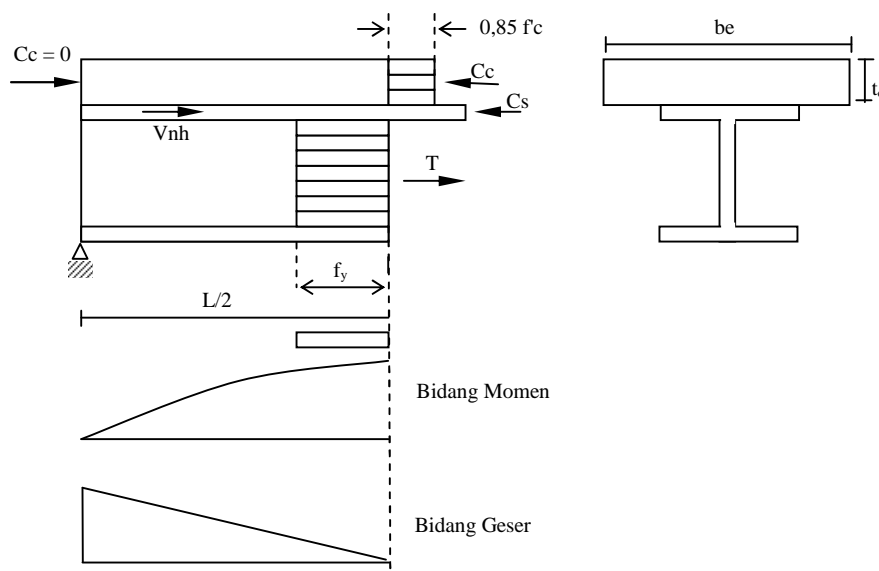
:  $w^{1,5} (0,041) \sqrt{f'_c}$  dengan  $w$  adalah  $2320 \text{ kg/m}^3$

Dari rumus di atas dapat dilihat bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan suatu penghubung geser dalam mentransfer gaya geser horisontal adalah :

- luas penampang penghubung geser;
- kekuatan tekan pelat beton;
- modulus elastisitas dari pelat beton;
- kekakuan penghubung geser.

### Gaya Geser Horisontal

Suatu balok komposit dapat mencapai kekuatannya, apabila sejumlah penghubung geser ditempatkan diantara lokasi-lokasi momen nol dan momen maksimum. Seluruh gaya geser horisontal pada bidang kontak antara balok baja dan pelat beton harus disalurkan oleh penghubung geser. Secara teoritis, dibutuhkan lebih banyak penghubung geser di dekat ujung bentang dimana tegangan geser yang terjadi lebih tinggi daripada tegangan geser yang terjadi pada pertengahan bentang.



Gambar 3. Distribusi tegangan plastis dengan asumsi sumbu netral terletak pada penampang baja dan pembebanan yang dikenakan adalah merata

Untuk penampang yang seluruhnya komposit dimana beton mengalami gaya tekan akibat lentur, kekuatan geser horisontal nominal  $V_{nh}$  yang harus diberikan oleh penghubung geser adalah nilai yang terkecil dari persamaan-persamaan dibawah ini.

$$V_{nh} = C_{maks} = 0,85 \cdot f'_c \cdot b_E \cdot t_c$$

$$V_{nh} = T_{maks} = A_s \cdot f_y$$

dimana:

$V_{nh}$  : gaya geser horisontal, kN

$f'_c$  : kuat tekan beton, MPa

$b_E$  : lebar efektif pelat beton, mm

$t_c$  : tebal pelat beton, mm

$A_s$  : luas penampang baja, mm<sup>2</sup>

$f_y$  : tegangan leleh baja, MPa

Bila kekuatan nominal  $Q_n$  dari penghubung geser diketahui, maka jumlah penghubung geser yang dibutuhkan di antara titik momen lentur maksimum dan momen nolnya adalah

$$N = \frac{V_{nh}}{Q_n}$$

dimana:

$N$  : jumlah penghubung geser

$V_{nh}$  : gaya geser horisontal, kN

$Q_n$  : kekuatan nominal satu penghubung geser, kN

### Penempatan dan Jarak Antar Penghubung Geser

Sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung (TCPSBUBG) 2000, dalam penempatan penghubung geser jenis *stud* harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- penghubung geser harus mempunyai selimut beton pada arah lateral setebal minimal 25 mm, kecuali untuk penghubung geser yang dipasang pada gelombang dek baja bergelombang;
- diameter penghubung geser jenis paku tidak boleh lebih besar dari 2,5 kali ketebalan pelat sayap penampang dimana penghubung geser jenis paku tersebut dilaskan, kecuali yang terletak di atas pelat badan penampang;
- jarak minimum antara penghubung-penghubung geser tidak boleh kurang

dari 6 kali diameter di sepanjang sumbu longitudinal balok penumpu;

- jarak minimum antar geser tidak boleh kurang dari 4 kali diameter di sepanjang sumbu tegak lurus terhadap sumbu longitudinal balok penumpu;
- untuk daerah di antara gelombang dek baja bergelombang, jarak minimum antar penghubung geser tersebut ~~(dapat)~~ diperkecil menjadi 4 kali diameter ke semua arah;
- jarak maksimum antar penghubung geser tidak boleh melebihi 8 kali ketebalan pelat total.

Jumlah penghubung geser yang diperlukan pada daerah yang dibatasi oleh lokasi beban terpusat dan momen nol yang terdekat harus sesuai jumlahnya dengan yang dibutuhkan untuk mengembangkan momen maksimum yang terjadi di lokasi beban terpusat tersebut.

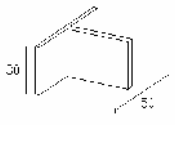
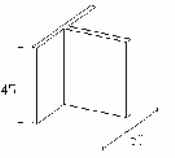
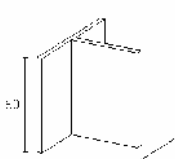
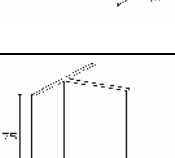
### Rancangan Spesimen

Spesimen untuk pengujian tekan adalah kubus beton dengan ukuran (15x15x15) cm, sedangkan untuk pengujian kuat geser digunakan 4 jenis spesimen. Untuk setiap jenisnya terdiri dari 3 spesimen yang berukuran sama, dimana masing-masing spesimen tersebut terbuat dari sebuah baja profil struktural dan pelat beton yang berukuran sama pada kedua bagian sayap balok baja. Jumlah benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat geser adalah 12 buah baja profil dan 24 buah pelat beton.

Untuk penghubung geser digunakan tipe T, dimana tinggi penghubung geser ( $h$ ) dibuat bervariasi untuk setiap spesimen, sedangkan lebar ( $l$ ) dan tebal ( $t$ ) penghubung geser konstan. Jenis-jenis spesimen ditampilkan pada Tabel 1.

Untuk pengujian kuat tekan digunakan benda uji kubus ukuran (15x15x15) cm sebanyak 8 buah. Untuk spesimen komposit baja - beton digunakan profil H Beam 200x200, sedangkan untuk penghubung geser tipe T digunakan baja WF 100x50 yang dibagi dua.

**Tabel 1. Rancangan jenis spesimen komposit**

Benda Uji	Kode Benda Uji	Tinggi Penghubung Geser (mm)	Gambar Penghubung Geser Tipe T
I	T1-A T1-B T1-C	30 30 30	
II	T2-A T2-B T2-C	45 45 45	
III	T3-A T3-B T3-C	60 60 60	
IV	T4-A T4-B T4-C	75 75 75	

jurnal tersebut membahas struktur komposit baja-beton, dimana dalam penelitian tersebut digunakan penghubung geser berbentuk pelat segiempat dengan variabel berupa lubang pada penghubung gesernya. Diameter lubang pada penghubung geser dibuat konstan untuk semua jenis spesimen komposit yang digunakan, yaitu sebesar 50 mm. Dalam penelitian tersebut diperoleh hasil bahwa penghubung geser disertai dengan lubang dapat menahan beban lebih besar dibandingkan dengan penghubung geser tanpa lubang.

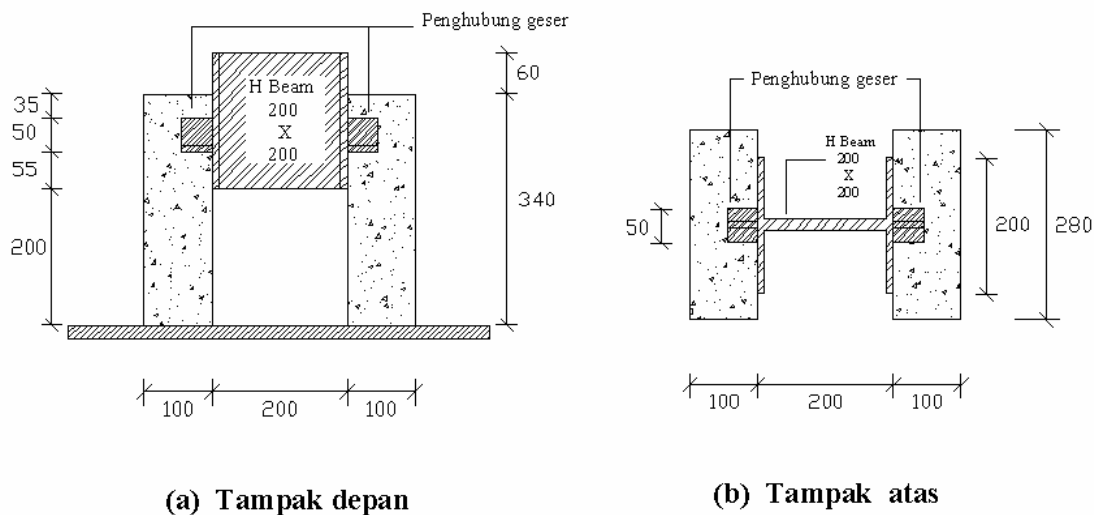
Dalam penelitian ini hanya model spesimen kompositnya saja yang sama, sedangkan untuk penghubung gesernya digunakan penghubung geser tipe T. Model serta dimensi dari spesimen dan penghubung geser tipe T ditampilkan pada Gambar 4 dan 5.

**Ukuran Pelat Beton**

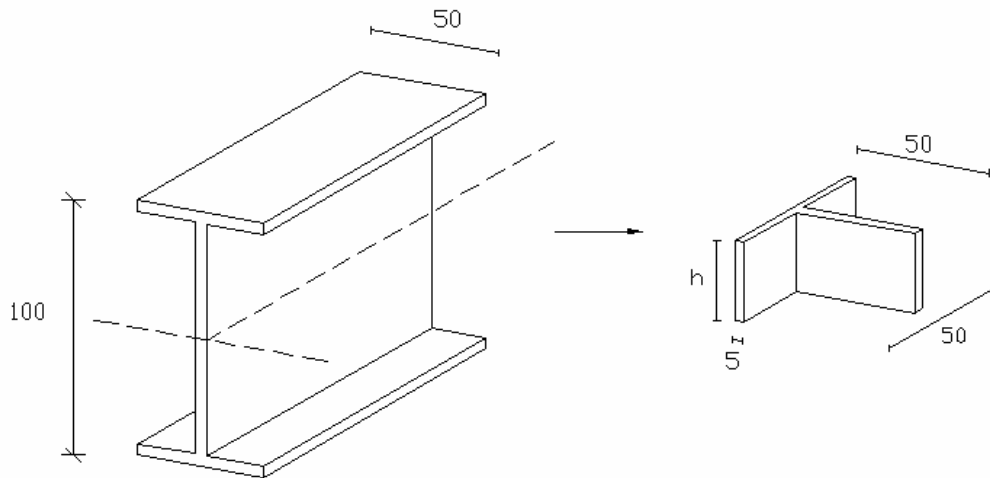
Sesuai dengan TCPSBUBG-2000, untuk struktur komposit selimut beton disyaratkan  $\geq 25$  mm. Dalam penelitian ini, tinggi penghubung geser yang digunakan maksimum 75 mm. Untuk memenuhi persyaratan di atas, maka untuk spesimen komposit digunakan pelat beton setebal 100 mm.

**Model dan Ukuran Spesimen**

Bentuk spesimen komposit baja-beton pada penelitian ini seperti spesimen pada Oguejiofor and Hosain (1994). Dalam



**Gambar 4. Dimensi spesimen komposit baja-beton**



**Gambar 5. Penampang penghubung geser T yang diperoleh dari ½ profil WF 100 x 50**

Untuk lebar pelat beton disesuaikan dengan lebar sayap baja H Beam 200x200 sehingga didapat seperti model yang telah direncanakan. Sedangkan untuk ketinggian pelat beton, semakin panjang pelat beton maka keruntuhan akibat geser akan terlihat makin jelas. Sehubungan dengan kapasitas alat yang ada hanya setinggi 450 mm, maka tinggi pelat beton yang digunakan sebesar 340 mm.

**Kontrol Kekuatan Las**

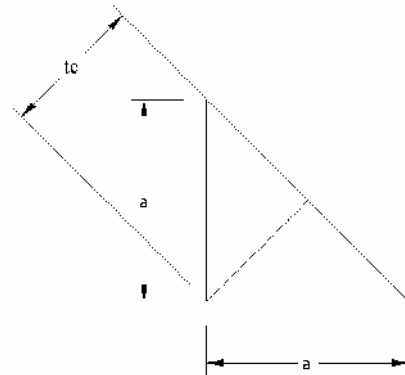
Untuk menyatukan penghubung geser dengan baja maka dilakukan pengelasan pada penghubung geser tipe T ini di sepanjang tepinya sehingga dapat menempel dengan kuat pada sayap baja H beam 200x200. Las yang digunakan adalah las sudut 4 mm dengan elektroda E6013 yang memiliki kekuatan tarik minimum  $F_{uw}$  sebesar 490 MPa. Dalam merencanakan pengelasan, kekuatan las diusahakan lebih besar atau sama dengan kekuatan baja penghubung geser.

Untuk las sudut direncanakan simetris (panjang kaki sama = a), sehingga untuk tebal efektif,  $t_e$ , adalah 0,707 a.

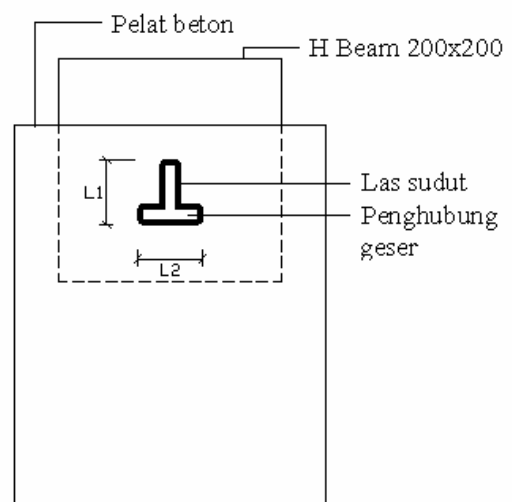
$$t_e = 0,707a$$

$$t_e = 0,707 \times 4$$

$$t_e = 2,828 \text{ mm}$$



**Gambar 6. Dimensi tebal efektif untuk las sudut**



**Gambar 7. Pengelasan penghubung geser pada sayap H beam 200x200**



Kekuatan las sudut :

$$\begin{aligned}
 R_{nw_1} &= 0,75t_e (0,6F_{uw})(2 \times L_1) \\
 &= 0,75 \times 2,828(0,6 \times 490)(2 \times 55,656) \\
 &= 69,4113 \text{ kN} \\
 R_{nw_2} &= 1,5 \times 0,75t_e (0,6F_{uw})(2 \times L_2) \\
 &= 1,5 \times 0,75 \times 2,828(0,6 \times 490)(2 \times 55,656) \\
 &= 104,117 \text{ kN} \\
 R_{nw_i} &= R_{nw_1} + R_{nw_2} \\
 &= 69,4113 + 104,117 = 173,5283 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Kekuatan baja penghubung geser :

$$\begin{aligned}
 T_n &= 0,9F_y A_s \\
 T_n &= 0,9 \times 400 \times 453 = 163,080 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas diperoleh kekuatan las sudut lebih besar dari kekuatan baja penghubung geser. Sehingga las sudut 4 mm dianggap mampu mencegah terjadinya keruntuhan akibat las pada saat pembebanan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Kubus beton diuji setelah mencapai 28 hari. Hasil pengujiannya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Gaya tekan hancur dan kuat tekan kubus beton**

No.	Kode Beton	Beban P (kN)	A (mm <sup>2</sup> )	f <sub>k</sub> (MPa)
1	K - 1	560	22500	24.9
2	K - 2	660	22500	29.3
3	K - 3	625	22500	27.8
4	K - 4	585	22500	26.0
5	K - 5	550	22500	24.4
6	K - 6	625	22500	27.8
7	K - 7	625	22500	27.8
8	K - 8	585	22500	26.0
f <sub>k</sub> rata-rata (f <sub>kr</sub> ) =				<b>26.75</b>

Setelah diperoleh kuat tekan kubus beton rata-rata (f<sub>kr</sub>), hasilnya dikonversikan terhadap silinder (dengan: angka konversi α sebesar 0,83) sehingga diperoleh kuat tekan beton silinder rata-rata (f<sub>cr</sub>) sebesar 22,203 MPa.

## Mekanisme Keruntuhan Spesimen

### a. Spesimen T1

Pada spesimen T1-A, T1-B dan T1-C, pelat beton tidak mengalami kehancuran hingga pengujian berakhir. Penghubung geser tercabut dari beton tanpa menimbulkan retak memanjang pada pelat beton. Tercabutnya penghubung geser diawali dengan retak akibat tekan pada beton di bagian bawah penghubung geser. Seiring dengan penambahan beban, retak yang menyerupai bentuk segiempat ini terus bergerak ke arah bawah. Hingga pada saat mencapai beban ultimit, penghubung geser tercabut dari beton tanpa menimbulkan keruntuhan pada pelat. Besarnya beban ultimit pada spesimen T1-A adalah 135 kN, pada spesimen T1-B sebesar 150 kN dan pada spesimen T1-C sebesar 140 kN. Jadi untuk jenis spesimen T1 terjadi keruntuhan geser saja tanpa adanya keruntuhan tarik pada beton. Hal ini disebabkan karena tinggi penghubung geser yang digunakan terlalu kecil, sehingga penghubung geser tidak mampu memberikan gaya tarik belah yang cukup pada beton di bawahnya. Akibatnya keruntuhan langsung terjadi pada spesimen tanpa ditandai adanya retak memanjang pada pelat beton seperti diperlihatkan pada Gambar 8.

### b. Spesimen T2

Pada spesimen T2-A, T2-B dan T2-C, terjadi keruntuhan pada pelat beton ketika pengujian mencapai beban ultimit. Keruntuhan ini diawali dengan retak akibat tekan pada daerah bagian bawah penghubung geser. Bersamaan dengan penambahan beban, retak tersebut terus bergerak ke arah bawah dengan bentuk menyerupai segitiga. Beton pada daerah bagian atas tangkai penghubung geser juga mengalami retak akibat tarik hingga melewati pelat bagian atas kemudian terus bergerak ke bawah berupa retak memanjang melalui daerah retak awal disekitar penghubung geser, sampai akhirnya beton terbelah menjadi 2 bagian pada saat mencapai beban ultimit. Besarnya beban

ultimit pada spesimen T2–A adalah 170 kN, pada spesimen T2–B sebesar 150 kN dan pada spesimen T2–C sebesar 170 kN.



(a)



(b)

**Gambar 8. Model keruntuhan pada pelat beton akibat gaya tekan dan geser**

#### c. Spesimen T3

Pada spesimen T3–A, T3–B dan T3–C, terjadi keruntuhan pada pelat beton ketika pengujian mencapai beban *ultimate*. Pelat beton terbelah menjadi 2 bagian ketika mencapai beban *ultimate*. Mekanisme keruntuhan pada spesimen T3 mirip

dengan keruntuhan yang terjadi pada spesimen T2. Besarnya beban *ultimate* pada spesimen T3–A adalah 150 kN, pada spesimen T3–B sebesar 160 kN dan pada spesimen T3–C sebesar 170 kN.

#### d. Spesimen T4

Pada spesimen T4–A, T4–B dan T4–C, terjadi keruntuhan pada pelat beton ketika pengujian mencapai beban ultimit. Pelat beton terbelah menjadi 2 bagian ketika mencapai beban ultimit. Mekanisme keruntuhan pada spesimen T4 mirip dengan keruntuhan yang terjadi pada spesimen T2 dan T3. Besarnya beban ultimit pada spesimen T4–A adalah 205 kN, pada spesimen T4–B sebesar 190 kN dan pada spesimen T4–C sebesar 200 kN. Keruntuhan yang terjadi pada jenis spesimen T2, T3 dan T4 tersebut disebabkan oleh adanya gaya tekan, geser serta tarik pada pelat beton. Karena penghubung geser yang digunakan pada spesimen T2, T3 dan T4 luas bidang kontakannya dengan beton lebih besar daripada penghubung geser yang digunakan pada spesimen T1, maka penghubung geser mampu memberikan gaya tarik belah yang cukup pada beton di bawahnya. Akibatnya, sebelum spesimen mengalami keruntuhan, pelat beton terlebih dahulu mengalami retak dan pada akhirnya terbelah. Model keruntuhan pada jenis spesimen T2, T3 dan T4 dimana mekanisme keruntuhannya seragam, ditampilkan pada Gambar 9.

Penghubung geser beserta las yang digunakan pada semua jenis spesimen tetap kokoh sampai pengujian berakhir. Tidak ditemukan adanya deformasi pada penghubung geser. Besarnya kapasitas *ultimate* untuk masing-masing penghubung geser ( $P_{uk}$ ) diperoleh dari setengah beban *ultimate* yang dicapai pada masing-masing spesimen. Pada Tabel 3 dapat dilihat kapasitas *ultimate* yang dicapai dengan tinggi penghubung geser yang bervariasi.



(a)



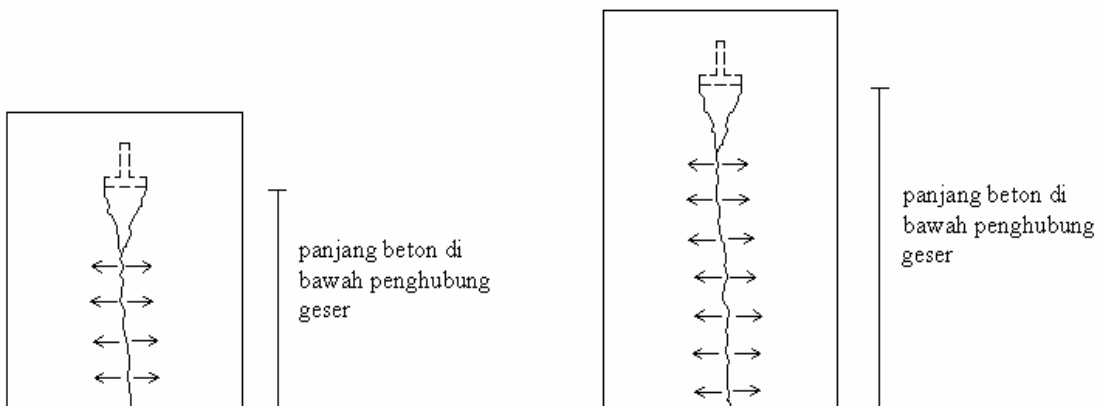
(b)

**Gambar 9. Model keruntuhan pada pelat beton akibat gaya tekan, geser dan tarik**

**Tabel 3. Kapasitas ultimate untuk tiap variasi tinggi penghubung geser**

No	Kode Benda Uji	Tinggi penghubung geser (mm)	Beban <i>ultimate</i> per penghubung geser $P_{uk}$ (kN)
1	T1-A	30	67.5
2	T1-B	30	75.0
3	T1-C	30	70.0
4	T2-A	45	85.0
5	T2-B	45	75.0
6	T2-C	45	85.0
7	T3-A	60	75.0
8	T3-B	60	80.0
9	T3-C	60	85.0
10	T4-A	75	102.5
11	T4-B	75	95.0
12	T4-C	75	100.0

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa beban ultimit yang dicapai oleh spesimen T2, T3, T4 hampir seragam. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh panjang pelat beton di bawah penghubung geser yang digunakan terbatas sehingga pada saat pelat beton hancur, belum mencapai kapasitas maksimum. Dengan panjang beton yang terbatas dalam penelitian ini, walaupun digunakan tinggi penghubung geser tipe T yang lebih besar, tidak akan memberikan penambahan kekuatan. Hal tersebut dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 10. Dari Gambar 10 dapat dilihat keruntuhan akibat tarik yang terjadi pada panjang beton yang berbeda di bawah penghubung geser.



**Gambar 10. Perbandingan keruntuhan yang terjadi antara (a) Panjang beton dalam penelitian; (b) Panjang Beton Yang dibuat lebih besar**

Apabila digunakan panjang beton yang lebih besar, keruntuhan tarik terjadi dalam waktu yang agak lama sehingga beton mengalami keruntuhan saat mencapai kapasitas maksimum. Sehingga dapat dilihat bahwa panjang beton di bawah penghubung geser mempengaruhi kemampuan penghubung geser dalam menerima gaya. Pada kenyataannya, panjang beton dibawah penghubung geser tersebut merupakan jarak antar penghubung geser.

**Sudut Geser Keruntuhan ( $\theta$ )**

Dari model keruntuhan masing-masing spesimen, besarnya sudut geser keruntuhan yang terjadi pada pelat beton dapat dihitung dengan rumus :

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{r}\right)$$

dimana:

- $\theta$  : sudut geser keruntuhan (derajat)
- $h$  : tinggi penghubung geser tipe T (mm)
- $r$  : panjang keruntuhan geser (mm)

Setelah dilakukan analisa sudut geser keruntuhan untuk masing-masing spesimen, hasilnya ditabelkan seperti pada Tabel 4. Dari tabel dapat dilihat besarnya sudut geser keruntuhan ( $\theta$ ) yang terjadi mendekati nilai yang dilaporkan oleh Hobs (1983) yaitu  $30^\circ$ .

**Tabel 4. Sudut geser keruntuhan yang terjadi pada spesimen komposit**

No	Kode Benda Uji	$h$ (mm)	$r$ (mm)	$\theta$ (derajat)
1	T1-A	30	45	33.69
2	T1-B	30	45	33.69
3	T1-C	30	45	33.69
4	T2-A	45	120	20.56
5	T2-B	45	125	19.80
6	T2-C	45	120	20.56
7	T3-A	60	90	33.69
8	T3-B	60	80	36.87
9	T3-C	60	75	38.66
10	T4-A	75	105	35.54
11	T4-B	75	125	30.96
12	T4-C	75	110	34.29

**Hubungan Kuat Tumpu Tekan ( $f'_{ub}$ ) dan Variasi Tinggi Penghubung Geser**

Kuat tumpu tekan adalah tegangan tumpu pada permukaan beton seluas bidang muka penghubung geser hingga pelat beton runtuh. Besarnya kuat tumpu tekan ( $f'_{ub}$ ) yang terjadi dapat dihitung dengan rumus:

$$f'_{ub} = \frac{P_{uk}}{h \times l}$$

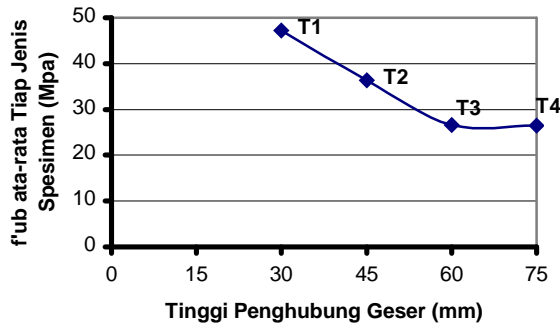
dimana:

- $f'_{ub}$  : kuat tumpu tekan (MPa)
- $P_{uk}$  : beban ultimate per penghubung geser (N)
- $h$  : tinggi penghubung geser tipe T (mm)
- $l$  : lebar penghubung geser tipe T (mm)

Dari hasil perhitungan, nilai kuat tumpu tekan ( $f'_{ub}$ ) untuk masing-masing spesimen serta kuat tumpu tekan rata-rata ( $f'_{ub}$  rata-rata) untuk masing-masing jenis spesimen dapat dilihat pada Tabel 5. Dari tabel dapat dibuat hubungan antara  $f'_{ub}$  rata-rata untuk setiap jenis spesimen komposit dengan tinggi penghubung geser tipe T yang digunakan, seperti terlihat pada Gambar 11.

**Tabel 5. Kuat tumpu tekan untuk spesimen komposit**

No.	Kode Benda Uji	$f'_{cr}$ (MPa)	$h$ (mm)	$l$ (mm)	$P_{uk}$ (kN)	$f'_{ub}$ (MPa)
1	T1-A	22.203	30	50	67.5	45.00
	T1-B				75.0	50.00
	T1-C				70.0	46.67
	$f'_{ub}$ rata-rata =					47.22
2	T2-A	22.203	45	50	85.0	37.78
	T2-B				75.0	33.33
	T2-C				85.0	37.78
	$f'_{ub}$ rata-rata =					36.30
3	T3-A	22.203	60	50	75.0	25.00
	T3-B				80.0	26.67
	T3-C				85.0	28.33
	$f'_{ub}$ rata-rata =					26.67
4	T4-A	22.203	75	50	102.5	27.33
	T4-B				95.0	25.33
	T4-C				100.0	26.67
	$f'_{ub}$ rata-rata =					26.44

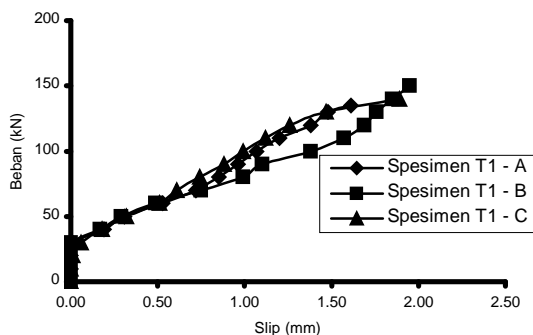


Gambar 11. Hubungan antara  $f'_{ub}$  rata-rata dengan variasi tinggi penghubung geser tipe T

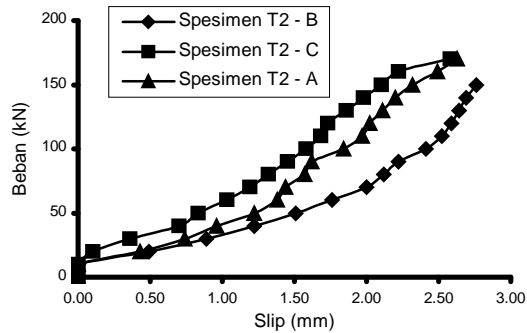
Pada gambar 11 dapat dilihat semakin besar tinggi penghubung geser yang digunakan, maka  $f'_{ub}$  rata-rata makin rendah. Hal disebabkan karena terjadi pengekanan oleh beton yang menutupi penghubung geser pada saat spesimen komposit dibebani. Pengekanan tersebut mempengaruhi besarnya kuat tumpu tekan tiap jenis spesimen. ( $f'_{ub}$  rata-rata) mengecil bersamaan dengan berkurangnya ketebalan beton yang menutupi penghubung geser sebagai akibat dari tinggi penghubung geser yang semakin bertambah.

### Hubungan Slip Dengan Beban

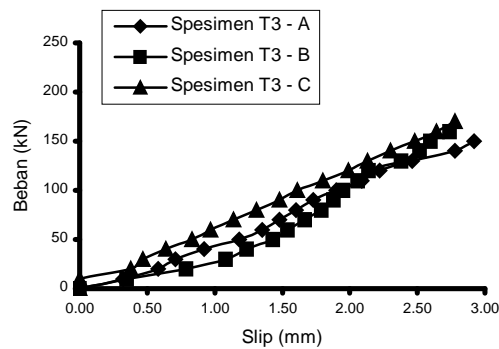
Pada pengujian terhadap spesimen komposit yang dilakukan, *slip* antara baja dan pelat beton diukur dengan *dial gauge* dan dicatat secara manual setiap penambahan beban 1 ton sampai pelat runtuh. Hasil pengujian *slip* antara baja dengan pelat beton untuk setiap spesimen ditampilkan pada Gambar 12, 13, 14, dan 15.



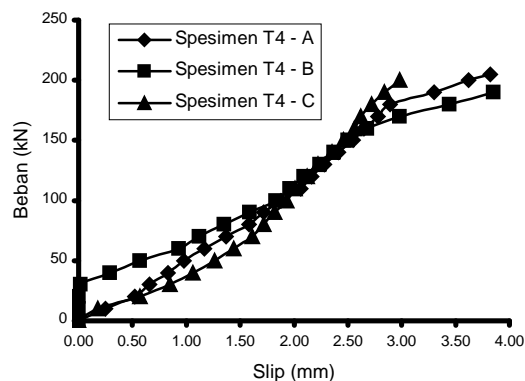
Gambar 12. Hubungan *slip* dan beban, penghubung geser dengan tinggi 30 mm



Gambar 13. Hubungan *slip* dan beban, penghubung geser dengan tinggi 45 mm



Gambar 14. Hubungan *slip* dan beban, penghubung geser dengan tinggi 60 mm



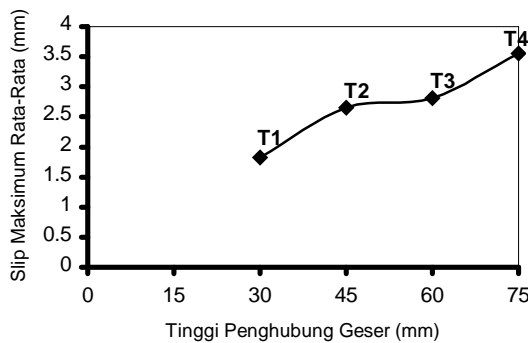
Gambar 15. Hubungan *slip* dan beban, penghubung geser dengan tinggi 75 mm

Dari Gambar 12 sampai 15 dapat dihitung besarnya *slip* maksimum rata-rata yang terjadi pada setiap jenis spesimen, dan hasilnya ditampilkan pada Tabel 6.

Data-data dari tabel diatas dapat ditampilkan dalam bentuk grafik seperti diperlihatkan pada Gambar 16.

**Tabel 6. Nilai slip maksimum rata-rata untuk masing-masing jenis spesimen**

No.	Jenis spesimen	h (mm)	Slip maksimum (mm)
1	T1 – A	30	1.61
	T1 – B		1.95
	T1 – C		1.89
	Slip maksimum rata-rata =		1.82
2	T2 – A	45	2.63
	T2 – B		2.76
	T2 – C		2.58
	Slip maksimum rata-rata =		2.65
3	T3 – A	60	2.92
	T3 – B		2.74
	T3 – C		2.78
	Slip maksimum rata-rata =		2.81
4	T4 – A	75	3.82
	T4 – B		3.85
	T4 – C		2.98
	Slip maksimum rata-rata =		3.55



**Gambar 16. Hubungan antara tinggi penghubung geser dan slip maksimum rata-rata**

Dari gambar diatas terlihat bahwa makin besar tinggi penghubung geser yang digunakan, maka makin besar pula slip maksimum yang terjadi.

**Hubungan Kekuatan Penghubung Geser ( $Q_n$ ) dengan Luas Bidang Muka Penghubung Geser (A)**

Untuk melihat hubungan antara tinggi penghubung geser tipe T dengan kapasitas ultimit berdasarkan hasil penelitian, digunakan nilai  $P_{uk}$  rata-rata untuk masing-masing jenis spesimen yang diperoleh dari Tabel 3.  $P_{uk}$  rata-rata untuk spesimen T1, T2, T3 dan T4 ditampilkan pada Tabel 7.

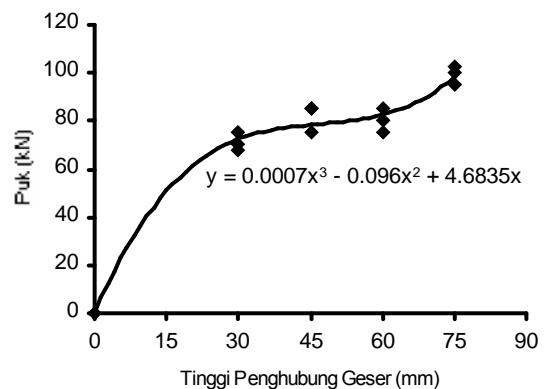
Untuk menentukan kekuatan penghubung geser tipe T berdasarkan hasil penelitian, dengan menggunakan data spesimen T1, T2, T3, T4 maka diperoleh bentuk grafik seperti ditampilkan pada Gambar 17. Pada grafik terlihat titik 0 diikutkan karena secara logika jika tinggi penghubung geser = 0, maka kekuatan penghubung geser = 0. Dengan menggunakan  $P_{uk}$  spesimen T1, T2, T3 dan T4, maka diperoleh bentuk parabola dengan persamaan:

$$y = 0,0007x^3 - 0,096x^2 + 4,6835x$$

dimana  $x$  adalah tinggi penghubung geser sebesar  $h$ .

**Tabel 7. Hasil  $P_{uk}$  rata-rata untuk Spesimen T1, T2, T3 dan T4**

No	Jenis spesimen	h (mm)	l (mm)	$P_{uk}$ (kN)
1	T1-A	30	50	67.5
	T1-B			75.0
	T1-C			70.0
	$P_{uk}$ rata-rata =			70.83
2	T2-A	45	50	85.0
	T2-B			75.0
	T2-C			85.0
	$P_{uk}$ rata-rata =			81.67
3	T3-A	60	50	75.0
	T3-B			80.0
	T3-C			85.0
	$P_{uk}$ rata-rata =			80.0
4	T4-A	75	50	102.5
	T4-B			95.0
	T4-C			100.0
	$P_{uk}$ rata-rata =			99.17



**Gambar 17. Hubungan antara tinggi penghubung geser dan  $P_{uk}$**

Untuk menyesuaikan agar luas sebagai variabel, maka persamaan parabola diatas dirubah menjadi :

$$y = 0,0007\left(\frac{h \times l}{l}\right)^3 - 0,096\left(\frac{h \times l}{l}\right)^2 + 4,6835\left(\frac{h \times l}{l}\right)$$

$$y = 0,0007\left(\frac{A}{l}\right)^3 - 0,096\left(\frac{A}{l}\right)^2 + 4,6835\left(\frac{A}{l}\right)$$

$$y = \frac{0,0007}{l} A^3 - \frac{0,096}{l} A^2 + \frac{4,6835}{l} A$$

dengan lebar penghubung geser konstan ( $l = 50$  mm), persamaan menjadi:

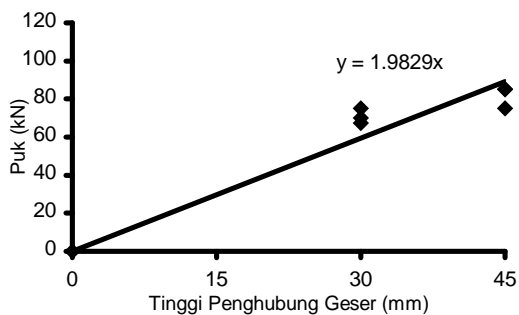
$$y = \frac{0,0007}{50} A^3 - \frac{0,096}{50} A^2 + \frac{4,6835}{50} A$$

$$y = 0,000014A^3 - 0,00192A^2 + 0,09367A$$

Kekuatan penghubung geser tipe T pada pelat beton ukuran 340x280x100 (mm) adalah :

$$Q_n = 0,000014A^3 - 0,00192A^2 + 0,09367A$$

Keruntuhan yang terjadi pada spesimen kemungkinan dipengaruhi oleh panjang beton yang terbatas di muka penghubung geser. Pada kenyataannya di lapangan, konstruksi struktur komposit memiliki beton yang menerus sesuai dengan panjang strukturnya, tidak dibatasi seperti pada penelitian ini. Untuk kondisi di lapangan diusulkan persamaan linear dengan menggunakan  $P_{uk}$  dari jenis spesimen T1 dan T2 karena pada spesimen T3 dan T4 masing-masing terjadi penurunan dan kenaikan. Jadi untuk memperoleh hasil yang mendekati dan untuk menyesuaikan dengan rumus kekuatan penghubung geser yang sudah ada, maka diusulkan bentuk linear seperti yang terlihat pada Gambar 18.



**Gambar 18. Hubungan antara tinggi penghubung geser dan  $P_{uk}$  yang dinyatakan dengan bentuk linear**

Dengan menggunakan  $P_{uk}$  spesimen T1 dan T2, maka diperoleh bentuk linear dengan persamaan  $y = 1,9829x$ , dimana  $x$  adalah tinggi penghubung geser sebesar  $h$  sehingga persamaan diatas menjadi:  $y = 1,9829h$ .

Untuk menyesuaikan agar luas sebagai variabel, maka persamaan linear diatas dirubah menjadi :

$$y = 1,9829\left(\frac{h \times l}{l}\right)$$

$$y = 1,9829\left(\frac{A}{l}\right) = \frac{1,9829}{l} A$$

Dengan lebar penghubung geser yang konstan ( $l = 50$  mm), persamaan menjadi:

$$y = \frac{1,9829}{50} A = 0,039658A$$

$$\longrightarrow Q_n = 0,039658A$$

Untuk menyesuaikan dengan rumus penghubung geser yang sudah ada, dimana kekuatan penghubung geser ( $Q_n$ ) = konstanta x luas x fungsi mutu beton, maka persamaan  $Q_n$  diatas menjadi :

$$Q_n = 0,039658A \frac{\sqrt{f'_c \cdot E_c}}{\sqrt{f'_c \cdot E_c}} = \frac{0,039658}{\sqrt{f'_c \cdot E_c}} A \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$

$$Q_n = \frac{0,039658}{\sqrt{f'_c \cdot w^{1.5} (0,041)} \sqrt{f'_c}} A \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$

$$Q_n = \frac{0,039658}{\sqrt{22,203 \times 2320^{1.5} (0,041)} \sqrt{22,203}} A \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$

$$Q_n = 0,0000573A \sqrt{f'_c \cdot E_c}$$

Berdasarkan rumus kekuatan penghubung geser, kekuatan penghubung geser sebanding dengan luasnya yang artinya jika luasnya bertambah maka kekuatannya juga akan bertambah. Juga dapat dilihat bahwa panjang beton di muka penghubung geser pada penelitian ini merupakan jarak penghubung geser. Dengan menggunakan perbandingan antara panjang beton di muka penghubung geser (255 mm) dan dimensi penghubung geser terbesar dari spesimen yang menghasilkan grafik linear ( $l = 50$  mm), dapat dianalisa jarak minimum penghubung geser agar rumus diatas dapat dipakai, yaitu sebesar 5,1  $h$ .



## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang didapat, maka dapat ditarik beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Tinggi penghubung geser mempengaruhi kuat geser konektor tipe T, dimana semakin besar luas bidang muka penghubung geser tipe T maka makin besar kekuatannya. Hal tersebut dibatasi pada dimensi pelat beton yang digunakan pada penelitian ini, dimana tebal pelat beton = 10 cm dan panjang beton di bawah penghubung geser tipe T sebesar 25,5 cm.
2. Semakin besar tinggi penghubung geser yang digunakan, semakin besar *slip* maksimum yang terjadi antara baja inti dengan pelat beton. *Slip* maksimum yang terjadi pada spesimen berkisar antara 1,82 mm sampai 3,55 mm.

### Saran

Berdasarkan pengamatan selama penelitian maka dapat disampaikan saran-saran sebagai berikut:

1. Dalam pembuatan spesimen komposit perlu diperhatikan proses pematatan campuran beton pada pelat agar diperoleh kepadatan yang merata.
2. Perlu dilakukan penelitian sejenis dengan variasi panjang beton.
3. Perlu diadakan penelitian yang lebih intensif dengan penambahan tulangan pada pelat beton untuk meningkatkan kemampuan penghubung geser.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian dan penulisan jurnal ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 1979. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBI 1971)*, Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Bandung.

- Amon, R. dan Mazumder. 1996. *Perencanaan Konstruksi Baja Untuk Insinyur dan Arsitek 1*, Edisi Pertama, Pradnya Paramita, Jakarta
- Fergusson, P.M., Sutanto, B., dan Setianto, K. 1991. *Dasar-dasar Beton Bertulang*, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Hobs, D.W. 1983. *Failure Criteria For Concrete, Cement and Concrete Association*, Wexham Springs, England.
- Oguejiofor, E.C. and Hosain, M.U. 1994. *A Parametric Study of Perfobond Rib Shear Connector*, Vol. 21, National Research Council Canada.
- Salmon, C.G. dan Johnson, J.E. 1986. *Struktur Baja Desain Dan Perilaku*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Salmon, C.G. dan Johnson, J.E. 1996. *Struktur Baja Desain dan Perilaku Dengan Penekanan Pada Load and Resistance Factor Design*, Edisi Ketiga, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.