

## ANALISIS PENGHUBUNG GESER BALOK KOMPOSIT PRACETAK DENGAN PLAT BETON

Franco Michael Sumampouw

Steenie E. Wallah, Bonny M. M. Ointu, Servie O. Dapas

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

Email: [franco.sumampouw@gmail.com](mailto:franco.sumampouw@gmail.com)

### ABSTRAK

*Struktur beton pracetak banyak digunakan karena dapat dikerjakan dengan cepat, tepat dan efisien namun masih diperlukan komponen beton cast in situ contohnya plat sehingga balok dan plat harus disambungkan dengan penghubung geser agar struktur menjadi struktur komposit. Pada struktur komposit terdapat gaya geser horizontal yang timbul selama pembebanan. Penggunaan elemen komposit harus memiliki tahanan terhadap geser yang cukup pada bidang singgung agar tidak terjadi slip antara balok dan plat beton. Mekanisme transfer tegangan geser antara beton dipengaruhi oleh kekasaran dari permukaan, tahanan tekan dari beton dengan mutu yang lebih rendah, serta jumlah penghubung geser (shear connector).*

*Analisis yang digunakan didasarkan pada Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung menurut SNI 2847-2013. Balok Komposit beton pracetak dan plat beton dimodelkan dalam balok dengan perletakan jepit-jepit dengan panjang bentang 4 meter dan plat selebar balok dengan penghubung geser (shear connector) berupa takikan dari balok beton dengan variasi bentuk, tinggi dan lebar. Tahapan analisis data menggunakan bantuan perangkat lunak Structure Analysis Program (SAP2000).*

*Hasil analisis memperlihatkan bahwa penghubung geser (shear connector) memberikan pengaruh terhadap elemen balok, dalam menahan gaya geser yang terjadi antara balok pracetak dan plat beton. Penghubung geser yang ditakikan pada plat dengan bentuk yang berbeda walaupun memiliki luas penghubung geser dan jumlah penghubung geser yang sama akan menghasilkan tegangan yang berbeda. Penghubung geser pada balok komposit pracetak dan plat beton dengan bentuk persegi panjang merupakan penghubung geser yang paling efisien dilihat dari tegangan-tegangan dan lendutan yang dihasilkan.*

**Kata kunci:** balok komposit, penghubung geser (shear connector), beton pracetak

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan yang semakin meningkat, sistem struktur dituntut untuk didisain menjadi lebih efektif dan efisien disegala aspek. Selain dari segi kekuatan yang secara mutlak harus terpenuhi, aspek lain seperti aspek ekonomi dan kemudahan pelaksanaan juga harus diperhitungkan.

Dalam dunia konstruksi yang menuntut untuk bergerak cepat, tepat, dan efisien. Penggunaan sistem *precast* atau yang dikenal dengan beton pracetak banyak digunakan karena dapat bekerja dengan cepat, tepat, dan efisien. Beton *precast* mempunyai kualitas yang benar-benar terjamin karena proses pembuatannya dilakukan dengan metode yang baik dan benar, serta perawatannya juga sangat diperhatikan sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Pekerjaan struktur balok beton pracetak masih memerlukan komponen beton bertulang biasa contohnya plat. Jika penggunaan plat beton digunakan mutu yang sama dengan elemen balok maka pekerjaan struktur tidak akan efisien. Plat beton biasanya di cor di tempat atau cast in situ karena dimensi plat yang besar namun tidak terlalu tebal yang jika dibuat *precast* akan menimbulkan masalah dalam pengangkutan. Oleh karena itu dibuat solusi dengan membuat elemen komposit antara plat beton cor in situ dan balok beton yang dibuat dengan menggunakan sistem *precast* dengan mutu yang berbeda.

Pada struktur komposit terdapat gaya geser horizontal yang timbul selama pembebanan. Penggunaan elemen komposit harus memiliki tahanan terhadap geser yang cukup pada bidang singgung. Bila struktur komposit bekerja secara kesatuan maka tidak akan terjadi slip antara plat dan balok. Mekanisme transfer tegangan geser

antar beton dipengaruhi oleh kekasaran dari permukaan, tahanan tekan dari beton dengan mutu yang lebih rendah, serta jumlah penghubung geser (*shear connector*). Plat lantai dan balok pracetak dihubungkan dengan penghubung geser (*shear connector*) ataupun perlakuan khusus pada bidang singgung agar menghasilkan struktur komposit. Dalam perencanaan ini dianalisis parameter paling efisien untuk struktur komposit beton dan beton dengan beda mutu.

**Rumusan Masalah**

Daya lekat efektif antara kedua bagian dari balok komposit dapat dikembangkan dengan membuat kasar permukaan singgung dari unit pracetak sebelum pengecoran beton cor langsung di tempat, atau dengan menonjolkan tulangan-tulangan dari unit pracetak yang berfungsi sebagai penyambung geseran. Hal ini akan meningkatkan tahanan geser pada bidang kontak struktur komposit. Maka diperlukan analisis penghubung geser dengan menggunakan *software* SAP untuk menentukan penghubung geser paling efektif untuk penampang komposit balok beton pracetak dan plat beton cor in situ.

**Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa pengaruh variasi model penghubung geser dari balok pracetak yang ditakikan ke dalam plat pada permukaan antara balok dan plat dengan mutu beton yang berbeda terhadap tahanan geser yang dihasilkan dari suatu penampang komposit balok beton pracetak dan plat beton bertulang cor di tempat.

**Manfaat Penelitian**

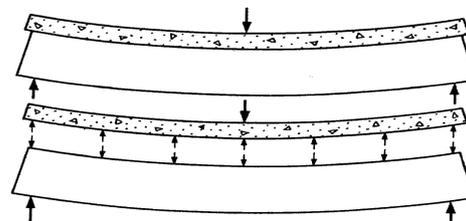
Dapat memberikan informasi tentang model penghubung geser (*shear connector*) yang efisien untuk menghasilkan tahanan geser yang optimum

**LANDASAN TEORI**

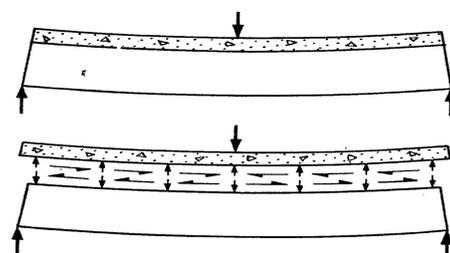
**Sistem Struktur Komposit**

Menurut Wang dan Salmon, (1990), jika sistem plat dan balok tidak bekerja secara gabungan (Gambar 1), interaksi hanya diberikan oleh gesekan; sehingga plat hanya memikul sebagian kecil aksi longitudinal. Sistem statis dengan gesekan yang diabaikan. Bila sistem bekerja secara gabungan (Gambar 2), maka tidak akan terjadi *slip relative* antara plat dan balok. Gaya-gaya horizontal yang timbul akan memendekkan permukaan bawah dari plat dan

memanjangkan permukaan atas balok. Dengan demikian ketidaksinambungan pada bidang kontak dapat dihilangkan bila perlawanan geser horizontal dapat dikerahkan secukupnya. Dapat dicatat bahwa lendutan dari sistem gabungan akan jauh lebih kecil dari lendutan sisten tanpa gabungan.



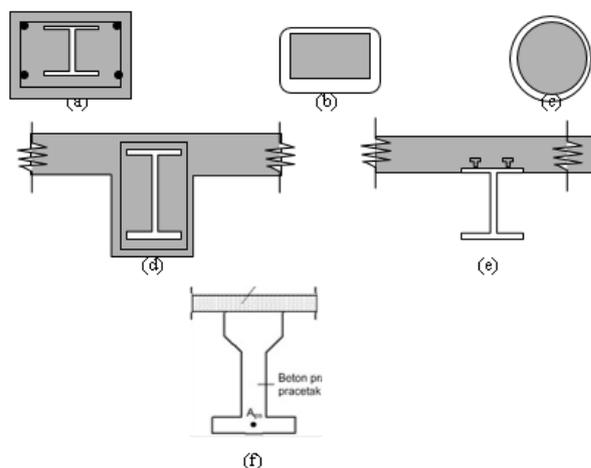
Gambar 1. Balok Bukan Komposit yang Melendut (Sumber: Wang dan Salmon, 1990)



Gambar 2. Balok Komposit yang Melendut (Sumber: Wang dan Salmon, 1990)

Umumnya struktur komposit berupa :

1. Kolom baja terbungkus beton / balok baja terbungkus beton (Gambar 3.a/d).
2. Kolom baja berisi beton/tiang pancang (Gambar 3.b/c).
3. Balok baja yang menahan slab beton (Gambar 3.e)
4. Balok beton pracetak (*precast*) yang menahan plat beton (Gambar 3.f)



Gambar 3. Tipe Struktur Komposit

**Tegangan Lentur**

Balok adalah batang yang dominan memikul beban-beban yang bekerja arah transversal. Akibat beban ini, balok akan mengalami deformasi yang berupa lengkungan atau kenturan yang menimbulkan tegangan. Apabila ukuran balok bertambah, maka tegangan pada suatu titik pada balok akan berkurang untuk suatu harga momen. Besaran ini disebut dengan momen inersia (I). Tegangan lentur sangat berpengaruh dari faktor-faktor diatas. Persamaan tegangan lentur adalah:

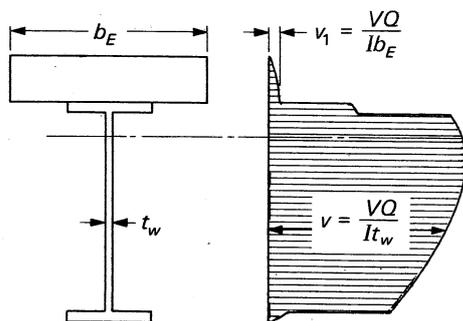
$$\sigma_x = \frac{M.y}{I} \tag{1}$$

Jika momen lentur disuatu balok adalah positif, maka tegangan lentur akan positif (tarik) dibagian penampang dimana y adalah negatif, artinya dibagian bawah balok. Tegangan dibagian atas balok akan negatif (tekan), jika momen lentur adalah negatif juga.

**Tegangan Geser**

Persamaan Tegangan geser adalah

$$\tau = \frac{V.Q}{I.b} \tag{2}$$



Gambar 4. Distribusi Tegangan Geser pada Penampang Komposit (Sumber: Wang dan Salmon, 1990)

**Lebar Efektif.**

Konsep lebar efektif sangat berguna dalam proses desain suatu komponen struktur komposit terutama ketika proses desain harus dilakukan terhadap suatu elemen yang mengalami distribusi tegangan yang tidak seragam. Besarnya lebar efektif (Gambar 5) dari suatu komponen struktur komposit dapat ditentukan sebagai berikut:

1. Untuk gelagar luar (tepi).

$$b_{eff} \leq L/8$$

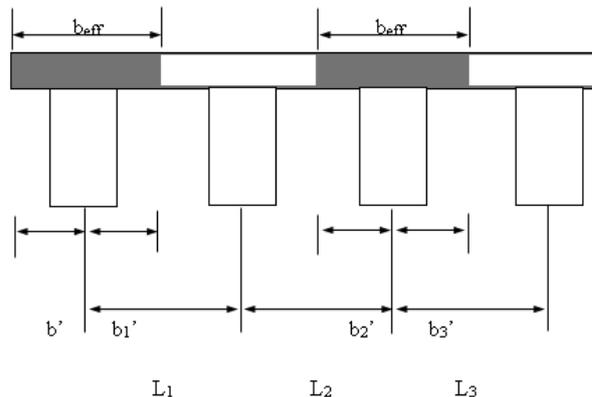
$$b_{eff} \leq L_1/2 + b'$$

2. Untuk gelagar dalam.

$$b_{eff} \leq L/4$$

$$b_{eff} \leq (L_1 + L_2)/2$$

Lebar efektif yang dipakai dipilih yang terkecil.



Gambar 5. Lebar efektif balok komposit

**Perencanaan Kekuatan Plat Beton di Atas Balok Beton Pracetak**

Untuk menjamin bahwa tegangan-tegangan pada tingkat beban kerja tidak akan melampaui 75% dari kekuatan leleh yang ditetapkan untuk tulangan, peraturan ACI mensyaratkan bahwa tinggi efektif dc dari penampang komposit sebagaimana digunakan untuk menghitung kekuatan nominal Mn tidak boleh melebihi

$$dc \leq \left( 1.15 + 0.24 \frac{ML}{MD} \right) dp \tag{3}$$

Dua persyaratan harus dipenuhi. Pertama, tegangan kerja tanpa perancah tidak boleh melebihi 0.75fy dalam baja

$$\frac{MD}{As Ip dp} + \frac{ML}{As Ic dc} \leq 0.75fy \tag{4}$$

Persyaratan kedua adalah bahwa kekuatan momen nominal Mn dari penampang gabungan harus mencukupi

$$\phi Mn \geq Mu \tag{5}$$

$$0.90(Asfy) \left( dc - \frac{a}{2} \right) \geq 1.4MD + 1.7ML \tag{6}$$

Dari pada menggunakan beberapa aturan khusus dengan sasaran pada penyediaan kelayakan yang layak secara tidak langsung. ACI-17.2 secara sederhana menyatakan persyaratan-persyaratan umum, termasuk ACI-17.2.7 yang mensyaratkan agar unsur-unsur komposit memenuhi persyaratan pengendalian lendutan dalam ACI-9.5.5. ini berarti bahwa bilamana lendutan yang berlebihan dapat menimbulkan kerusakan, lendutan harus diperhitungkan.

Untuk menjamin aksi gabungan, maka geser horizontal harus dipindahkan melewati bidang kontak. Untuk perencanaan biasa, menggunakan kekuatan nominal geser horizontal Vnh yang dihitung dengan

$$Vnh = vnh bv dc \tag{7}$$

harga-harga maksimum untuk vnh dapat dilihat dalam SNI 2847-2013

dengan demikian, persyaratan perencanaan pada SNI 2487.2013 dapat dinyatakan sebagai

$$\phi V_n h \geq V_u \quad (8)$$

### Konsep Kekuatan

Menurut Wang dan Salmon (1990), jika digunakan konsep kekuatan, maka penghubung geser terbagi secara merata dalam memikul gaya tekan total yang terjadi dalam plat beton dengan dicapainya kekuatan momen nominal  $M_u$ . Ini berarti, diperlukan penghubung geser untuk memindahkan gaya tekan yang timbul pada tengah bentang ke balok precast dengan jarak  $L/2$ , karena gaya tekan tidak boleh ada dalam plat beton pada ujung bentang dimana tidak ada momen. Gaya tekan pada kekuatan  $M_n$  yang harus disalurkan tidak boleh melebihi apa yang dapat dipikul oleh beton,

$$C_{maks} = 0.85 f'c b E t \quad (9)$$

atau, jika gaya Tarik di sisi bawah plat pada kekuatan  $M_n$  lebih kecil dari  $C_{maks}$

$$T_{maks} = A_s f_y \quad (10)$$

Dengan demikian untuk penghubung individual yang masing-masing mempunyai kekuatan  $q_{ult}$  pada ambang pintu keruntuhan, jumlah total  $N$  penghubung yang diperlukan antara titik-titik dengan lentur maksimum dan nol adalah

$$N = \frac{C_{maks}}{q_{ult}} \quad \text{atau} \quad \frac{T_{maks}}{q_{ult}} \quad (11)$$

tergantung nilai terkecil

Juga dapat diperhatikan bahwa hubungan plat dan balok harus mempunyai momen nominal  $M_n$ . Namun dibawah beban kerja, balok memikul beban mati dan beban hidup, tapi penghubung hanya memikul beban yang ada setelah plat mencapai kekuatannya. Jika hubungan direncanakan untuk memikul beban hidup saja, harus digunakan faktor keamanan yang lebih tinggi. Secara pendekatan hasil yang sama diperoleh jika penghubung direncanakan memikul beban mati di samping beban hidup dengan provisi keamanan yang lazim.

### Permukaan Bidang Sentuh

Menurut Pedro Santos (2009), permukaan bidang sentuh dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Sangat halus

Permukaan yang dikategorikan halus seperti, permukaan baja, plastik, atau kayu.

2. Halus

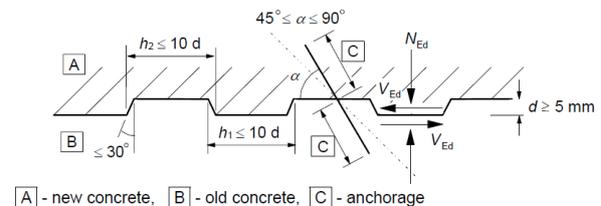
permukaan yang dikategorikan halus seperti beton yang hanya dibiarkan setelah di cor

3. Kasar

Permukaan kasar adalah permukaan yang paling tidak memiliki amplitude 3 mm dan spai 20 mm karena adanya agregat kasar yang timbul di permukaan. atau sengaja dikasarkan sehingga mencapai amplitude 3 mm

4. Bertakuk

Permukaan Bertakik dapat dilihat pada Gambar 6. dimana permukaan sengaja dikasarkan dengan amplitude diatas 6 mm.



Gambar 6. Permukaan Bidang Sentuh Bertakuk  
(Sumber: Pedro Santos, 2009)

Tegangan tekan rencana pada bidang sentuh antara vbeton dan beton ( $V_u$ ) adalah sebagai berikut:

$$V_u = c f_{ct} + \mu \sigma_n + \rho f_y (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0.5 v f'c \quad (12)$$

Tabel 1. Koefisien Kohesi dan Friksi Berdasarkan Eurocode 2 (2004)

Koefisien Kohesi dan Friksi Berdasarkan Eurocode 2		
Tipe Permukaan	koefisien Kohesi	koefisien friksi
	c	$\mu$
Sangat Halus	0.25	0.5
Halus	0.35	0.6
Kasar	0.45	0.7
Bertakuk	0.5	0.9

(Sumber: Pedro Santos, 2009)

### Jenis penghubung geser:

Menurut Wang dan Salmon (1987), jenis-jenis penghubung geser adalah sebagai berikut:

1. Senggang Baja tulangan dari balok pracetak, diangkurkan sepenuhnya ke dalam plat.
2. Gesekan atau lekatan dalam kombinasi dengan pengikat vertikal, untuk plat di atas balok beton pracetak.
3. Kunci geser, untuk semua kasus aksi gabungan beton-ke-beton di mana gesekan atau lekatan tidak cukup.
4. Pemberian takuk-takuk dalam unit pracetak atau dengan membuat kasar permukaan singgung dari unit pracetak sebelum pengecoran beton cor langsung di tempat.

## METODOLOGI PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penyelesaian proposal ini adalah dengan cara analitis yang difokuskan untuk perhitungan penghubung geser yang cukup kaku agar mendapatkan penampang yang sepenuhnya komposit sehingga mampu menahan gaya geser yang terjadi. Analisis yang digunakan didasarkan pada Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung menurut SNI 2847-2013.

Penelitian ini dibagi didalam 3 tahapan yaitu: Tahapan Input data berupa penyediaan data gaya aksial, gaya momen, dan juga gaya geser. Tahapan analisis data yaitu berupa perencanaan dimensi balok struktur menggunakan perangkat lunak Structure Analysis Program (SAP). Tahapan Output yang didalamnya membahas tentang hasil perencanaan penghubung geser (*shear connector*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Penelitian

Plat gabungan selebar balok diatas balok beton bertulang pracetak diletakkan diatas tumpuan jepit-jepit dengan data dibawah ini :

- Bentang = 4 m
- Tebal plat = 12 cm,
- Beban hidup = 50 kN/m<sup>2</sup>
- f'c untuk plat = 25 MPa
- f'c untuk balok = 50 MPa
- fy = 320 MPa.

### Pembebanan

- Beban pada penampang non komposit  
Taksiran berat plat = 1 kN/m  
Taksiran berat balok = 4 kN/m  
Beban mati = berat balok + berat plat  
= 1 + 4 = 5 kN/m
- Momen akibat beban mati dan beban hidup  
 $M_D = \frac{1}{24} \times w_D \times L^2$   
 $= \frac{1}{24} \times 5 \times 4^2$   
 $= 3.333 \text{ kNm}$

### Menentukan dimensi balok pracetak

- $\beta_1 = 0.85 - (f'c - 30) \frac{0.05}{7}$   
 $\beta_1 (\text{untuk } f'c = 50 \text{ MPa}) = 0.85 - (50 - 30) \frac{0.05}{7} = 0.707$
- $\rho_b = \left( \frac{0.85 \times \beta_1 \times f'c}{f_y} \right) \left( \frac{600}{600 + f_y} \right)$   
 $\rho_b = \left( \frac{0.85 \times 0.707 \times 50}{320} \right) \left( \frac{600}{600 + 320} \right)$

$$\rho_b = 0.0612$$

- $\rho_{max} = 0.75 \times \rho_b$   
 $\rho_{max} = 0.75 \times 0.0612$   
 $\rho_{max} = 0.04593$
- Misalkan diambil setengah dari  $\rho_{max}$   
 $\rho = 0.04593/2$   
 $\rho = 0.02296$
- $m = \frac{f_y}{0.85 \times f'c}$   
 $m = \frac{320}{0.85 \times 50}$   
 $m = 7.529$
- $Rn = \rho f_y \left( 1 - \frac{1}{2} \rho m \right)$   
 $Rn = 0.02296 \times 320 \left( 1 - \frac{1}{2} \times 0.02296 \times 7.529 \right)$   
 $Rn = 6.712 \text{ MPa}$
- $M_U = 1.2 \times M_D$   
 $M_U = 1.2 \times 3.333$   
 $M_U = 4 \text{ kNm}$
- $b \times d^2 (\text{perlu}) = \frac{Mu}{\phi Rn}$   
 $b \times d^2 (\text{perlu}) = \frac{4 \text{ kNm}}{0.9 \times 6.712 \times 1000 \text{ kN/m}^2}$   
 $b \times d^2 (\text{perlu}) = 0.000662 \text{ m}^3$
- $h_{min} = \frac{L}{16}$   
 $h_{min} = \frac{4}{16}$   
 $h_{min} = 0.25 \text{ m}$   
Diambil  $h = 500 \text{ mm}$
- Misalkan dipakai tulangan  $\phi = 16 \text{ mm}$   
 $As = \frac{\pi}{4} d^2$   
 $As = \frac{\pi}{4} 16^2$   
 $As = 201.062 \text{ mm}^2$
- $d = h - \text{selimut beton} - \frac{\phi_{tul}}{2}$   
 $d = 500 - 50 - \frac{16}{2}$   
 $d = 442 \text{ mm}$
- $b_{perlu} = \frac{0.000662 \text{ m}^3}{(0.442 \text{ m})^2}$   
 $b_{perlu} = 0.003388 \text{ m}$   
Dipakai  $b = 0.3 \text{ m} = 30 \text{ cm} = 300 \text{ mm}$
- $As_{perlu} = \rho \times b \times d$   
 $As_{perlu} = 0.02296 \times 300 \times 442$   
 $As_{perlu} = 3045.68 \text{ mm}^2$

### Menentukan tulangan untuk penampang komposit

- Beban pada penampang komposit
- Beban sementara = 2 kN/m<sup>2</sup> × 0.3 m  
= 0.6 kN/m
- Beban hidup = 50 kN/m<sup>2</sup> × 0.3 m  
= 15 kN/m
- $M_L = \frac{1}{24} \times w_L \times L^2$

$$= \frac{1}{24} \times 15 \times 4^2 = 10 \text{ kNm}$$

- $M_U = 1.2 M_D + 1.6 M_L$   
 $M_U = 1.2 \times 3.333 + 1.6 \times 10$   
 $M_U = 20 \text{ kNm}$
- $Mn_{perlu} = \frac{Mu}{\phi}$   
 $Mn_{perlu} = \frac{20}{0.9}$   
 $Mn_{perlu} = 22.2222 \text{ kNm}$
- Lebar efektif  $bE = 0.3 m$
- Dengan memisalkan garis netral berada dalam plat saat dicapainya kekuatan nominal  $Mn$ 
  - o  $C = 0.85 \times f'c \times bE \times a$   
 $C = 0.85 \times 25 \text{ MPa} \times 0.3 \text{ m} \times a$   
 $C = 6375 a \text{ (kN/m)}$
  - o  $T = fy \times As$   
 $T = 320 \text{ MPa} \times As$   
 $T = 320000As \text{ (kN/m}^2\text{)}$
  - o  $C = T$   
 $6375 a \text{ (kN/m)} = 320000As$   
 $As = \frac{6375 a \text{ (kN/m)}}{320000 \text{ (kN/m}^2\text{)}}$   
 $As = 0.019922a \text{ (m)}$
  - o  $dc = 620 - 50 - \frac{19}{2}$   
 $dc = 562 \text{ mm}$
  - o  $Mn = C(dc - 0.5a)$  jika  $a$  umumnya lebih kecil dari  $t/2$   
 $22.2222 = 6375 a (0.562 - 0.5a)$   
 $22.2222 - 3582.8a + 3187.5a^2 = 0$   
 $a^2 = 0.006237 \text{ m} = 6.237 \text{ mm}$
  - o  $As_{perlu} = 19.922a$   
 $As_{perlu} = 19.922 \times 6.237$   
 $As_{perlu} = 124.2561 \text{ mm}^2$
  - o  $n = \frac{As_{perlu}}{As \phi 16}$   
 $n = \frac{124.2561}{200.96} = 0.618 \approx 4 \text{ buah}$
  - o  $As_{ada} = 4 \times \frac{\pi}{4} 16^2$   
 $As_{ada} = 803.84 \text{ mm}^2 = 0.00080384 \text{ m}^2$

### Kontrol

- Periksa momen nominal penampang ada
- o  $T = fy \times As$   
 $T = 320 \times 1000 \text{ (kN/m)} \times 0.00080384 \text{ m}^2$   
 $T = 257.2288 \text{ kN}$
- o  $C = T = 6375 a \text{ (kN/m)}$   
 $257.2288 \text{ kN} = 6375 a \text{ (kN/m)}$   
 $a = \frac{257.2288 \text{ kN}}{6375 \text{ kN/m}}$   
 $a = 0.04035 \text{ m}$
- o  $Mn = C(dc - 0.5a)$

$$Mn = 257.2288 \text{ kN}(562 \text{ mm} - 0.5 \times 40.35 \text{ mm})$$

$$Mn = 92667.17 \text{ kNmm} > Mn_{perlu} = 22222.2 \text{ kNmm} \text{ OK}$$

- Periksa dc. Tinggi efektif maksimum dc dari penampang komposit tidak boleh melebihi
  - o  $dp = 500 - 50 - \frac{16}{2} = 442 \text{ mm}$
  - o  $(1.15 + 0.24 \frac{M_L}{M_D}) dp > dc$   
 $(1.15 + 0.24 \frac{10}{3.333}) 0.442 > 562 \text{ mm}$   
 $826.54 \text{ mm} > 562 \text{ mm} \quad \text{OK}$
- Periksa beban-beban konstruksi  
 $M_{sementara} = \frac{1}{24} (5 + 0.6) 4^4$   
 $= 3.7333 \text{ kNm}$

Untuk penampang pracetak

- o  $C = 0.85 \times f'c \times bE \times a$   
 $C = 0.85 \times 50 \text{ MPa} \times 0.3 \text{ m} \times a$   
 $C = 12750 a \text{ (kN/m)}$
- o  $T = fy \times As$   
 $T = 320 \times 1000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0.0080384 \text{ m}^2$   
 $T = 257.2288 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
- o  $a = \frac{257.2288 \text{ kN}}{12750 \text{ kN/m}}$   
 $a = 0.020175 \text{ m} = 2.0175 \text{ cm}$
- o  $Mn = C(dc - 0.5a)$   
 $Mn = 257.2288 \text{ kN}(442 \text{ mm} - 0.5 \times 2.0175 \text{ mm})$   
 $Mn = 111.1004 \text{ kNmm}$
- o  $Mn_{perlu} = \frac{1.2 \times 3.7333}{0.9} = 4.9778 \text{ kNm} < 111.1004 \text{ kNm} \text{ OK}$

### Periksa Pemindahan Geser

- o  $Vu = \frac{1}{2} (1.2(5) + 1.6(15)) 4^2 = 240 \text{ kN}$
- o  $vnh = \frac{Vnh}{bv dc} = \frac{Vu}{\phi bv dc} = \frac{238.69}{0.85 \times 300 \times 562} = 1.665581 \text{ N/mm}^2$
- karena  $vnh > 0.55 \text{ N/mm}^2$ , gesekan saja tidak dapat diandalkan untuk memindahkan geser horizontal,
- namun karena  $vnh < 3.5 \text{ N/mm}^2$ , permukaan harus sengaja dikasarkan

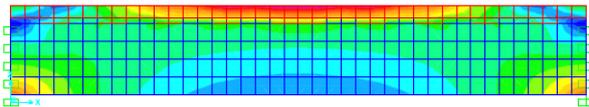
### Variasi Bentuk

Variasi pertama adalah balok pracetak dengan plat beton dimana balok pracetak ditakikan ke plat dengan bentuk penghubung geser yang berbeda meskipun dengan tinggi penghubung geser dan luas penghubung geser yang sama.

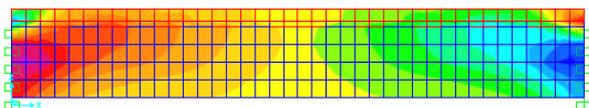
**Tegangan Normal di Bagian Tengah Bentang**

Tabel 2. Nilai Tegangan (Smax) di Bagian Tengah Bentang Variasi Bentuk penghubung geser

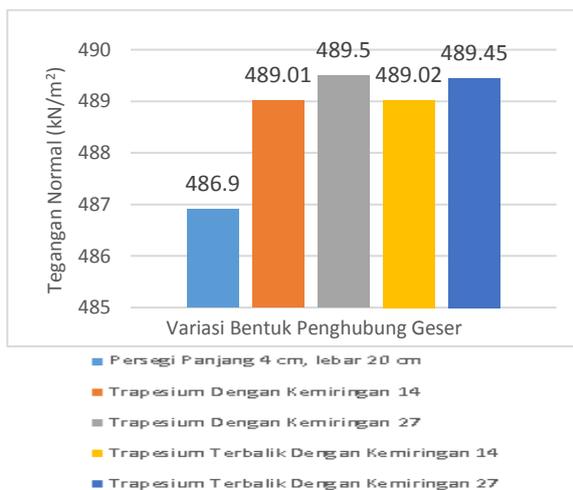
No	Variasi Bentuk Penghubung Geser	Bagian	Tegangan Normal kN/m <sup>2</sup>
1	Persegi Panjang 4 cm, lebar 20 cm	bawah	486.9
		tengah	-611.29
		atas	-2027.81
2	Trapesium Dengan Kemiringan 14	bawah	489.01
		tengah	-616.85
		atas	-2063.43
3	Trapesium Dengan Kemiringan 27	bawah	489.5
		tengah	-582.29
		atas	-2080.75
4	Trapesium Terbalik Dengan Kemiringan 14	bawah	489.02
		tengah	-613.59
		atas	-2054
5	Trapesium Terbalik Dengan Kemiringan 27	bawah	489.45
		tengah	-580.74
		atas	-2077.7



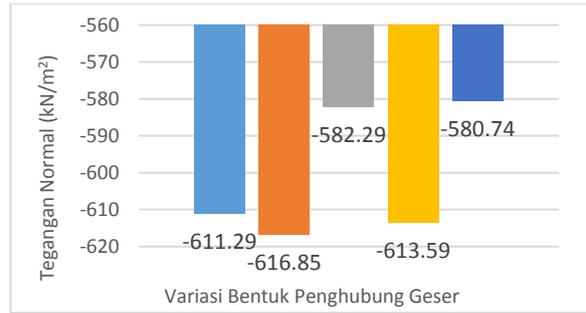
Gambar 7. Show Stress S<sub>11</sub>



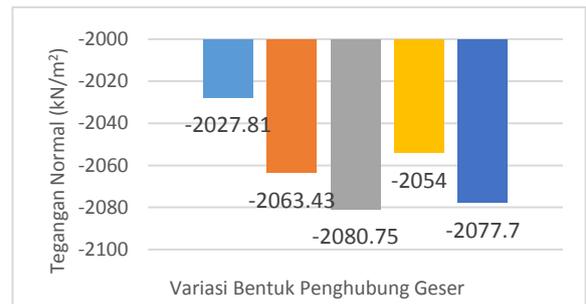
Gambar 8. Show Stress S<sub>13</sub>



Gambar 9. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Variasi Bentuk Penghubung Geser pada Bagian Atas Daerah Tengah Bentang



Gambar 10. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Variasi Bentuk Prnghubung Geser Pada Bagian Tengah Daerah Tengah Bentang

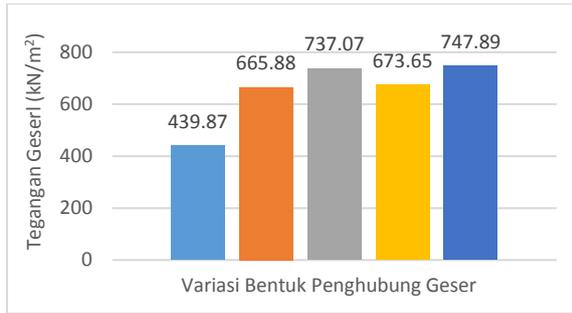


Gambar 11. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Variasi Bentuk Penghubung Geser pada Bagian Bawah Daerah Tengah

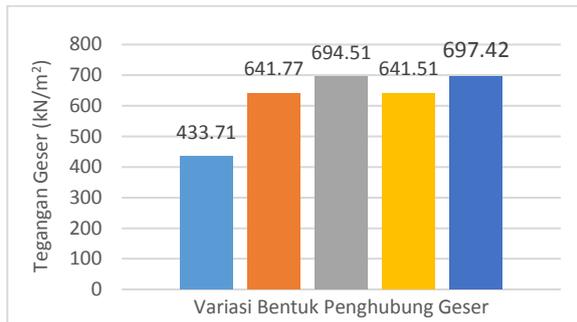
**Tegangan Geser Bagian Tumpuan**

Tabel 3. Nilai Tegangan Geser di Bagian Tumpuan Variasi Bentuk Penghubung Geser

No	Variasi Bentuk Penghubung Geser	Bagian	Tegangan Geser kN/m <sup>2</sup>
1	Persegi Panjang 4 cm, lebar 20 cm	bawah	-241.06
		tengah	439.87
		interface	433.71
		atas	137.13
2	Trapesium dengan Kemiringan 14	bawah	-265.2
		tengah	665.88
		interface	641.77
		atas	100.53
3	Trapesium dengan Kemiringan 27	bawah	-279.74
		tengah	737.07
		interface	694.51
		atas	-0.85
4	Trapesium Terbalik dengan Kemiringan 14	bawah	-259.29
		tengah	673.65
		interface	641.51
		atas	104.19
5	Trapesium Terbalik dengan Kemiringan 27	bawah	-277.62
		tengah	747.89
		interface	697.42
		atas	-7.16



Gambar 12. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Bentuk Penghubung Geser pada Bagian Tengah Daerah Tumpuan

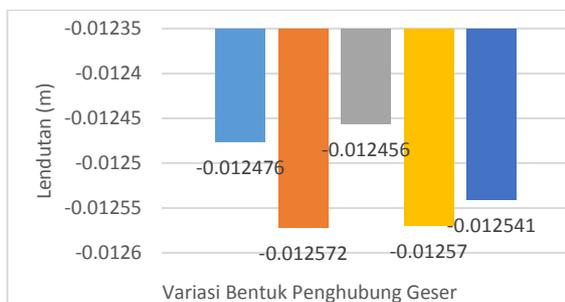


Gambar 13. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Bentuk Penghubung Geser pada Bagian Bidang Sentuh Daerah Tumpuan

### Lendutan di Tengah Bentang

Tabel 4. Lendutan di Tengah Bentang Variasi Bentuk Penghubung Geser

No	Variasi Bentuk Penghubung Geser	Lendutan (m)
1	Kotak	-0.012476
2	Trapeسيوم Dengan Kemiringan 14	-0.012572
3	Trapeسيوم Dengan Kemiringan 27	-0.012456
4	Trapeسيوم Terbalik Dengan Kemiringan 14	-0.01257
5	Trapeسيوم Terbalik Dengan Kemiringan 27	-0.012541



Gambar 14. Grafik Hubungan Lendutan dan Variasi Bentuk Penghubung Geser pada Daerah Tengah Bentang

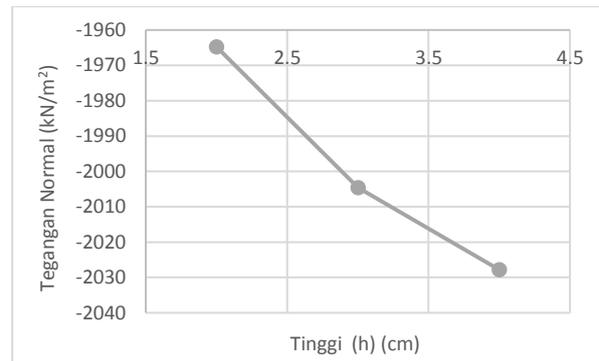
### Variasi Tinggi

Variasi tinggi penghubung geser didasarkan pada Eurocode 2 2004 dimana tinggi penghubung geser harus lebih besar dari 5 mm (Gambar 5) dan tingginya disesuaikan dengan tebal plat dimana pada penelitian ini tidak diambil lebih dari 1/3 tebal plat.

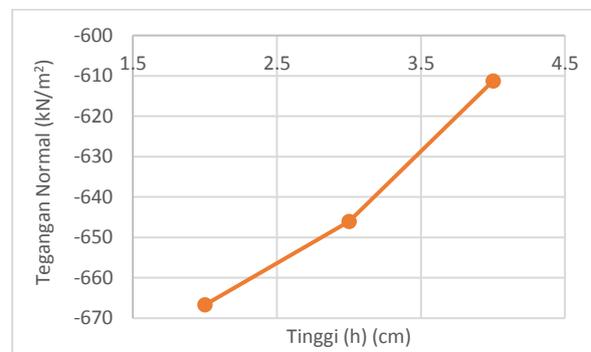
### Tegangan Normal Bagian Tengah Bentang

Tabel 5. Nilai Tegangan Normal di Bagian Tengah Bentang Variasi Tinggi

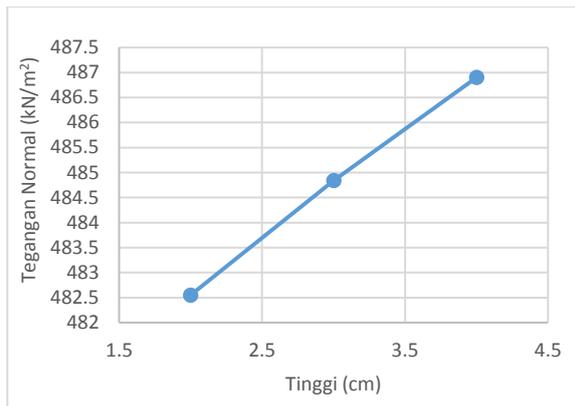
No	Variasi Tinggi Penghubung Geser	Bagian	Tegangan Normal kN/m <sup>2</sup>
1	2 cm x 20 cm	bawah	482.55
		tengah	-666.7
		atas	-1964.77
2	3 cm x 20 cm	bawah	484.84
		tengah	-646.07
		atas	-2004.58
3	4 cm x 20 cm	bawah	486.9
		tengah	-611.29
		atas	-2027.81



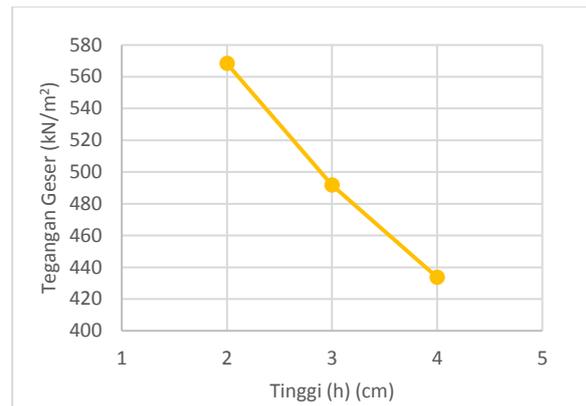
Gambar 15. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Variasi Tinggi Penghubung Geser pada Bagian Atas Daerah Tengah Bentang



Gambar 16. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Variasi Tinggi Penghubung Geser pada Bagian Tengah Daerah Tengah Bentang



Gambar 17. Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Variasi Tinggi Penghubung Geser pada Bagian Bawah Daerah Tengah Bentang



Gambar 19. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Tinggi Penghubung Geser pada Bagian Bidang Sentuh Daerah Tumpuan

### Tegangan Geser Bagian Tumpuan

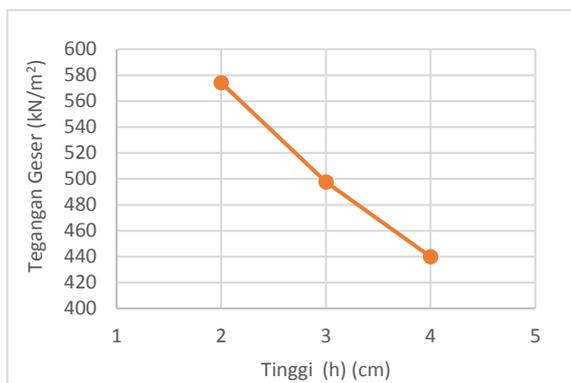
Tabel 6. Nilai Tegangan Geser di Bagian Tumpuan Variasi Tinggi

No	Variasi Tinggi Penghubung Geser	Bagian	Tegangan Geser kN/m <sup>2</sup>
1	2 cm x 20 cm	bawah	-240.51
		tengah	574.28
		interface	568.34
		atas	201.01
2	3 cm x 20 cm	bawah	-240.8
		tengah	497.72
		interface	491.74
		atas	163.2
3	4 cm x 20 cm	bawah	-241.06
		tengah	439.87
		interface	433.71
		atas	137.13

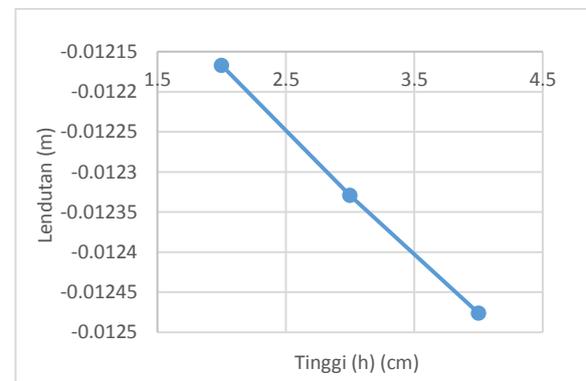
### Lendutan di Tengah Bentang

Tabel 7. Lendutan di Tengah Bentang Variasi Tinggi Penghubung Geser

No	Variasi Tinggi Penghubung Geser	Lendutan (m)
1	2 cm x 20 cm	-0.012167
2	3 cm x 20 cm	-0.012329
3	4 cm x 20 cm	-0.012476



Gambar 18. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Tinggi Penghubung Geser pada Bagian Tengah Daerah Tumpuan



Gambar 20. Grafik Hubungan Lendutan dan Variasi Tinggi Penghubung

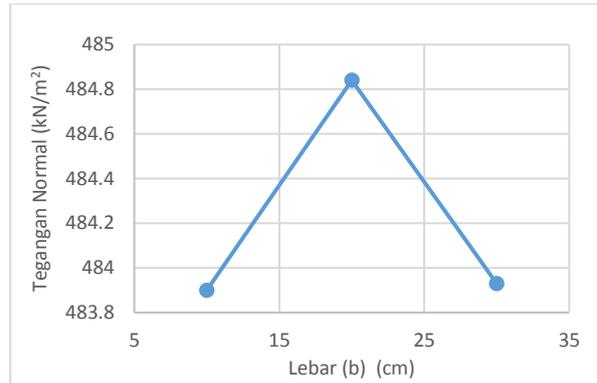
### Variasi Lebar

Variasi lebar penghubung geser didasarkan pada Eurocode 2 (2004) dimana lebar penghubung geser tidak boleh diambil lebih besar dari 10 kali tinggi penghubung geser (Gambar 5) dimana pada variasi ini diambil tinggi takikan sebesar  $\frac{1}{4}$  tebal plat yaitu 3 cm dan lebar penghubung geser tidak boleh lebih besar dari 30 cm.

**Tegangan Normal Bagian Tengah Bentang**

Tabel 8. Nilai Tegangan Normal di Bagian Tengah Bentang Variasi Lebar

No	Variasi Lebar Penghubung Geser	Bagian	Tegangan Normal kN/m <sup>2</sup>
1	3 cm x 10 cm	bawah	483.9
		tengah	-490.95
		atas	-2090.53
2	3 cm x 20 cm	bawah	484.84
		tengah	-646.07
		atas	-2004.58
3	3 cm x 30 cm	bawah	483.93
		tengah	-141.19
		atas	-2093.21

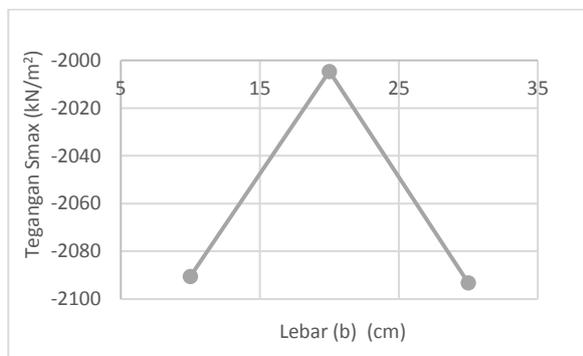


Gambar 23. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Lebar Penghubung Geser pada Bagian Bawah Daerah Tengah Bentang

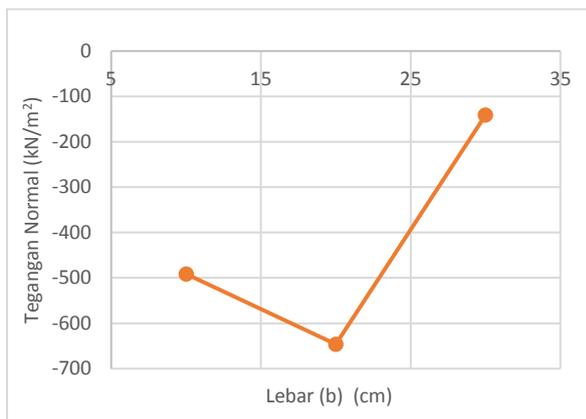
**Tegangan Geser Bagian Tumpuan Geser**

Tabel 9. Nilai Tegangan Geser di Bagian Tumpuan Variasi Lebar

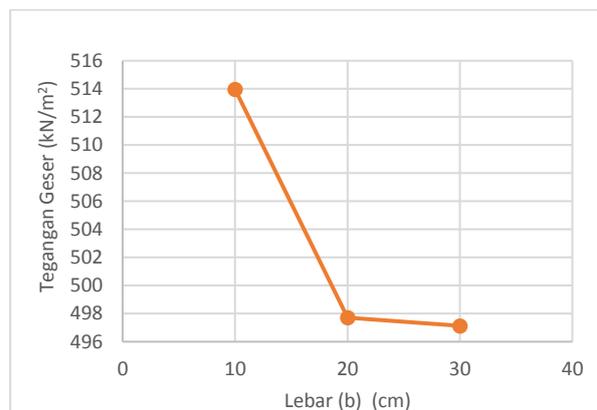
No	Variasi Lebar Penghubung Geser	Bagian	Tegangan Geser kN/m <sup>2</sup>
1	3 cm x 10 cm	bawah	-241.13
		tengah	513.97
		interface	509.73
		atas	167.43
2	3 cm x 20 cm	bawah	-240.8
		tengah	497.72
		interface	491.74
		atas	163.2
3	3 cm x 30 cm	bawah	-241.68
		tengah	497.13
		interface	491.07
		atas	168.14



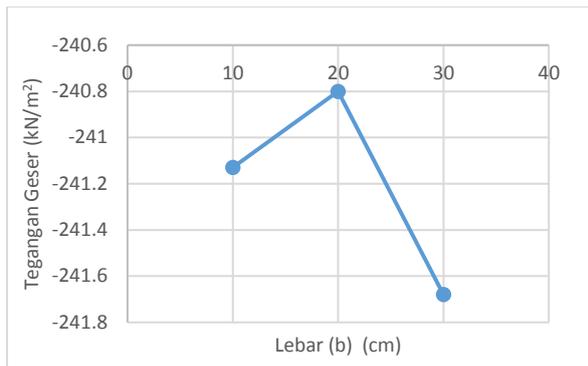
Gambar 21. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Lebar Penghubung Geser pada Bagian Atas Daerah Tengah Bentang



Gambar 22. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Lebar Penghubung Geser pada Bagian Tengah Daerah Tengah Bentang



Gambar 24. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Lebar Penghubung Geser pada Bagian Tengah Daerah Tumpuan

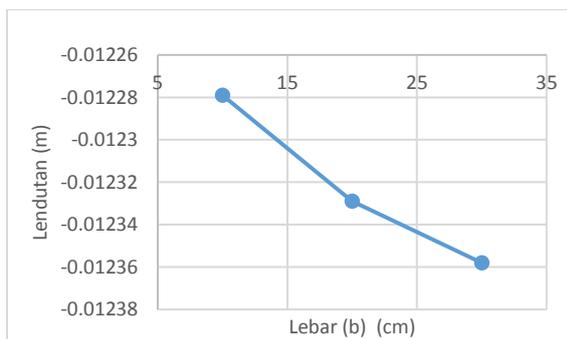


Gambar 25. Grafik Hubungan Tegangan Geser dan Variasi Lebar Penghubung Geser pada Bagian Bawah Daerah Tumpuan

### Lendutan di Tengah Bentang

Tabel 10. Lendutan di Tengah Bentang Variasi Lebar Penghubung Geser

No	Variasi Lebar Penghubung Geser	Bagian	Lendutan (m)
1	3 cm x 10 cm	bawah	-0.012279
2	3 cm x 20 cm	bawah	-0.012329
3	3 cm x 30 cm	bawah	-0.012358



Gambar 26. Grafik Hubungan Lendutan dan Lebar Penghubung Geser pada Daerah Tengah Bentang

## PENUTUP

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa struktur yang telah diperoleh, yaitu pemodelan balok pracetak dan plat beton dengan variasi bentuk dengan tinggi 1/3 dari tebal plat, variasi tinggi dengan tinggi

maksimum 1/3 dari tebal plat, dan lebar penghubung geser (*shear connector*) yang diambil tidak lebih besar dari 10 kali tinggi penghubung geser, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

- Penghubung geser yang berupa takikan pada plat dengan bentuk yang berbeda walaupun memiliki luas penghubung geser dan jumlah penghubung geser yang sama akan menghasilkan tegangan yang berbeda.
- Penghubung geser pada balok komposit pracetak dan plat beton dimana penghubung gesernya berupa takikan ke plat dengan bentuk persegi panjang, tinggi penghubung geser diambil 1/3 dari tebal plat yaitu 4 cm dan lebar penghubung geser 20 cm merupakan penghubung geser yang paling efisien dilihat dari tegangan-tegangan dan lendutan yang dihasilkan.
- Semakin tinggi takikan balok ke plat dengan maksimum tinggi takikan 1/3 tebal plat maka akan semakin kecil tegangan geser yang terjadi pada bagian tengah pada daerah tumpuan.
- Semakin tinggi penghubung geser ke maka lendutan akan semakin besar.
- Semakin lebar penghubung geser maka lendutan akan semakin besar.

### Saran

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa hal yang patut diperhatikan, yaitu:

- Dalam merencanakan penghubung geser (*shear connector*) disarankan untuk memilih penghubung geser dengan bentuk persegi.
- Memperhatikan standar desain penghubung geser menurut Eurocode 2 2004, namun tetap mempertimbangkan persentase dimensi penghubung geser terhadap terhadap tebal plat
- Melakukan penelitian lebih lanjut di laborototium struktur mengenai penghubung geser (*shear connector*).
- Pada penelitian berikutnya tentang struktur komposit, peneliti bisa meneliti tentang korelasi antara gaya geser arah memanjang dan arah lebar balok dan meneliti tentang sambungan geser balok komposit ke kolom.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI Committee 363. 1995. *State of The Art Report on High Strength Concrete (ACI 363R)*.
- Badan Standarisasi Nasional, 2013. *Persyaratan Beton Bertulang Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847-2013)*. Jakarta.

Santos P, 2009. *Assessment of the Shear Strength between Concrete Layers*. Coimbra

Tumimomor M. E., Dapas, S. O., Mondoringin, M. R. I. A. J., 2016. *Analisis Penghubung Geser (Shear Connector) Pada Balok Baja dan Pelat Beton*. Jurnal Sipil Statik Vol 4 No. 8, Agustus 2016 (461-4700, Manado).

Wang, C.K. & Salmon, C. 1990. *Disain Beton Bertulang*. Jilid 2. Terjemahan oleh Binsar Hariandja. Erlangga. Jakarta.