

PENGARUH PENAMBAHAN PELAT BAJA PADA SERAT TARIK TERLUAR BALOK DENGAN VARIASI JARAK *SHEAR CONNECTOR* TERHADAP KAPASITAS PENAMPANG BALOK

Chica Oktavia

Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Metro
E-mail : chicaoktavia04@gmail.com

ABSTRAK

Beton kuat menahan tekan tetapi tidak kuat menahan tarik oleh karena itu agar beton bekerja dengan baik perlu dibantu dengan memberinya tambahan perkuatan penulangan yang bertugas menahan gaya Tarik. Struktur komposit antara balok beton dengan pelat baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan. *Shear Connectors* digunakan untuk menahan slip yang terjadi pada bidang pertemuan beton dengan pelat baja. Pemasangan *Shear Connectors* sebagaiantisipasi slip perlu dilakukan sehingga dapat mengetahui bagaimana pengaruh pelat baja pada serat tarik terluar terhadap kapasitas penampang balok beton. Penambahan pelat baja pada serat tarik terluar balok memiliki nilai momen maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan balok tanpa penambahan pelat, Karena tebal pelat baja berpengaruh terhadap meningkatnya kapasitas penampang balok.

Balok tanpa pelat dan *shear connector* yang diberi nama balok BB sebagai acuan kekuatan memberikan hasil momen maksimum rata-rata sebesar 3,51 KNm, Balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan pelat baja dan *shear connector* jarak 5 cm yang di beri nama Balok FB-50 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 8,82 KNm meningkat sebesar 151,56% untuk balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan *shear connector* jarak 7,5 cm yang diberi nama balok FB-75 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 9,23 KNm meningkat sebesar 163,18% sedangkan untuk balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan *shear connector* jarak 10 cm yang diberi nama balok FB-100 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 8,45 KNm meningkat sebesar 140,82% dari nilai momen maksimum balok tanpa penambahan pelat dan shear connector.

Kata Kunci : Struktur Komposit, Penghubung Geser (*Shear Connector*), Pelat Baja.

PENDAHULUAN

Struktur komposit antara balok beton dengan pelat baja merupakan struktur yang memanfaatkan kelebihan dari beton dan baja yang bekerja bersama-sama sebagai satu kesatuan. Perkuatan tulangan baja dan beton dapat dilakukan secara perkuatan internal dan eksternal. Perkuatan balok beton bertulang tidak dapat dilakukan dengan penambahan tulangan internal, tetapi dapat dilakukan

berupa penambahan tulangan eksternal berupa pelat baja dan bahan komposit lainnya. Perkuatan dilakukan pada serat tarik terluar balok.

Shear Connectors digunakan untuk menahan slip yang terjadi pada bidang pertemuan beton dengan pelat baja. Pemasangan *Shear Connectors* sebagaiantisipasi slip perlu dilakukan sehingga dapat mengetahui bagaimana pengaruh pelat baja pada serat tarik terluar

terhadap kapasitas penampang balok beton.

TINJAUAN PUSTAKA

Struktur Komposit

Sistem Struktur Komposit terbentuk dengan adanya interaksi antara komponen-komponen struktur beton dan baja yang masing-masing memiliki karakteristik dasar bahan yang dimanfaatkan secara optimal.

Karakteristik penting yang dimiliki struktur baja adalah:

1. Kekuatan tinggi
2. Modulus elastisitas yang tinggi
3. Daktilitas yang tinggi

Elemen – elemen struktur komposit:

1. Kolom komposit
2. Balok komposit
3. Pelat komposit

Prinsip-prinsip dasar perencanaan:

1. Distribusi tegangan plastik pada daerah momen positif balok
Tegangan pada beton = $0.85 f_c$ (tekan) → distribusi merata
Tegangan pada baja = f_y (tarik atau tekan) → distribusi merata
2. Distribusi tegangan plastik pada daerah momen negatif balok
Tegangan pada beton = 0 (tarik)
Tegangan pada tulangan beton = f_y (tarik)
Tegangan pada baja = f_y (tekan atau tarik) → distribusi merata
3. Distribusi tegangan elastik
Tegangan maksimum pada beton = $0.85 f_c$ (tekan)
tegangan maksimum pada baja = f_y (tekan atau tarik)

Tipe balok komposit :

- a. Balok komposit dengan penghubung geser
- b. Balok baja yang diberi selubung beton

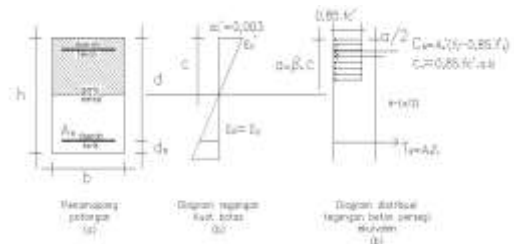
Gaya geser yang terjadi antara pelat beton dan profil baja harus dipikul oleh sejumlah penghubung geser, sehingga tidak terjadi *slip* pada saat masa layan.

Idealnya alat penghubung geser harus cukup kaku untuk menghasilkan interaksi penuh, namun hal ini akan memerlukan pengaku yang sangat tergar. Adapun jenis-jenis alat penghubung geser yang biasa digunakan adalah sebagai berikut :

- a. Alat penyambung stud (*stud connector*) berkepala dan berbentuk pancing.
- b. Alat penyambung kanal (*canal connector*)
- c. Alat penyambung spiral (*spiral connector*)
- d. Alat penyambung siku (*angle connector*)

Perkuatan Lentur Balok Bertulang Rangkap

Balok Beton Tanpa Menggunakan Pelat Baja Dan *Shear Connector* :



Gambar 1. Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap.

Analisa terhadap penampang balok bertulang rangkap didasarkan pada kondisi tulangan tekan ada dua macam kasus yang akan dijumpai yaitu apakah tulangan tekan sudah luluh atau belum.

- a. Syarat tulangan tekan sudah luluh

$$\rho - \rho' \geq 0,85\beta_1 \left[\frac{f'_c}{f_y} \right] \left[\frac{d'}{d} \right] \left[\frac{\epsilon_c E_s}{\epsilon_c E_s - f_y} \right]$$

- b. Tulangan Tekan Belum luluh

$$\rho - \rho' < 0,85\beta_1 \left[\frac{f'_c}{f_y} \right] \left[\frac{d'}{d} \right] \left[\frac{\epsilon_c E_s}{\epsilon_c E_s - f_y} \right]$$

Dimana :

$$\epsilon'_s = 0,003 \left[\frac{c-d'}{c} \right]$$

$$f'_s = E_s \varepsilon'_s = \left[\frac{c - d'}{c} \times 0,003 \right] E_s$$

$$C_s = A'_s (f'_s - 0,85 f'_c)$$

$$= A'_s \left[\left(\frac{c - d'}{c} \times 0,003 \right) E_s - 0,85 f'_c \right]$$

$$C_c = 0,85 f'_c \beta_1 a \cdot b$$

Dari persyaratan keseimbangan gaya pada kasus lentur murni $\rightarrow \sum F_H = 0$
Maka :

$$T_s = C_c + C_s$$

$$A_s f_y = 0,85 f'_c \beta_1 c \cdot b + A'_s \left[\left(\frac{c - d'}{c} \times 0,003 \right) E_s - 0,85 f'_c \right]$$

$$(0,85 f'_c \beta_1 b) c^2 + [(\varepsilon_c E_s x A'_s) - (0,85 x A'_s) - A_s f_y] c - \varepsilon_c E_s A'_s d' = 0$$

Nilai c diperoleh dari persamaan:

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Dimana :

$$a = 0,85 f'_c \beta_1 b$$

$$b = A'_s (\varepsilon_c E_s - 0,85 f'_c) - A'_s f_y$$

$$c = -\varepsilon_c E_s A'_s d'$$

Sehingga nilai a dapat diperoleh dari persamaan

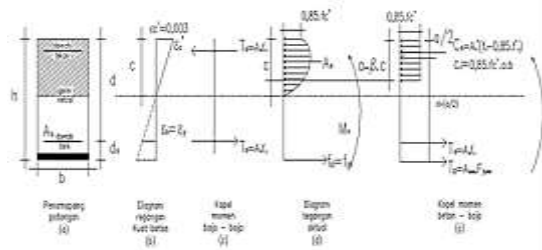
$$a = \beta_1 c$$

Setelah semua nilai di dapat momen nominal bisa di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\phi Mn = \phi \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right]$$

ϕ = Faktor reduksi (SK SNI 03-2847-2002)

Balok Beton Dengan Menggunakan Pelat Baja Dan *Shear Connector*:



Gambar 2. Potongan Dan Gaya-Gaya Pada Balok Dengan Perkuatan Pelat Baja.

Analisa terhadap penampang balok bertulang rangkap didasarkan pada

kondisi tulangan tekan ada dua macam kasus yang akan dijumpai yaitu apakah tulangan tekan sudah luluh atau belum.

a. Syarat tulangan tekan sudah luluh

$$\rho - \rho' \geq 0,85 \beta_1 \left[\frac{f'_c}{f_y} \right] \left[\frac{d'}{d} \right] \left[\frac{\varepsilon_c E_s}{\varepsilon_c E_s - f_y} \right]$$

b. Tulangan Tekan Belum luluh

$$\rho - \rho' < 0,85 \beta_1 \left[\frac{f'_c}{f_y} \right] \left[\frac{d'}{d} \right] \left[\frac{\varepsilon_c E_s}{\varepsilon_c E_s - f_y} \right]$$

Dimana :

$$\varepsilon'_s = 0,003 \left[\frac{c - d'}{c} \right]$$

$$f'_s = E_s \varepsilon'_s = \left[\frac{c - d'}{c} \times 0,003 \right] E_s$$

$$C_s = A'_s (f'_s - 0,85 f'_c)$$

$$= A'_s \left[\left(\frac{c - d'}{c} \times 0,003 \right) E_s - 0,85 f'_c \right]$$

$$- 0,85 f'_c$$

$$C_c = 0,85 f'_c \beta_1 a \cdot b$$

Dari persyaratan keseimbangan gaya pada kasus lentur murni $\rightarrow \sum F_H = 0$

Maka :

$$T_s + T_p = C_c + C_s$$

$$A_s f_y + A_p f_{yp} = 0,85 f'_c \beta_1 c \cdot b$$

$$+ A'_s \left[\left(\frac{c - d'}{c} \times 0,003 \right) E_s - 0,85 f'_c \right]$$

$$(0,85 f'_c \beta_1 b) c^2 + [(\varepsilon_c E_s x A'_s) - (0,85 x A'_s) - A_s f_y] c - \varepsilon_c E_s A'_s d' = 0$$

Nilai c diperoleh dari persamaan:

$$c = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Dimana :

$$a = 0,85 f'_c \beta_1 b$$

$$b = A'_s (\varepsilon_c E_s - 0,85 f'_c) - A'_s f_y$$

$$c = -\varepsilon_c E_s A'_s d'$$

Sehingga nilai a dapat diperoleh dari persamaan

$$a = \beta_1 c$$

Setelah semua nilai di dapat momen nominal bisa di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\phi Mn = \phi \left[C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right. \\ \left. + T_p \left(h + \frac{t_p}{2} - \frac{a}{2} \right) \right]$$

ϕ = Faktor reduksi (SK SNI 03-2847-2002)

t_p = Tebal Pelat

Perhitungan Penghubung Geser (*Shear Connector*)

Menurut Pd T-12-2005-B pasal 5.2.3 kekuatan dari sistem penghubung geser dipengaruhi oleh beberapa hal sebagai berikut:

1. Jumlah penghubung geser
2. Tegangan longitudinal rata-rata dalam pelat beton disekeliling penghubung
3. Ukuran, penataan dan kekuatan tulangan pelat disekitar penghubung
4. Ketebalan beton disekeliling penghubung
5. Derajat kebebasan dari setiap dasar pelat untuk bergerak secara lateral dan kemungkinan terjadinya gaya angkat keatas (*up lift force*) pada penghubung
6. Daya lekat pada antar muka beton dan baja
7. Kekuatan pelat beton
8. Tingkat kepadatan pada beton disekeliling pada setiap dasar penghubung

Kuat geser rencana penghubung geser diambil dari nilai terendah yang di dapat dari hubungan berikut:

$$P_{Rd} = \frac{\phi_v 0,8 f_u \pi d^2}{4}$$

dan

$$P_{Rd} = \phi_v 0,29 d^2 \sqrt{f'_c E_c}$$

Dimana :

P_{Rd} = Kuat geser rencana penghubung geser (N)

ϕ_v = Faktor reduksi kekuatan geser (0,8)

f_u = kuat Tarik ultimit baja (N/mm²)

f'_c = kuat tekan beton silinder (N/mm²)

E_c = Modulus elastisitas beton (N/mm²)

d = Diameter stud (mm)

h = Tinggi Stud (mm)

METODE PENELITIAN

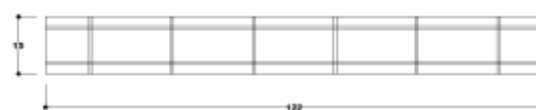
Gambaran Umum

Metode yang digunakan dalam penyelesaian penelitian ini menggunakan metode *eksperimen*. Pelaksanaan penelitian di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bandar Lampung. Untuk mendapatkan hasil yang akan menjelaskan perbandingan terhadap kapasitas penampang tanpa penambahan pelat baja pada balok dengan kapasitas penampang yang ditambah pelat baja pada serat tarik terluar balok menggunakan variasi jarak *shear connector*.

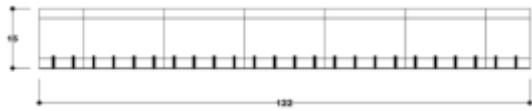
Metodelogi yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dibuat masing-masing 3 sampel
2. Campuran adukan beton menggunakan perhitungan *mix design* K 300
3. Untuk mengetahui mutu beton diambil sampel silinder berdiameter 100 mm dan tinggi 200 mm dengan jumlah 11 sampel dilakukan pengujian setelah usia beton mencapai umur 7 hari, 14 hari, dan 28 hari
4. Pemasangan pelat baja diletakkan sejajar sisi bawah balok
5. *Shear Connector* menggunakan besi diameter 6 mm dan tinggi 3 cm
6. Pemasangan *shear connector* dilakukan dengan di las pada sisi pelat
7. Pengujian menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) dilakukan setelah balok beton berumur 28 hari.

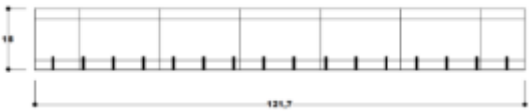
Model pembebanan pada balok beton yang akan dilakukan pengujian seperti pada gambar dibawah ini :



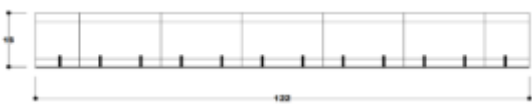
Gambar 3. Benda Uji 1 Penampang Balok Beton Tanpa Pelat Baja.



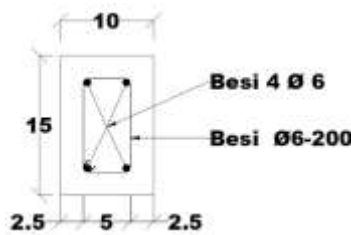
Gambar 4. Benda Uji 2 Penampang Balok Beton Dengan Pelat Baja dan *Shear Connector* dengan jarak 5 cm.



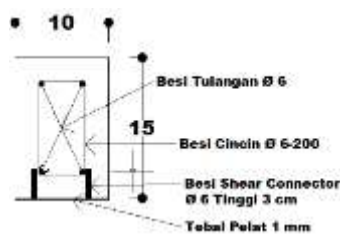
Gambar 5. Benda Uji 3 Penampang Balok Beton Dengan Pelat Baja dan *Shear Connector* dengan jarak 7,5 cm.



Gambar 6. Benda Uji 4 Penampang Balok Beton Dengan Pelat Baja dan *Shear Connector* dengan jarak 10 cm..



Gambar 7. Detail Benda Uji Penampang Balok Beton.



Gambar 8. Detail Benda Uji Penampang Balok Beton Dengan Pelat Baja dan *Shear Connector*.

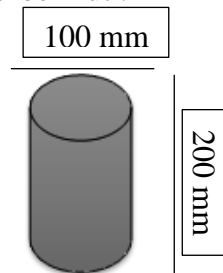
Persiapan Penelitian

Sebelum pengujian balok dilaksanakan, dilakukan dulu pengujian material yang digunakan untuk mengetahui mutu beton, tulangan, plat baja, dan Paku. Berikut adalah urutan pelaksanaan yang dilakukan dalam penelitian ini :

1. Persiapan peralatan dan bahan
2. Pembuatan Cetakkan
3. Pembuatan Benda uji
4. Perawatan Benda Uji
5. Pengujian dengan *Compression Testing Machine (CTM)*
6. Pengujian dengan *Universal Testing Machine (UTM)*

Desain Benda Uji Dan Variabel Penelitian

Benda uji dibuat masing-masing 3 buah sampel menggunakan mutu beton yang seragam yaitu K 300 kg/cm² dan perbandingan campuran beton yang menggunakan perhitungan mix desain. untuk pengujian kuat tekan Beton menggunakan silinder dengan dimensi sebagai berikut :



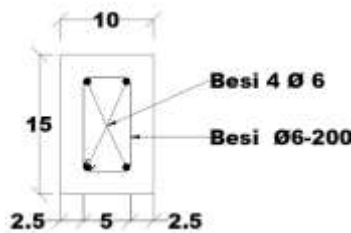
Gambar 9. Benda Uji Kuat Tekan Beton Silinder.

Dimensi benda uji balok beton bertulang direncanakan dengan dimensi h balok 15 cm, b balok 10 cm dan panjang 122 cm dapat dilihat pada gambar 10 dibawah ini :



Gambar 10. Dimensi Balok Uji

Selain dimensi benda uji balok, penggunaan tulangan lentur juga didesain sedemikian rupa agar mendukung terjadinya runtuh lentur. Besi yang digunakan adalah besi dengan diameter Ø 6 dengan jarak yang renggang yaitu 200 mm. Detail penampang balok uji dapat dilihat pada gambar 11 dibawah ini :



Gambar 11. Detail Balok Uji

Tabel 1. Variabel Penelitian

Nama Benda Uji	Ukuran Penampang (cm)	Jarak <i>Shear Connector</i>	Jumlah Benda Uji (buah)	Tebal Pelat (mm)	Lebar Pelat (cm)
BB	10x15x122	-	3	-	-
FB 50-1	10x15x122	50	1	1,07	10
FB 50-2	10x15x122	50	1	1,60	10
FB 50-3	10x15x122	50	1	1,58	10
FB 75-1	10x15x121,6	75	1	1,65	10
FB 75-2	10x15x121,8	75	1	1,56	10
FB 75-3	10x15x121,7	75	1	1,34	10
FB 100-1	10x15x121,9	100	1	1,20	10
FB 100-2	10x15x122	100	1	1,61	10
FB 100-3	10x15x122	100	1	1,64	10

(Data Perencanaan Penelitian, 2022)

HASIL PENELITIAN

Data Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh data-data yang dibutuhkan untuk menganalisa balok non komposit dan balok komposit beton bertulang dengan pelat baja dan *shear connector*. Data-data hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian Berat Jenis Beton.

No.	Kode	Berat (g)	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Volume (cm ³)	Berat Jenis
1	BB - 1	42200	121,8	10	15,2	18513,6	2,279
2	BB - 2	42200	122	10	15,3	18666	2,261
3	BB - 3	42200	122	10	15,2	18544	2,276
4	FB 50 - 1	44200	121,8	10	15,1	18391,8	2,403
5	FB 50 - 2	44000	121,8	10	15,1	18391,8	2,392
6	FB 50 - 3	44100	121,7	10	15	18255	2,416
7	FB 75 - 1	43200	121,8	10	15,3	18635,4	2,318
8	FB 75 - 2	44000	121,8	10	15	18270	2,408
9	FB 75 - 3	44400	121,7	10	15,4	18741,8	2,369
10	FB 100 - 1	43500	121,7	10	15,2	18498,4	2,352
11	FB 100 - 2	44000	122	10	15,3	18666	2,357
12	FB 100 - 3	44100	121,8	10	15,3	18635,4	2,366
Jumlah (Σ)							28,1980
Rata - Rata							2,3498

(Data Hasil Pengujian, 2022)

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder

No	Kode Benda Uji	Diameter (cm)	Tinggi (cm)	Berat Benda Uji (kg)	Luas (cm ²)	Behan Tekan (KN)	Kuat Tekan (MPa)	Faktor Koreksi Umur Beton	Perkiraan Kuat Tekan Umur 28 Hari (MPa)
1	TM 1	10	20	3,7	78,5	153	18	0,6500	28
2	TM 2	10	20	3,7	78,5	156	18	0,6500	28
3	TM 3	10	20	3,5	78,5	126	17	0,8800	19
4	TM 4	10	20	3,6	78,5	128	17	0,8800	19
5	TM 5	10	20	3,6	78,5	159	21	1,0000	21
6	TM 6	10	20	3,5	78,5	170	23	1,0000	23
7	TM 7	10	20	3,6	78,5	146	19	1,0000	19
8	TM 8	10	20	3,6	78,5	183	24	1,0000	24
9	TM 9	10	20	3,5	78,5	175	23	1,0000	23
10	TM 10	10	20	3,6	78,5	174	23	1,0000	23
11	TM 11	10	20	3,5	78,5	173	23	1,0000	23
RATA-RATA									23

(Data Hasil Pengujian, 2022)

Kuat tekan beton rata-rata (f'_c) = 23 Mpa
 Berat Jenis beton rata-rata (B_j) = 2349 Kg/cm³

Perkiraan berat jenis beton bertulang = 2400 kg/m³

Diameter tulangan pokok rata-rata = 6 mm

Tabel 4. Hasil pengujian Tegangan luluh dan Tegangan Tarik

No.	Kode	Tegangan Luluh (f_y)	Tegangan Tarik (σ)
		Mpa	Mpa
1	Plat	282,19	337,55
2	P6	236,94	341,31

(Data hasil pengujian, 2022)

Berdasarkan hasil pengujian *Universal Testing Machine* (UTM) diperoleh nilai kuat lentur balok sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Pengujian Lentur

No.	Kode	Berat (kg)	P (cm)	L (cm)	T (cm)	Luas (cm ²)	Beban maksimum (P) (N)	Beban Maksimum (P) (kg)	Umur (Hari)	Faktor Koreksi Umur Beton	Perkiraan Beban Maksimum umur 28 Hari (P)
											(kg)
1	BB - 1	42,2	121,8	10	15,2	6442,72	19920,129	2030,594	21	0,9500	2137,467
2	BB - 2	42,2	122	10	15,3	6479,2	20258,051	2065,041	28	1,0000	2065,041
3	BB - 3	42,2	122	10	15,2	6452,8	14887,144	1517,548	28	1,0000	1517,548
Jumlah (Σ)		126,60	365,80	30,00	45,70						5720,056
Rata - Rata		42,20	121,93	10,00	15,23						1906,685
4	FB 50 - 1	44,2	121,8	10	15,1	6416,36	39524,367	4028,987	28	1,0000	4028,987
5	FB 50 - 2	44	121,8	10	15,1	6416,36	51222,953	5221,504	28	1,0000	5221,504
6	FB 50 - 3	44,1	121,7	10,1	15	6412,34	47889,187	4881,67	21	0,9500	5138,600
Jumlah (Σ)		132,3	365,30	30,10	45,20						14389,091
Rata - Rata		44,10	121,77	10,03	15,07						4796,364
7	FB 75 - 1	43,2	121,8	10	15,3	6469,08	52956,254	5398,191	28	1,0000	5398,191
8	FB 75 - 2	44	121,8	10	15	6390	48919,668	4986,714	21	0,9500	5249,173
9	FB 75 - 3	44,4	121,7	10	15,4	6490,36	43230,125	4406,741	28	1,0000	4406,741
Jumlah (Σ)		131,6	365,30	30,00	45,70						15054,105
Rata - Rata		43,87	121,77	10,00	15,23						5018,035
10	FB 100 - 1	43,5	121,7	10	15,2	6437,68	38405,645	3914,949	21	0,9500	4120,999
11	FB 100 - 2	44	122	10	15,3	6479,2	41928,023	4274,008	28	1,0000	4274,008
12	FB 100 - 3	44,1	121,8	10	15,3	6469,08	52776,566	5379,874	28	1,0000	5379,874
Jumlah (Σ)		131,6	365,30	30,00	45,80						13774,881
Rata - Rata		43,87	121,83	10,00	15,27						4591,627

(Data Hasil Pengujian, 2022)

Keterangan Tabel 5 :

Kode BB = Balok Beton Tanpa Pelat

Kode FB 50 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear Connector* jarak 5 cm

Kode FB 75 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear Connector* jarak 7,5 cm

Kode FB 100 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear Connector* jarak 10 cm

Analisa Dan Pembahasan Hasil Pengujian Dan Perhitungan Teori

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Pengujian dan Perhitungan nilai Momen Maksimum

No.	Kode	Berat	P	L	T	Perkiraan Beban Maksimum umur 28 Hari (P) (N)	Hasil Perhitungan Momen dari pengujian (KNm)	Hasil Perhitungan Momen dari teori kapasitas batas (KNm)	Tebal Pelat (MM)
		(Kg)	(cm)	(cm)	(cm)				
1	BB-1	42,2	121,8	10	15,2	20968,557	3,93	4,42	-
2	BB-2	42,2	122	10	15,3	20258,051	3,80	4,46	-
3	BB-3	42,2	122	10	15,2	14887,144	2,79	4,42	-
1	FB 50-1	44,2	121,8	10	15,1	39524,367	7,41	9,37	1,07
2	FB 50-2	44	121,8	10	15,1	51222,953	9,60	11,88	1,60
3	FB 50-3	44,1	121,7	10,1	15	50409,671	9,45	11,68	1,58
4	FB 75-1	43,2	121,8	10	15,3	52956,254	9,93	12,33	1,65
5	FB 75-2	44	121,8	10	15	51494,387	9,66	11,59	1,56
6	FB 75-3	44,4	121,7	10	15,4	43230,125	8,11	10,93	1,34
7	FB 100-1	43,5	121,7	10	15,2	40426,995	7,58	10,00	1,20
8	FB 100-2	44	122	10	15,3	41928,023	7,86	12,14	1,61
9	FB 100-3	44,1	121,8	10	15,3	52776,566	9,90	12,30	1,64

(Hasil pengujian laboratorium dan Perhitungan, 2022)

Keterangan

Kode BB = Balok Beton Tanpa Pelat

Kode FB 50 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear Connector* jarak 5 cm

Kode FB 75 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear Connector* jarak 7,5 cm

Kode FB 100 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear*

Pada tabel 6 terlihat adanya perbedaan antara hasil pengujian laboratorium dengan perhitungan teori kapasitas penampang balok, dimana nilai momen nominal hasil pengujian cenderung lebih rendah dibandingkan dengan hasil perhitungan teori. Hal ini dikarenakan beberapa masalah yang timbul pada saat melakukan pengujian diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Tebal pelat yang berbeda berpengaruh terhadap meningkatnya kapasitas penampang balok
2. Senggang tidak terikat dengan benar sehingga terjadi pergeseran tulangan yang menyebabkan tulangan tertarik dan muncul melubangi beton melalui sisi samping penampang balok.
3. *Shear connector* tidak bekerja dengan maksimal karena lekatan antara *shear connector* dengan pelat kurang melekat sehingga *shear connector* terlepas pada saat balok di

beri tekanan (saat pengujian) yang menyebabkan pelat terlepas dari balok beton dan *shear connector* menempel atau tertanam pada balok beton.

4. Karena *shear connector* (penghubung geser) tidak terpasang dengan benar pada permukaan pelat sehingga pelat baja dengan balok beton saat di bebani terjadi slip dan tidak mampu menahan gaya geser secara maksimal.

Berdasarkan pengujian lentur balok penambahan pelat baja dan *shear connector* pada balok beton memberikan pengaruh yang besar terhadap peningkatan kapasitas penampang balok dalam menerima beban. Agar lebih jelas hasil pengujian dan perhitungan kapasitas penampang beton yang ditambah perkuatan pelat dan *shear connector* dapat dilihat pada tabel 7 dan gambar 11 yang dimana sudah diambil nilai momen nominal rata-rata dari masing-masing benda uji.

Tabel 7. Nilai Rata-Rata dan Nilai Peningkatan Hasil Pengujian Dan Perhitungan Momen Nominal (Mn)

No.	Kode	Berdasarkan Hasil Pengujian (KNm)	Berdasarkan Hasil Perhitungan Teori (KNm)	Peningkatan Hasil Perhitungan Momen Nominal	
				Pengujian	Teori
				(%)	(%)
1	BB	3.51	4.43	-	-
2	FB.50	8.82	10.98	151.56	147.59
3	FB.75	9.23	11.62	163.18	162.03
4	FB.100	8.45	11.48	140.82	158.95

(Hasil pengujian laboratorium dan perhitungan, 2022)

Keterangan :

Kode BB = Balok Beton Tanpa Pelat

Kode FB 50 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear Connector* jarak 5 cm

Kode FB 75 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear Connector* jarak 7,5 cm

Kode FB 100 = Balok Beton dengan Pelat dan *shear Connector* jarak 10 cm



Gambar 11. Kurva Perbandingan Hasil Perhitungan Kapasitas Momen Nominal (Mn) Teori Dengan Pengujian (Sumber: Hasil Penelitian, 2022)

Dari table 7 dan Gambar 11 terlihat jelas adanya peningkatan hasil momen nominal baik berdasarkan perhitungan teori maupun hasil pengujian memperlihatkan pola yang sama, yaitu peningkatan nilai kapasitas momen nominal pada masing-masing benda uji. Peningkatan kapasitas penampang balok dari benda uji kode FB.50, FB.75, dan FB.100 lebih tinggi dari pada benda uji kode BB, diketahui juga berdasarkan perhitungan teori lebih tinggi dibandingkan hasil pengujian. Dari perhitungan teori dan hasil pengujian peningkatan kapasitas penampang balok benda uji kode FB.75 lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji kode FB.50 dan FB.100 berdasarkan pengamatan dianggap bahwa adanya beberapa faktor yang menyebabkan peningkatan kapasitas penampang balok FB.50 dan FB.100 kurang optimal walaupun pada benda uji FB.50 dan FB.100 telah tercapai. Hal ini disebabkan karena pengaruh tebal pelat yang berbeda-beda sehingga mempengaruhi nilai peningkatan kapasitas penampang balok dan besi yang berfungsi sebagai penghubung geser (*Shear Connector*) belum dapat bekerja secara optimal.

Berdasarkan hasil pengujian Balok tanpa pelat dan *shear connector* yang diberi nama balok BB sebagai acuan kekuatan memberikan hasil momen maksimum rata-rata sebesar 3,51 KNm, Balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan pelat baja dan

shear connector jarak 5 cm yang di beri nama Balok FB-50 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 8,82 KNm meningkat sebesar 151,56% untuk balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan *shear connector* jarak 7,5 cm yang diberi nama balok FB-75 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 9,23 KNm meningkat sebesar 163,18% sedangkan untuk balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan *shear connector* jarak 10 cm yang diberi nama balok FB-100 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 8,45 KNm meningkat sebesar 140,82% dari nilai momen maksimum balok tanpa penambahan pelat dan *shear connector*.

Pengamatan Geser Pada *Shear Connector*

Aksi komposit beton dengan tulangan terjadi akibat adanya lekatan beton pada permukaan tulangan karena beton menyusut, sama halnya penggunaan potongan besi yang berfungsi sebagai penghubung geser (*Shear Connector*) gaya yang dihasilkan oleh pelat baja ditransfer oleh besi sehingga tidak terjadi selip antara permukaan balok beton dengan pelat.

Dari pengamatan benda uji di sekitar selimut beton lekatan besi pada permukaan pelat baja terlepas dan terdapat celah disekitar besi. Hancurnya beton tersebut disebabkan karena besi mendesak beton akibat gaya tarik yang ditransfer oleh pelat ke besi. Pada saat besi yang berfungsi sebagai penghubung geser melentur timbul defleksi yang menyebabkan pelat tidak tertarik secara optimal sehingga kapasitas penampang balok yang dihasilkan juga kurang optimal. Pola retakkan yang timbul akibat pengujian lentur dapat dilihat pada lampiran.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan pengaruh penambahan pelat baja pada balok beton

bertulang dapat ditarik kesimpulan bahwa :

1. Penambahan pelat baja pada serat tarik terluar balok memiliki nilai momen maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan balok tanpa penambahan pelat, Karena tebal pelat baja berpengaruh terhadap meningkatnya kapasitas penampang balok.
2. Berdasarkan hasil pengujian Balok tanpa pelat dan shear connector yang diberi nama balok BB sebagai acuan kekuatan memberikan hasil momen maksimum rata-rata sebesar 3,51 KNm, Balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan pelat baja dan *shear connector* jarak 5 cm yang di beri nama Balok FB-50 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 8,82 KNm meningkat sebesar 151,56% untuk balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan *shear connector* jarak 7,5 cm yang diberi nama balok FB-75 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 9,23 KNm meningkat sebesar 163,18% sedangkan untuk balok dengan penambahan pelat baja menggunakan tambahan *shear connector* jarak 10 cm yang diberi nama balok FB-100 diperoleh nilai rata-rata momen maksimum 8,45 KNm meningkat sebesar 140,82% dari nilai momen maksimum balok tanpa penambahan pelat dan *shear connector*.

DAFTAR PUSTAKA

Aditia Reshi Dista. 2017. Analisa Keamanan Jarak Antar Alat Penyambung Geser (*Shear Connetor*) Berdasarkan Distribusi

Tegangan Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Universitas Lampung.

Andi Marini Indriani, Agus Sugianto. 2016. Rasio Lebar Dan Tinggi Balok Terhadap Kuat Lentur. Universitas Balikpapan.

Departemen Pekerjaan Umum, 1991. SK SNI T-15-1991-03. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Yayasan LPMB Bandung.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Perencanaan Lantai Jembatan Rangka Baja Dengan Menggunakan *Corrugated steel Plate* (CSP). Pedoman Konstruksi Dan Bangunan, Pd T-12-2005-B.

Dipohusodo, Istimawan. 1994. Struktur Beton Bertulang. Jakarta : Gramedia Pustaka Utama.

Monika Eirine Tumimomor. Analisis Penghubung Geser (*Shear Connector*) Pada Balok Baja Dan Pelat Beton. Manado : Jurnal Sipil Statik Vol. 4 No. 8 Agustus 2016.

Setia Prayitno. 1999. Pengujian Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Plat Baja + *Shear Connector*. Universitas Islam Indonesia.

[SNI] Standar Nasional Indonesia. 1993. SNI 03-2834-1993. Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Standar Nasional Indonesia.

[SNI] Standar Nasional Indonesia. 2002. SNI 03-2847-2002. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung. Manado. Standar Nasional Indonesia.

[SNI] Standar Nasional Indonesia. 2015. SNI 1729-2015. Speksifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. Standar Nasional Indonesia.