

PENAMBAHAN PERKUATAN LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN PENAMBAHAN PELAT BAJA

Wibisono¹, Susastrawan², dan Yunalia Muntafi³

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil FTSP UII
email: *wibiS32@gmail.com*

²Dosen Program Studi Teknik Sipil FTSP UII
email: *soesastrawan@uii.ac.id*

³Dosen Program Studi Teknik Sipil FTSP UII
email: *yunalia@uii.ac.id*

Abstract: *Strengthening of the structure is an attempt to improve the performance of risky building structures to the new load that will be supported by adding new structural elements that are not available or did not exist at the time the structure was built. The purpose of this research was to determine the effect of (1) the addition of steel strip plates on reinforced concrete beams so it can be determined its effect on the beam flexural strength, (2) knowing the behavior of addition of steel strip plates on reinforced concrete beam, (3) it estimates the cost of addition of steel strip plates on reinforced concrete beams. The strengthening materials is a Steel Plate "stripplat". It was tested when mounted on reinforced concrete beams, which can determine its effect on flexible strength of the beam. Sample beams used in this study are 150x200x1000 mm³ in size. Total beams used are 4 pieces and divided into 2 groups: Control Beam (BK) and the Addition Beam (BP). One beams as a control beam loaded to maximum capacity. Three beams were reinforced with addition of steel after those three beam are loaded 70% from maximum capacity control beam and then the test beams also loaded until maximum capacity and showed comparison of maximum load that can be held by the two groups of beams. Results of research and analysis using Steel Plate "stripplat" showed an increase in the flexible strength of the beams. The layers of a Steel Plate "stripplat" performed in the bottom of beam with a width of 150 mm and thick of Steel Plate "stripplat" is 12mm. Steel Plate "stripplat" reinforcement beam test with code BP-1 increased by 171,6488% against the average value of the control beam, the beam BP-2 flexible strength increased by 192,4676%, dan beam BP-3 increased by 167,4676%.*

Keywords: *Strengthening structure, Flexural Strength, Beam, Steel Plate.*

I. Pendahuluan

Pembangunan konstruksi beton bertulang dewasa ini terus mengalami peningkatan. Beton bertulang digunakan dalam berbagai bentuk untuk hampir semua struktur, seperti bangunan, jembatan, pengerasan jalan, bendungan, terowongan, dan sebagainya. Desain beton bertulang harus mampu memenuhi syarat aman dalam memikul beban yang sesuai dengan perencanaan. Beton merupakan material yang relatif kuat terhadap beban tekan, tetapi lemah terhadap beban tarik (Asroni, 23: 2010). Untuk memperoleh struktur bangunan yang relatif kuat terhadap beban tarik, maka pada beton ditambahkan baja tulangan. Kombinasi antara keduanya kemudian dikenal dengan nama beton

bertulang sebagai struktur yang optimal pada konstruksi suatu bangunan. Hal ini bukan karena sifat mekaniknya saja yang relatif baik, tetapi beton bertulang juga memiliki sifat tahan lama..

Sukses beton bertulang sebagai bahan konstruksi yang universal dapat di pahami jika dilihat dari segala kelebihan yang dimiliki oleh beton itu sendiri, salah satu kelebihan dari beton adalah mempunyai kapasitas tekan yang tinggi. Akan tetapi beton juga memiliki kekurangan yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur beton yang akan mengakibatkan kekuatan dan daya dukung beton berkurang. Struktur balok beton bertulang yang telah direncanakan dengan baik dan dibangun, terkadang setelah difungsikan mempunyai beberapa permasalahan. Jika suatu

struktur memikul beban yang berlebihan atau tidak sesuai dengan perencanaan, maka struktur tersebut akan mengalami lendutan melebihi kemampuan struktur dan akan mengakibatkan terjadinya retak/ patahan pada struktur tersebut. Hal ini banyak diakibatkan oleh suatu bangunan/struktur yang mengalami perubahan fungsi ruang dari fungsi yang direncanakan sebelumnya. Sesuai dengan struktur bangunan yang dibangun maka sewaktu-waktu terjadi perubahan fungsi yang tak terduga sebelumnya, yaitu penambahan beban atau pertambahan fungsi ruang diatas bangunan.

Adanya kemajuan teknologi bahan konstruksi, kini telah ditemukan metode dalam melakukan perkuatan dengan memberikan tulangan pada balok beton bertulang dari bagian luar yaitu dengan menggunakan baja *Stripplat*. Aplikasi baja strip plat pada balok beton bertulang menggunakan chemset sebagai penguat dan perekat lem. Penelitian ini berfokus pada penggunaan lem perekat Sikadur-31 CF Normal sebagai perekat baja *stripplat* pada balok beton bertulang. Selain itu, belum diketahui secara jelas persentase peningkatan kuat lentur balok beton bertulang dengan penambahan baja *Stripplat* yang digunakan. Berdasarkan hal tersebut, perlu dilakukan penelitian yang lebih mendalam untuk mengetahui berapa pengaruh penambahan baja *stripplat* terhadap kuat lentur balok beton bertulang. Penelitian yang akan dilakukan ini merupakan kajian eksperimental dengan menambahkan baja strip pelat pada balok beton bertulang sebagai bahan *retrofitting* atau perkuatan.

1.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan baja strip pelat pada balok beton bertulang dalam menahan lentur balok
2. Untuk mengetahui perilaku balok beton bertulang yang diperkuat dengan baja strip pelat.
3. Untuk memperkirakan biaya yang dibutuhkan untuk membuat sampel penelitian perkuatan geser balok beton bertulang menggunakan baja strip pelat

1.2. Batasan penelitian

Batasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Benda uji balok beton bertulang menggunakan cetakan dengan dimensi B (lebar) 150 mm; H (tinggi) 200 mm; L (panjang) 1000 mm. Mutu yang digunakan adalah beton normal dengan mutu 20 MPa., dengan spesifikasi berikut ini.
 - a. Tulangan pokok atas : Ø10 mm
 - b. Tulangan pokok bawah : Ø10 mm
 - c. Tulangan sengkang : Ø 8 mm
2. Baja tulangan yang digunakan adalah baja polos dengan mutu baja
 - a. Tulangan pokok : 240 Mpa
 - b. Tulangan sengkang : 240 Mpa
3. Agregat yang digunakan adalah agregat halus (pasir) berasal dari merapi dan agregat kasar (kerikil) berasal dari merapi dengan bahan ikat semen tipe 1 dengan merk Tiga Roda.
4. Metode perencanaan balok beton bertulang yang digunakan menggunakan standar SNI 03-2847-2002
5. Metode campuran (*mix design*) yang digunakan menggunakan standar SNI 03-2834-2000
6. Pelat baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja strip pelat dengan ketebalan 12 mm, lebar 50 mm dan panjang 1000 mm dengan mutu 300 Mpa
7. Perekat yang digunakan lem perekat Sikadur-31 CF Normal
8. Metode pengujian kuat lentur balok beton bertulang dengan sistem dua titik pembebanan berdasarkan SNI 03-4431-1997.
9. Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan pada saat umur beton 28 hari
10. Pengujian balok beton bertulang hanya berupa uji kuat lentur.
11. Perkuatan dilakukan pada benda uji balok beton bertulang dengan kondisi telah mengalami keruntuhan.

II. Tinjauan Pustaka

Perkuatan struktur menurut Triwiyono (2004) dilakukan untuk bangunan yang riskan terhadap beban baru yang akan harus didukung, sehingga perlu meningkatkan kemampuan bangunan tersebut atau menambahkan elemen struktur baru yang tidak tersedia atau dianggap tidak ada pada saat struktur di bangun. Perkuatan struktur biasanya dilakukan sebagai upaya pencegahan sebelum struktur mengalami kehancuran.

Sedangkan perbaikan struktur diterapkan pada bangunan yang telah rusak, yaitu merupakan upaya untuk mengembalikan fungsi struktur seperti semula setelah terjadi penurunan kekuatan. Jika bangunan tidak segera ditangani perbaikan atau kekuatannya, kerusakan dapat berlanjut lebih parah lagi. Agar bangunan yang sudah rusak dapat terus difungsikan, diperlukan tindakan rehabilitasi yang dapat berupa perbaikan (*retrofit*) atau penguatan (*strengthening*).

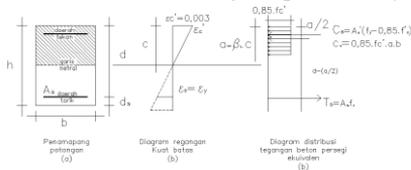
2.1 Perkuatan Balok Beton Bertulang

Pelat baja merupakan salah satu bentuk material komposit terbuat dari dua atau lebih material penyusun yang saling memiliki perbedaan sifat fisik dan kimia, yang jika dikombinasikan akan menghasilkan material berkarakteristik berbeda dengan material-material penyusunnya. Material komposit tersusun atas dua komponen utama yaitu matriks dan material penguat (reinforcement). Pelat baja bertugas sebagai material penguat. Sedangkan untuk matriksnya biasanya dipergunakan resin polimer semacam *epoxy*. Pelat baja yang digunakan pada penelitian ini adalah lembaran pelat strip baja yang dipotong-potong. Jenis ini digunakan karena mempunyai elastisitas yang baik sehingga mudah dalam pemasangannya.

Dalam penggunaan pelat baja, memerlukan suatu perekat kimia untuk memastikan pelat baja dapat terpasang dengan sempurna dan tidak mengelupas. Zat perekat ini terdiri dari dua macam bahan yaitu resin dan *hardener*, yang harus dicampur sebelum digunakan untuk merekatkan stripelast baja ke balok. Sifat dari perekat ini yaitu dapat mengeras dengan waktu yang singkat. Oleh karena itu dalam pemasangannya memerlukan ketelitian dan metode kerja yang cepat dan akurat.

2.2 Perkuatan Lentur dengan SK SNI

1. Balok Beton Bertulang Tanpa Pelat Baja



Gambar 1. Distribusi Regangan dan Tegangan pada Balok Tulangan Rangkap

a. Keadaan Balanced

$$\frac{c_b}{\epsilon_c} = \frac{a}{\epsilon_c + [f_y / \epsilon_s]}$$

$$C_b = \frac{600d}{600 + f_y}$$

$$a = 0,85 C_b \epsilon_s$$

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{\epsilon_s}$$

Karena : $\epsilon_s \geq \epsilon_y$, kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

b. Keadaan Sebenarnya

Anggap baja tulangan leleh, maka $f_y = f_s$.

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times B$$

$$C_s = A_s'(f_y - 0,85 f'c)$$

$$T_s = A_s \times f_y$$

$$T_s = C_c + C_s$$

Maka didapat nilai α

$$C_u = \frac{\alpha}{\beta}$$

Cek baja tulangan :

$$\epsilon_s \geq \epsilon_y$$

$$\epsilon_s = \frac{C_u - d'}{C_u} \epsilon_c < \epsilon_y$$

Ternyata anggapan baja tulangan tekan meleleh tidak terpenuhi. Anggaplah letak garis netral sebagai bilangan x . Dengan menyamakan ($C_c + C_s$) dengan T , menjadi suatu persamaan kuadrat. Di mana:

$$\epsilon_s' = \frac{a - d'}{a} \epsilon_c$$

$$f_s' = \epsilon_s' \times E_s$$

$$C_s = (f_s' - 0,85 f'c) A_s'$$

Sehingga:

$$0,85 f'c \times a \times B + \left[\frac{a - d'}{a} (0,003 \times 200.000) - 0,85 f'c \right] A_s'$$

$$= f_y \times A_s$$

Maka didapat nilai α

$$C_u = \frac{\alpha}{\beta} =$$

$$C_c = 0,85 \times f'c \times a \times B$$

$$C_s = (f_s' - 0,85 f'c) A_s'$$

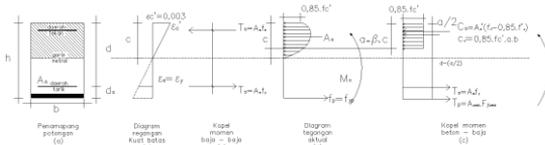
Momen Nominal (M_n) :

$$M_n = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d')$$

Prediksi beban diterima

$$M_n = \frac{1}{6,1} Pl \text{ maka, } P = \frac{6,1 M_n}{l}$$

2. Balok Beton Bertulang Dengan Pelat Baja



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

a. Keadaan Balanced

$$\frac{C_b}{\varepsilon_c} = \frac{d}{\varepsilon_c + [f_y / \varepsilon_s]}$$

$$C_b = \frac{600d}{600 + f_y}$$

$$a = 0,85 C_b$$

$$\varepsilon_s = \frac{(a-d)}{a} \times (\varepsilon_c) > \varepsilon_y = \frac{f_y}{\varepsilon_s}$$

Karena : $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$, kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

b. Keadaan Sebenarnya

Anggap baja tulangan leleh, maka $f_y = f_s$.

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times B$$

$$C_s = A_s' (f_y - 0,85 f'_c)$$

$$T_s = (A_s \times f_{kap}) + (A_p \times f_{kap \text{ plat}})$$

$$T_s = C_c + C_s$$

Maka didapat nilai α

$$C_u = \frac{\alpha}{\beta}$$

Cek baja tulangan :

$$\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$$

$$\varepsilon_s = \frac{C_u - d'}{C_u} \varepsilon_c$$

Karena $\varepsilon_s \geq \varepsilon_y$, kriteria untuk melelehnya baja tulangan tekan telah terpenuhi

$$C_c = 0,85 \times f'_c \times a \times B$$

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

Momen Kapasitas (M_{kap}):

$$M_{kap} = \left(C_c \left(d - \frac{a}{2} \right) + C_s (d - d') \right) \times \phi$$

Prediksi beban diterima

$$P = \frac{M_{kap} - 0,669}{0,388}$$

III. Metode Penelitian

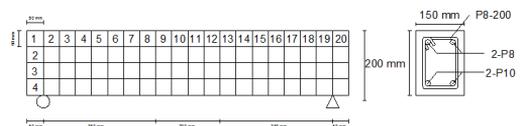
3.1 Persiapan penelitian

Persiapan yang dilakukan dimulai dengan pengadaan bahan material, antara lain berupa semen, agregat halus, agregat kasar, baja tulangan (d tulangan pokok 10 mm dan tulangan sengkang 8 mm), pelat baja (stripelat baja), dan lem perekat (Sikadur®-31 CF Normal)

Kemudian material agregat halus dan kasar diuji terlebih dahulu. Pengujian awal ini bertujuan untuk mengetahui keadaan fisik agregat halus dan kasar yang meliputi berat jenis, modulus halus, serta kandungan zat organik pada kerikil dan lumpur pada pasir.

3.2 Pembuatan benda uji

Pada penelitian ini dipergunakan 4 sampel benda uji dengan dimensi lebar 15 cm, tinggi 20cm, dengan panjang 100cm seperti pada Gambar 3 berikut :



Gambar 3. Dimensi benda uji

3.3 Pengujian benda uji

1. Pengujian tekan silinder beton
Pengujian tekan beton digunakan untuk mengetahui kuat tekan beton.
2. Pengujian kuat tarik
Pengujian kuat tarik baja digunakan untuk mengetahui kuat tarik baja
3. Pengujian kuat lentur.
Data yang akan diperoleh dari pengujian kuat lentur :
 - a. Besarnya lendutan yang terjadi pada benda uji yang telah diuji.
 - b. Besarnya kuat lentur balok dalam memikul beban

IV. Hasil dan Pembahasan

4.1 Pengujian Tekan Silinder Beton

Dari data hasil pengujian kuat tekan beton kubus pada umur 28 hari diperoleh rata-rata kuat tekan beton dari 4 buah benda uji sebesar 356,7 kg/cm² seperti yang pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Kuat Tekan Silinder

Benda Uji	Berat (kg)	Beban Tekan P (kN)	Luas A (cm ²)	Kuat Tekan (Mpa)
1	14,4	539,4	183,37	30,59
2	13	596,4	178,60	33,74
3	13,7	616,4	180,98	34,88
4	12,8	596,8	174,37	33,77
Kuat Tekan Rata-rata				33,254

Dari Tabel 1 terlihat penambahan kuat tekan menjadi 33,3 MPa dari kuat tekan silinder yang direncanakan 20 MPa. Dan untuk perhitungan selanjutnya digunakan kuat tekan beton rencana sebesar:

$$f'c = 33,3 \text{ MPa}$$

4.2 Pengujian Kuat Tarik

Baja tulangan yang digunakan adalah diameter P10 untuk tulangan pokok dan P8 untuk tulangan begel untuk pelat baja yang digunakan adalah jenis pelat baja “stripplar” yang memiliki ketebalan 12 mm dan lebar 50 mm. Dari hasil pengujian dan perhitungan didapatkan mutu baja sebesar:

Baja Tulangan

P10 = 321 Mpa

P8 = 251 Mpa

Pelat Baja stripplar

Pelat Baja 12 mm = 290 Mpa

4.3 Pengujian Kuat Lentur

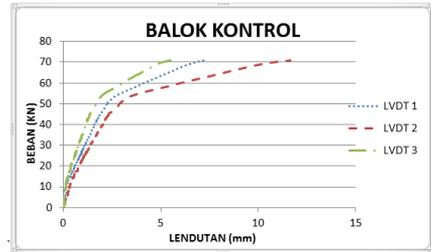
1. Balok Kontrol

Data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BK (Balok Kontrol) dapat dilihat pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Balok Kontrol (BK)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.1283	0.3371	0.1363	
20	0.6277	0.817	0.3942	
25.3	0.8684	1.0893	0,653	First Crack
30	1.5833	2.0264	1.148	Retak Rambut
40	3.5916	2.0808	2.6932	Retak Rambut
50	3.138	4.2575	2.2596	Retak Rambut Menjalar
60	4.1642	6.8772	3.3635	Retak Rambut Melebar
70	6.8072	10.8495	5.097	Runtuh Balok
70,926	71,415	116,191	54,935	Maximum Load

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Kurva Beban – Lendutan untuk Balok Kontrol

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan pada balok kontrol bentuk keruntuhan yang terjadi hampir sama, yaitu di bagian tengah bentang dari balok. Dari kedua tabel diatas dapat dilihat BK pada beban 70,926 kN terjadi lendutan tengah maksimum sebesar 11,6424 mm sedangkan. Hal ini menunjukkan bahwa balok kontrol mempunyai kekuatan yang homogen dan bisa digunakan untuk perbandingan dengan balok uji BP-1, BP-2, BP-3.

2. Balok Uji 1 (BP-1)

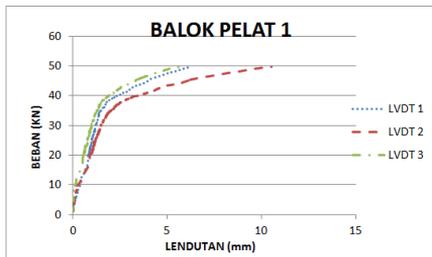
a. Tanpa Perkuatan

Data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BU-1 (Balok Pelat) dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

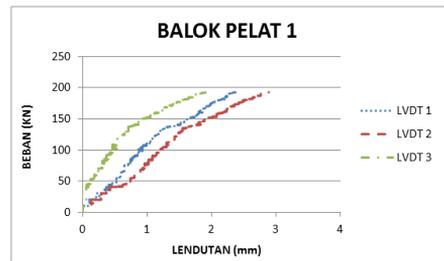
Tabel 3. Balok Uji 1 Tanpa Perkuatan (BU-1)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.43283	0.39396	0.18408	
20	0.8059	0.8993	0.5883	
20,3	0,8215	0,9303	0,5883	First Crack
30	1.27238	1.58333	1.05472	Retak Rambut
40	2.70273	3.91542	2.14303	Retak Rambut Menjalar
49	6.2786	10.53078	5.62562	Mencapai 70% Beban Maximal

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5. Kurva Beban Lendutan untuk BU-1 dibebani 70% beban max



Gambar 6. Kurva Beban-Lendutan untuk Balok Pelat 1

b. Dengan Perkuatan

Data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BP-1 (Balok Pelat) dapat dilihat pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Balok Uji 1 Dengan Perkuatan (BP-1)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.33955	0.49502	0.032765	
20	0.37064	0.53389	0.0597	
30	0.37842	0.55721	0.0597	
40	0.40174	0.5883	0.09079	
50	0.52611	0.74378	0.12189	
60	0.5883	0.83706	0.18408	
70	0.65049	0.96144	0.30845	
80	0.74378	1.02363	0.33177	
90	0.83706	1.08582	0.37064	
100	0.93034	1.2102	0.46393	
110	1.05472	1.30348	0.52611	
120	1.11691	1.42786	0.5883	
130	1.2102	1.55224	0.71268	
135	1.30348	1.61442	0.71268	first crack
140	1.52114	1.80876	0.85261	Retak Rambut
150	1.67661	1.95646	0.99253	Retak Rambut Menjalar
160	1.80099	2.20522	1.1791	Retak Rambut Menjalar
170	1.96424	2.36069	1.39676	Retak Melebar,
180	2.14303	2.57835	1.58333	Menjalar ke Atas
190	2.3296	2.78824	1.83209	Delaminasi Pelat baja
192	2.45398	3.0059	2.26741	Maximum Load

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 6 berikut:

3. Balok Uji 2 (BP-2)

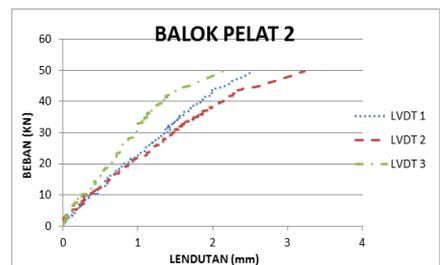
a. Tanpa Perkuatan

Data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BU-2 (Balok Pelat) dapat dilihat pada Tabel 5 berikut:

Tabel 5. Balok Uji 2 Tanpa Perkuatan (BU-2)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.46641	0.40423	0.31095	
20	0.87064	0.93284	0.65299	
24	1.0883	1.19714	0.77737	First Crack
30	1.39925	1.53918	0.96393	Retak Rambut
40	1.86567	2.17662	1.36816	Retak Rambut Menjalar
49	2.54197	3.22606	2.13775	Mencapai 70% Beban Maximal

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 7 berikut:



Gambar 7. Kurva Beban Lendutan untuk BU-2 dibebani 70% beban max

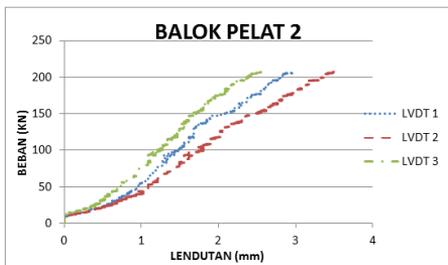
b. Dengan Perkuatan

Data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BP-2 (Balok Pelat) dapat dilihat pada Tabel 6 berikut

Tabel 6. Balok Uji 2 Dengan Perkuatan (BP-2)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.06218	0.06219	0	
20	0.43532	0.46642	0.34204	
30	0.43532	0.46642	0.34204	
40	0.68407	0.71517	0.49751	
50	0.80597	0.96144	0.49502	
60	0.93034	1.08582	0.65049	
70	1.02363	1.24129	0.71268	
80	1.11691	1.36567	0.86815	
90	1.2102	1.49005	0.93034	
100	1.33457	1.67661	0.99253	
110	1.42786	1.7699	1.11691	
120	1.52114	1.89427	1.24129	
130	1.52114	1.95646	1.3268	
131	1.52114	1.98756	1.33457	first crack
140	1.67661	2.17413	1.39676	Retak Rambut
150	1.92537	2.42288	1.45895	Retak Rambut
160	2.14303	2.54726	1.58333	Retak Rambut Menjalar
170	2.20522	2.67164	1.7388	Retak Rambut Menjalar
180	2.39179	2.8893	1.89427	Retak Melebar,
190	2.51617	3.04477	1.98756	Menjalar ke Atas
200	2.67164	3.23134	2.17413	Delaminasi Pelat baja
207	3.02145	3.50342	2.35292	Maximum Load

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 8 berikut:



Gambar 8. Kurva Beban – Lendutan untuk Balok Pelat 2

4. Balok Uji 3 (BP-3)

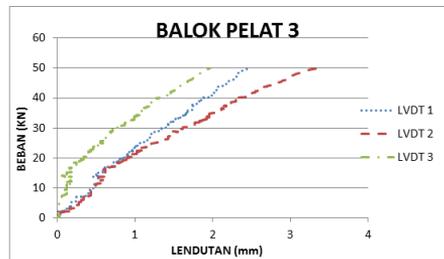
a. Tanpa Perkuatan

Data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BU-3 (Balok Pelat) dapat dilihat pada Tabel 7 berikut:

Tabel 7. Balok Uji 3 Tanpa Perkuatan (BU-3)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.46393	0.49502	0.12189	
20	0.89925	0.96144	0.37064	
22	0.99253	1.08582	0.46393	First Crack
30	1.42786	1.70771	0.86815	Retak Rambut
40	1.98756	2.48507	1.42786	Retak Rambut Menjalar
49	2.45398	3.35572	1.96424	Mencapai 70% Beban Maximal

Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 9 berikut



Gambar 9. Kurva Beban Lendutan untuk BU-3 dibebani 70% beban max

b. Dengan Perkuatan

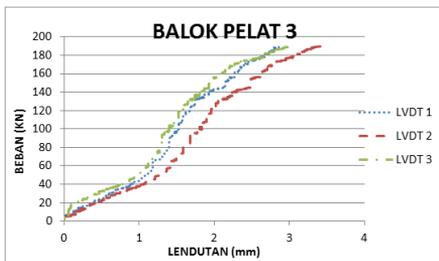
Data hasil pengujian pembebanan terhadap balok-balok kode BP-3 (Balok Pelat) dapat dilihat pada Tabel 8 berikut

Tabel 8. Balok Uji 3 Dengan Perkuatan (BP-3)

Beban P (KN)	Lendutan			Keretakan
	LVDT1	LVDT2	LVDT3	
0	0	0	0	
10	0.18408	0.21517	0.00249	
20	0.40174	0.46393	0.18408	
30	0.65049	0.74378	0.46393	
40	0.89925	1.08582	0.80597	
50	1.11691	1.30348	0.99253	
60	1.1791	1.42786	1.11691	
70	1.33457	1.55224	1.1791	
80	1.39676	1.58333	1.27238	
90	1.43563	1.67661	1.30348	
100	1.52114	1.80099	1.39676	
110	1.58333	1.89427	1.52114	
120	1.67661	1.95646	1.58333	
130	1.7388	2.04975	1.67661	
140	1.92537	2.2985	1.86318	
144	2.11194	2.45398	1.92537	first crack
150	2.14303	2.48507	1.98756	Retak Rambut
160	2.26741	2.64054	2.11194	Retak Rambut Menjalar

170	2.40733	2.76492	2.2985	Retak Melebar, Menjalar ke Atas
180	2.67164	3.10696	2.67164	Delaminasi Pelat baja
189	3.02145	3.63557	3.38681	Maximum Load

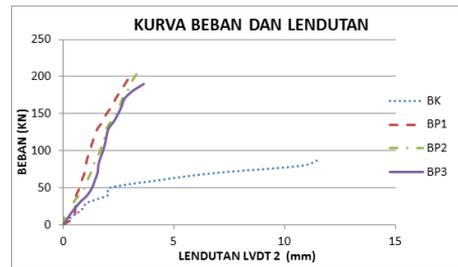
Dari hasil pengujian yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat grafik yang mewakili hubungan antara beban dan lendutan balok seperti pada Gambar 10 berikut:



Gambar 10. Kurva Beban – Lendutan untuk Balok Pelat 3

Secara mekanik besarnya lendutan tergantung dari besarnya beban yang diberikan pada balok. Semakin besar beban yang diberikan, maka semakin besar lendutan yang terjadi. Dari ketiga tabel diatas dapat dilihat BP-1 pada beban 192 kN terjadi lendutan sebesar 3.0059 mm sedangkan BP-2 pada beban 207 kN terjadi lendutan sebesar 3.5034 mm. BP-3 pada beban 189 kN terjadi lendutan sebesar 3,6356 mm. Hal ini menunjukkan bahwa balok yang diperkuat dengan pelat baja dapat menerima beban yang lebih besar dengan lendutan yang terjadi lebih kecil meskipun tidak terlalu signifikan.

Dari grafik juga menunjukkan bahwa nilai lendutan pada LVDT 2 pada semua benda uji balok mempunyai nilai lendutan yang lebih besar dibandingkan dengan nilai LVDT 1 dan LVDT 3 hal ini dikarenakan lendutan terbesar terjadi pada tengah balok. Kemudian runtuhnya balok terjadi pada satu sisi saja, hal tersebut dikarenakan balok mengalami kerusakan yang tidak merata disepanjang bentang tersebut. Kerusakan yang tidak merata dapat disebabkan oleh tidak meratanya kuat tekan yang dimiliki oleh balok. Grafik perbandingan lendutan tengah dari empat balok uji dapat dilihat pada Gambar 11 berikut:



Gambar 11. Kurva Beban – Lendutan Tengah untuk seluruh balok

V. Rekapitulasi Hasil Pengujian Balok

Setelah dilakukan pengujian pada BK dan BP terdapat perbedaan antara perhitungan teoritis dengan hasil pengujian di laboratorium yaitu beban lentur yang dapat ditahan oleh kedua jenis balok tersebut yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9. Perbandingan Hasil Kuat Lentur Teoritis - Eksperimen

Teoritis		Eksperimen			
BK (KN)	BU (KN)	BK-1 (KN)	BP-1 (KN)	BP-2 (KN)	BP-3 (KN)
69,64	463,839	70,93	192,67	207,321	189,704

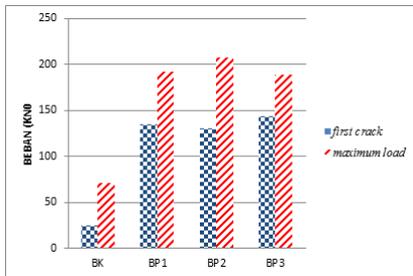
Beban lentur yang dapat ditahan oleh balok kode BP rata-rata mengalami peningkatan kuat lentur dibandingkan dengan balok kode BK. Namun balok dengan kode BK-3 mengalami penurunan kekuatan yang diakibatkan oleh perbedaan mutu beton dan pemasangan perkuatan. Hasil perbandingan kekuatan balok tersebut dapat dilihat pada tabel 10 berikut ini:

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Lentur

Kode Balok	Vmaks (KN)	Peningkatan Lentur (%)	Lendutan Tengah Bentang (mm)	Rata-Rata Vmaks (KN)	Rata-Rata Peningkatan Lentur (%)
BK	70,93	-	11,6191	70,93	-
BP-1	192,67	171,64889	3,0059	196,565	171,1253
BP-2	207,321	192,3056	3,5034		
BP-3	189,704	167,4676	3,63557		

Berdasarkan Tabel 10 dapat dilihat terjadi peningkatan kapasitas beban yang dapat ditahan oleh balok namun cukup signifikan. BK-1 sebagai acuan kekuatan setelah dilakukan pengujian didapatkan nilai 71,5 kN. Balok uji dengan perkuatan pelat baja

“stripplat” BP-1 meningkat sebesar 171,64889 %, balok BP-2 mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 192,3056 %, balok BP-3 meningkat 167,4676 % sehingga jika dibuat rata-rata beban yang dapat dipikul oleh balok dengan kode BP didapat nilai 196,565 KN serta mengalami peningkatan lentur sebesar 171,1253%. Dari hasil rekapitulasi yang disajikan pada tabel diatas, dapat dibuat diagram yang mewakili perbandingan kuat lentur antara balok kontrol dan balok uji seperti pada Gambar 10 berikut.



Gambar 10. Diagram Batang Perbandingan First Crack - Max Load Balok

VI. Rekapitulasi Perhitungan Biaya Balok Dan Balok Perkuatan

1. Perhitungan Kebutuhan Biaya Balok

Harga satuan pekerjaan beton f'c 20	Rp 26.000,00
Harga satuan pekerjaan pembesian	Rp.190.000,00
Harga satuan pekerjaan bekisting	Rp 100.000,00
Harga Balok Beton	= Rp 316.000,00 / balok

2. Perhitungan Kebutuhan Biaya Balok Perkuatan

Harga satuan pekerjaan beton f'c 20	Rp 26.000,00
Harga satuan pekerjaan pembesian	Rp.190.000,00
Harga satuan pekerjaan bekisting	Rp 100.000,00
Harga Balok Beton Perkuatan	Rp 290.000,00
Harga Balok Beton	= Rp 606.000,00 / balok

Dengan perhitungan anggaran biaya diatas, maka dapat diketahui keseluruhan biaya yang

diperlukan dalam penelitian ini. Baik itu harga satuan, maupun harga komponen. Agar lebih jelas maka rekapitulasi biaya dapat dilihat pada Tabel 11 berikut:

Tabel 11. Rekapitulasi Total Biaya Pembuatan Sampel dan Perkuatan Menggunakan pelat baja

Pekerjaan	Kebutuhan Biaya			Harga Satuan per m ³
	Harga satuan per balok	Jumlah Sampel	Total	
Balok	Rp1.284.919	Rp 316.000	4	Rp 1.264.000

Lanjutan Tabel 11. Rekapitulasi Total Biaya Pembuatan Sampel dan Perkuatan Menggunakan pelat baja

Pekerjaan	Kebutuhan Biaya			Harga Satuan per m ³
	Harga satuan per balok	Jumlah Sampel	Total	
Perkuatan pelat baja	Rp1.574.091	Rp 606.000	3	Rp 1.818.000
Sub Total				Rp 3.082.000
Pembulatan				Rp 3.100.000

VII. Kesimpulan dan Saran

7.1 Kesimpulan

- Berdasarkan pengamatan pengaruh penambahan Pelat Baja “stripplat” pada balok beton betulang dapat disimpulkan bahwa :
 - Pelat Baja “stripplat” dapat menahan beban yang lebih besar dengan lendutan yang lebih kecil. BK sebagai acuan kekuatan didapatkan nilai 70,9 kN. Balok uji dengan perkuatan Pelat Baja “stripplat” dengan penamaan BP-1 mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 192,67 KN dan meningkat sebesar 171,6488 % terhadap nilai kuat lentur balok kontrol, balok BP-2 mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 207,321 KN dan mengalami kuat lentur sebesar 192,3056 %, dan balok BP-3 mendapatkan nilai dari hasil pengujian sebesar 189,704 KN mengalami peningkatan kuat lentur sebesar 167,4676% lebih rendah dibandingkan dengan balok uji lainnya.
 - Dengan data lendutan dapat dibuat perhitungan kelengkungan balok dengan hasil keseluruhan balok uji baik BP-1, BP-2, BP-3 menunjukkan kelengkungan yang lebih kecil dari pada balok kontrol BK. Hal ini disebabkan oleh fungsinya Pelat Baja “stripplat” dalam mencegah defleksi balok yang besar.
- Setelah perkuatan Pelat Baja “stripplat” dipasang pada balok, perilaku balok

dalam menerima beban dapat diamati dan **VIII.**

ditarik kesimpulan yaitu :

- a. Pola keruntuhan yang terjadi pada balok uji adalah terjadinya debonding failure yaitu lepasnya ikatan antara beton dengan Pelat Baja “stripplat”, sehingga dapat dikatakan bahwa material komposit tersebut belum bisa bekerja secara optimal. Hal itu bisa diakibatkan karena epoxynya yang kurang kuat.
- b. Penggunaan Pelat Baja “stripplat” sebagai bahan perkuatan lentur dibagian lapangan balok, pelat baja juga dapat menghambat munculnya retakan pada bagian tumpuan. Akan tetapi karena pelat baja hanya meningkatkan kuat lentur balok pada bagian lapangan, bagian tumpuan balok menjadi lemah. Pada balok yang diberi perkuatan lentur menggunakan pelat baja banyak bermunculan retak pada bagian tumpuan, retakan semakin panjang seiring dengan penambahan beban pikul. Hal tersebut berakibat terjadinya debonding failure yaitu lepasnya ikatan antara beton dengan Pelat Baja “stripplat”. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa material komposit tersebut belum bisa bekerja secara optimal dalam memikul beban dan mempertahankan balok tersebut.
3. Menurut perhitungan anggaran biaya, penelitian ini menghabiskan total Rp3.100.000,00 untuk membuat sampel balok dan perkuatannya. Sedangkan harga 1 buah balok adalah Rp316.000,00 dan harga perkuatan Pelat Baja “stripplat” per balok adalah Rp606.000,00.

7.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, peneliti harus memperhitungkan kekuatan lentur balok dan pola keruntuhan balok, sehingga perletakan perkuatan dan ketebalan pelat baja bisa lebih efektif.
2. Berdasarkan hasil pengamatan pola keruntuhan balok pada penelitian ini, perlu dilakukan penelitian lebih mendalam mengenai kuat lekatan Pelat Baja “stripplat” pada permukaan balok. Jenis epoxy yang berbeda-beda dapat memengaruhi efektifitas Pelat Baja “stripplat” dalam perkuatan.

Daftar Pustaka

- Arwin Amaruddin, Arwin, 2014, Studi Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Metode Retrofit Menggunakan Wiremesh Dan Scc, *Tugas Akhir*, Universitas Hasanudin, Makasar.
- Asroni, Ali, 2010, *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 1991, *Metode Pengujian Kuat tarik Baja Beton*, SNI 07-2529-1991.
- Badan Standarisasi Nasional, 1993, *Metode Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium*, SNI 03-2493-1993.
- Badan Standarisasi Nasional, 1993, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*, SNI 03-2834-1993.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, SNI 03-2847-2002.
- Dewobroto, Wiryanto, 2005, *Aplikasi Rekayasa Konstruksi*, PT. Elex Media Komputindo, Jakarta.
- Dipohusodo, Istimawan, 1994, *Struktur Beton Bertulang*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Fauzan, 2009, Analisis Metode Pelaksanaan Retrofitting pada Bangunan Sederhana, *Jurnal Rekayasa Sipil Universitas Andalas*, Vol. 8 No. 1 Hlm. 11-20 Padang.
- FTSP UII, 2012, *Buku Panduan Praktikum Bahan Konstruksi Teknik Laboratorium Bahan Kontruksi Teknik*, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Helmi, Masdar, 2009, Perbaikan Balok Beton Bertulang Yang Telah Mengalami Beban Puncak Dengan Baja Siku, *Jurnal Ilmiah Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung*, Bandar Lampung.
- Miswar, Khairul, 2010, Perbaikan Dan Perkuatan Balok Beton Bertulang Dengan Cara Penambahan Profil Baja Kanal, *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Politeknik Negeri Lhokseumawe*, NAD.
- Nawy, Edward G., 1998, *Beton Bertulang: Suatu Pendekatan Dasar*, PT. Eresco, Bandung.



Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil FTSP UII

ISSN 9-772477-5B3159

Sitepu, Nomi, 2014, Perilaku Balok Beton Bertulang Dengan Perkuatan Pelat Baja Dalam Memikul Lentur, *Tugas Akhir*, Universitas Sumatera Utara, Medan.

Triwiyono, A., 2004, *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton*, Topik Bahan Ajar, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta



Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil FTSP UII

ISSN 9-772477-5B3159