

PENGARUH PELAT SETRIP POLOS SEBAGAI TULANGAN TARIK LONGITUDINAL TERHADAP KINERJA LENTUR BALOK BETON BERTULANG

Achmad Basuki^{1*}, Muhammad Yani Bhayusukma¹, Edy Purwanto¹, dan Mahasim Azam²

¹Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta

e-mail: basuki_sipil@ft.uns.ac.id

e-mail: muhammadyani@staff.uns.ac.id

e-mail: edypurwanto68@staff.uns.ac.id

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta

e-mail: mahasimazam@student.uns.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mempelajari pengaruh pelat setrip polos sebagai tulangan tarik longitudinal balok beton bertulang terhadap kinerja lenturnya. Baja pelat setrip polos dipasang dalam posisi vertikal terhadap sumbu balok. Tiga balok beton dengan tulangan tarik longitudinal berupa baja tulangan ulir dan tiga balok beton dengan tulangan tarik longitudinal berupa baja pelat setrip polos diuji melalui pengujian *third-point loading*. Geometri baja tulangan merupakan parameter utama yang diamati dalam penelitian ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa balok beton bertulang dengan tulangan pelat setrip polos memiliki kapasitas lentur yang lebih rendah. Metode yang ditetapkan dalam SNI 2847:2019 digunakan untuk memperkirakan kapasitas lentur balok. Hasil pengujian eksperimental menunjukkan bahwa balok beton dengan tulangan baja pelat setrip memiliki indeks kapasitas yang lebih besar dibandingkan balok beton dengan baja tulangan ulir. Saat beban maksimum tercapai, balok beton dengan tulangan baja pelat setrip polos mengalami lendutan yang lebih besar. Kedua variasi balok memiliki pola retak serupa, didominasi oleh retak lentur pada sepertiga tengah bentang lalu berkembang menjadi retak diagonal setelah mencapai sisi tekan.

Kata kunci: baja pelat setrip, balok beton bertulang, kapasitas lentur, tulangan tarik longitudinal

PENDAHULUAN

Pelat setrip merupakan material baja dengan bentuk penampang persegi panjang. Dalam bidang konstruksi, pelat setrip biasa digunakan sebagai material perkuatan eksternal elemen struktur beton bertulang. Penampang pelat setrip yang dipasang secara vertikal terhadap arah melintangnya akan memiliki momen inersia lokal yang lebih tinggi dibandingkan baja tulangan ulir dengan luas yang sama. Hal tersebut memungkinkan baja pelat setrip yang dipasang sedemikian rupa memiliki kekakuan lentur yang lebih tinggi dibandingkan baja tulangan konvensional. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh penggunaan material tulangan dengan baja pelat setrip sebagai pengganti baja tulangan ulir pada balok beton bertulang terhadap kapasitas momen lenturnya. Ukuran baja pelat setrip yang digunakan dipilih berdasarkan luas penampang yang mendekati ukuran baja tulangan ulir referensi.

Kuat Tarik Baja

Bedasarkan SNI 8389, kuat tarik diartikan sebagai tegangan pada saat beban maksimum, yaitu beban terbesar yang dapat ditahan benda uji selama pengujian. Pengujian kuat tarik dilakukan dengan menarik benda uji menggunakan mesin uji tarik secara terus menerus dengan besaran beban yang terus bertambah sampai baja putus. Nilai kuat tarik baja berdasarkan hasil pengujian dihitung dengan persamaan berikut.



$$R_m = \frac{F_m}{S_o} \quad (1)$$

Dengan R_m = kuat tarik (MPa), F_m = beban maksimum (N), dan S_o = luas penampang awal bagian paralel (mm^2).

Kuat Tekan Beton

Fanella (2016) menjelaskan bahwa kuat tekan beton merupakan salah satu besaran penting dalam perencanaan komponen struktur beton bertulang. Perilaku mekanis beton saat menerima beban tekan biasanya diketahui dengan melakukan pengujian pada silinder beton. Pengujian kuat tekan beton berdasarkan SNI 1974 menggunakan benda uji silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Nilai kuat tekan beton berdasarkan pengujian tersebut dihitung dengan persamaan berikut.

$$f'_c = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Dengan f'_c = Kuat tekan beton (MPa), P = Beban tekan (N), dan A = Luas bidang tekan (mm^2).

Momen Lentur pada Balok

Saat balok menerima beban, elemen struktur tersebut akan melakukan reaksi perlawanan yang mengakibatkan elemen mengalami lendutan. Kemampuan elemen struktur dalam menahan momen lentur sampai beban maksimum tercapai dinyatakan sebagai kapasitas momen. Berdasarkan SNI 2847, persamaan yang digunakan untuk memperkirakan besarnya kapasitas momen penampang balok dengan tulangan rangkap dinyatakan dalam Persamaan (2) dan (3). Momen lentur untuk balok dengan tulangan tekan longitudinal yang sudah melewati titik leleh dinyatakan sebagai

$$M_n = (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_y (d - d') \quad (2)$$

Jika tulangan tekan longitudinal belum leleh, maka nilai kuat leleh baja tulangan tekan digantikan dengan variabel tegangan tekannya.

$$M_n = (A_s - A_s') f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_s' (d - d') \quad (3)$$

Dengan M_n = momen nominal penampang (Nmm), A_s = luas penampang tulangan tarik longitudinal (mm^2), A_s' = luas penampang tulangan tekan longitudinal (mm^2), f_y = kuat leleh baja tulangan (MPa), f_s' = tegangan tulangan tekan longitudinal (MPa), d = Jarak serat tekan terluar terhadap pusat tulangan tarik (mm), d' = Jarak serat tekan terluar terhadap pusat tulangan tekan (mm), dan a = Tinggi blok tegangan tekan ekuivalen (mm).

Pola Retak

Apabila sebuah elemen struktur balok diberi beban secara bertahap sampai melebihi modulus keruntuhannya, maka elemen tersebut akan mengalami keretakan. Retak dan arah perambatannya sangat dipengaruhi oleh besarnya beban aksial dan lateral yang mengenai penampang sehingga mengakibatkan tegangan lentur tarik dan geser. Triwiyono (2004) mengelompokkan pola retak pada elemen balok beton bertulang menjadi:

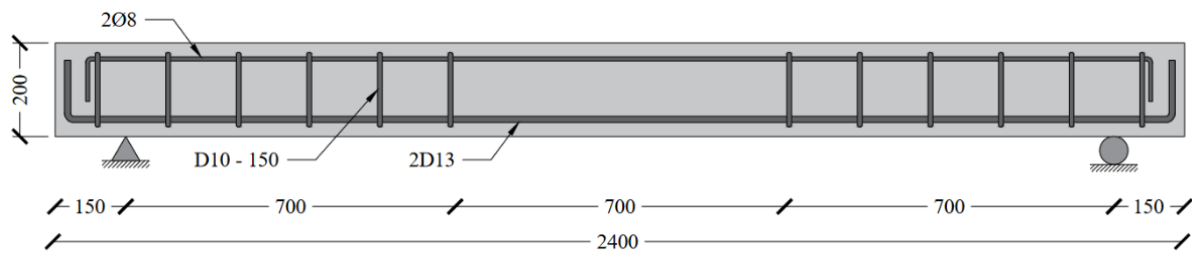
- a. Retak lentur (*flexural crack*), retak ini terjadi apabila beban lentur yang bekerja pada balok lebih besar daripada beban gesernya (bentuk retaknya terlihat menjulur/mengarah dari bagian tarik menuju tekan).

- b. Retak geser (*shear crack*) merupakan jenis retak yang terjadi akibat adanya gaya geser. Retak ini akan membentuk sudut 45° terhadap gaya yang bekerja pada komponen tersebut.
- c. Retak lentur-geser (*flexural-shear crack*) adalah retak diagonal yang merupakan retak lanjutan dari retak lentur sebelumnya. Retak ini terjadi apabila besar gaya momen dan gaya geser tidak selisih jauh.

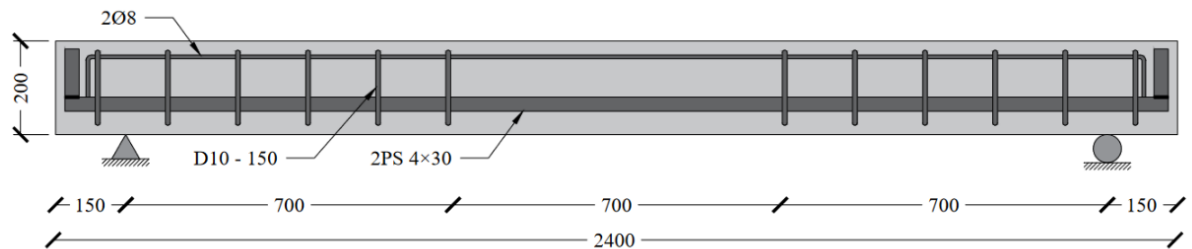
METODE

Dua variasi balok yang diamati meliputi balok dengan tulangan tarik longitudinal berupa baja tulangan ulir serta balok dengan tulangan tarik berupa baja pelat setrip. Masing-masing variasi balok berjumlah tiga benda uji. Sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1, benda uji memiliki panjang total 2.400 mm dengan lebar 150 mm dan tinggi 200 mm. Balok dengan baja tulangan ulir menggunakan tulangan berdiameter 13 mm, sedangkan balok dengan baja pelat setrip menggunakan pelat setrip polos dengan tebal 4 mm dan lebar 30 mm. Sisi lebar pada penampang pelat setrip ditempatkan secara vertikal terhadap arah melintang balok. Benda uji balok dengan baja tulangan ulir selanjutnya disebut BJTU.D13 dan balok dengan baja pelat setrip selanjutnya disebut PS.4.30.P.

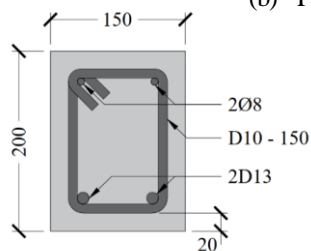
Ujung-ujung tulangan tarik longitudinal benda uji BJTU.D13 dibengkokkan 90° untuk mencegah tulangan mengalami kegagalan selip sebelum balok mencapai beban ultimit. Hal serupa diterapkan pada benda uji PS.4.30.P dengan memasang kait ujung menggunakan pelat setrip yang dilas. Tulangan pelat setrip dipasang 10 mm lebih tinggi dibandingkan baja tulangan ulir untuk mencegah penempatan yang tidak vertikal karena keberadaan sudut lengkung sengkang. Sengkang yang masing-masing berjarak 150 mm berupa baja tulangan ulir diameter 10 mm dipasang pada sepertiga ujung-ujung bentang balok untuk memastikan bahwa benda uji tidak runtuh akibat gaya geser. Tulangan tekan longitudinal berupa baja tulangan polos diameter 8 mm dipasang untuk menjaga orientasi sengkang yang terpasang. Ujung-ujung tulangan tekan longitudinal juga dibengkokkan 90° untuk mencegah selip akibat kurangnya tahanan lekat tulangan pada beton.



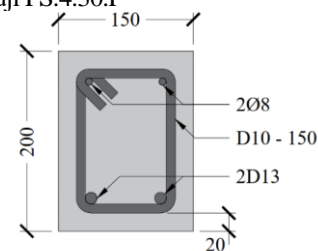
(a) Potongan memanjang benda uji BJTU.D13



(b) Potongan memanjang benda uji PS.4.30.P



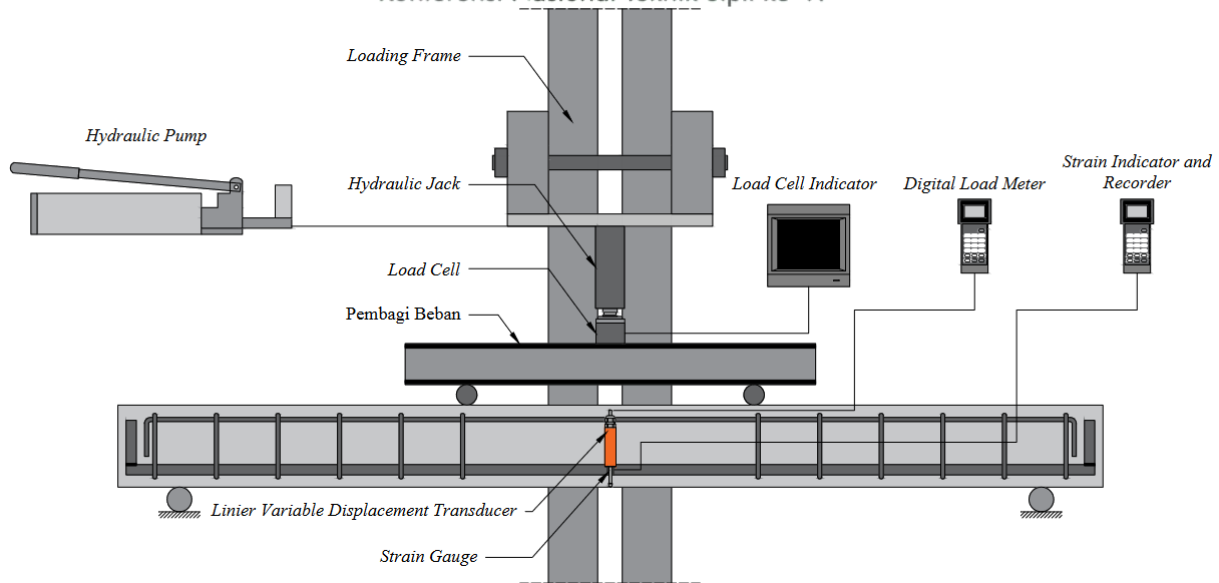
(c) Potongan melintang benda uji BJTU.D13



(d) Potongan melintang benda uji PS.4.30.P

Gambar 73. Konfigurasi Penulangan Benda Uji Balok

Sketsa pengujian *third-point loading* ditunjukkan dalam Gambar 2. Benda uji balok ditumpu sederhana pada kedua ujung bentang dengan tumpuan rol. Beban terpusat yang dikerjakan oleh pompa hidrolik didistribusikan pada titik-titik di sepertiga bentang dengan menggunakan batang kaku berupa baja profil. Panjang bentang bersih balok dari tumpuan satu ke tumpuan lainnya adalah 2.100 mm. Dengan demikian, segmen sepertiga tengah bentang balok sepanjang 700 mm akan mengalami momen lentur murni. *Strain gauge* dipasang pada tengah bentang masing-masing tulangan tarik longitudinal untuk mengukur regangan yang dialami baja secara simultan. LVDT ditempatkan di tiap sisi samping balok untuk mengetahui besar lendutan di tengah bentang. Pembacaan besarnya regangan tulangan dan lendutan balok dilakukan setiap $0,5 \times 10^3$ N penambahan beban hingga balok mengalami keruntuhan. Pengamatan dan penggambaran pola retak dilakukan setiap 2×10^3 N penambah beban sampai beban ultimit tercapai.



Gambar 74. Sketsa Pengujian *Third-point Loading*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan pada baja tulangan ulir dan baja pelat setrip masing-masing tiga benda uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa baja tulangan ulir memiliki rata-rata kuat leleh dan kuat tarik berturut-turut sebesar 529,68 MPa dan 798,21 MPa. Material baja pelat setrip menunjukkan rata-rata kuat leleh dan kuat tarik yang lebih rendah, masing-masing 298,12 MPa dan 401,12 MPa. Tabel 1 dan Tabel 2 menampilkan hasil pengujian kuat tarik baja untuk masing-masing jenis baja tulangan.

Tabel 9. Hasil Pengujian kuat tarik baja tulangan ulir

Nama Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Leleh (N)	Kuat Leleh (MPa)
TT.D13-1	13	132,73	70.632	532,14
TT.D13-2	13	132,73	70.632	532,14
TT.D13-3	13	132,73	69.651	524,75
			Rata-rata	529,68

Tabel 10. Hasil pengujian kuat tarik baja pelat setrip

Nama Benda Uji	Lebar (mm)	Tebal (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Leleh (N)	Kuat Leleh (MPa)
TT.PS.4.30-1	30	4	120	35.512	295,94
TT.PS.4.30-2	30	4	120	35.708	297,57
TT.PS.4.30-3	30	4	120	36.101	300,84
				Rata-rata	298,12

Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Material beton yang digunakan merupakan beton normal siap pakai dari P.T. Varia Usaha Beton, Karanganyar. Pengujian kuat tekan silinder beton yang dilakukan pada benda 3 benda uji menunjukkan bahwa rata-rata kuat tekan beton pada umur 28 hari adalah 20,47 MPa. Tabel 3 menampilkan hasil pengujian kuat tekan silinder beton tiap benda uji.

Tabel 11. Hasil pengujian kuat tekan silinder beton umur 28 hari

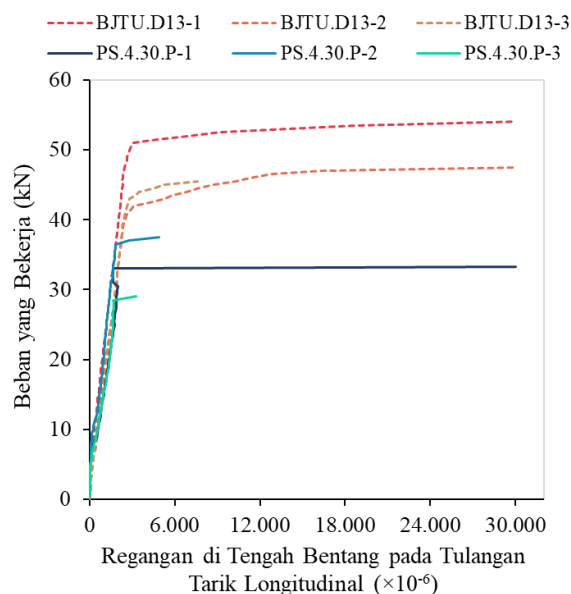
Nama Benda Uji	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Beban Tekan (N)	Kuat Tekan (MPa)
CT.C28-1	150	17.671	410	23,20
CT.C28-2	150	17.671	335	18,96
CT.C28-3	150	17.671	340	19,24
			Rata-rata	20,47

Hubungan antara Beban dan Regangan Baja Tulangan Tarik Longitudinal

Gambar 3 memuat grafik hubungan antara beban dan regangan benda uji BJTU.D13 dan benda uji PS.4.30.P. Grafik tersebut menunjukkan bahwa baja pelat setrip mencapai titik leleh sesaat sebelum beban ultimit tercapai. Lelehnya baja pelat setrip bersifat lebih mendadak dibandingkan baja tulangan ulir sebagai tulangan longitudinal balok. Besarnya beban maksimum, beban saat leleh, serta kapasitas momen masing-masing benda uji dituliskan ke dalam Tabel 4. Tulangan tarik longitudinal BJTU.D13 mengalami leleh saat beban yang bekerja sebesar $45,30 \times 10^3$ N. Balok mengalami keruntuhan pada beban ultimit saat pembebanan $55,20 \times 10^3$ N. Tulangan tarik longitudinal pada benda uji PS.4.30.P mengalami leleh pada beban kerja yang lebih rendah, yaitu $32,80 \times 10^3$ N. Variasi ini juga mengalami keruntuhan pada beban kerja yang lebih kecil dibandingkan BJTU.D13, yaitu pada rata-rata pembebanan $33,90 \times 10^3$ N.

Tabel 12. Besar beban saat leleh serta beban ultimit BJTU.D13 dan PS.4.30.P

Nama Benda Uji	Beban saat Leleh ($\times 10^3$ N)	Rata-rata Beban saat Leleh ($\times 10^3$ N)	Beban Ultimit ($\times 10^3$ N)	Rata-rata Beban Ultimit ($\times 10^3$ N)
BJTU.D13-1	51,00		56,50	
BJTU.D13-2	42,00	45,30	54,00	55,20
BJTU.D13-3	43,00		55,00	
PS.4.30.P-1	33,00		33,30	
PS.4.30.P-2	37,00	32,80	39,50	33,90
PS.4.30.P-3	28,50		29,00	



Gambar 75. Hubungan Beban dan Regangan Baja Tulangan Tarik Longitudinal

Kapasitas Momen dan Indeks Kapasitas

Momen lentur eksperimental benda uji dapat diperoleh dari nilai beban ultimit berdasarkan prinsip kesetimbangan momen. Hasil perhitungan yang dimuat di Tabel 5 menunjukkan bahwa benda uji BJTU.D13 memiliki rata-rata kapasitas momen sebesar $19,71 \times 10^3$ Nm. Nilai tersebut lebih besar jika dibandingkan dengan benda uji PS.4.30.P yang memiliki rata-rata kapasitas momen hanya sebesar 12,27. Besarnya kapasitas momen tiap benda uji berbanding lurus dengan nilai beban ultimit. Selanjutnya, indeks kapasitas dihitung sebagai hasil bagi antara momen lentur eksperimen dan momen lentur teori yang dihitung berdasarkan SNI 2847:2019.

Nilai pada Tabel 5 menunjukkan bahwa benda uji BJTU.D13 memiliki indeks kapasitas sebesar 1,30. Karena indeks kapasitas bernilai lebih dari 1, benda uji memiliki kapasitas momen yang lebih besar dibandingkan hasil perhitungan menggunakan standar perancangan. Hal serupa juga berlaku untuk benda uji PS.4.30.P dengan indeks kapasitas sebesar 2,26. Indeks kapasitas benda uji PS.4.30.P menampilkan nilai yang lebih besar dibandingkan indeks kapasitas benda uji BJTU.D13. Hal tersebut menunjukkan bahwa perkiraan kapasitas momen dengan SNI 2847:2019 untuk tulangan tarik longitudinal yang menggunakan baja pelat setrip menjadi kurang akurat jika dibandingkan dengan elemen struktur yang dengan baja tulangan ulir sebagai material tulangannya.

Tabel 13. Kapasitas momen serta indeks kapasitas BJTU.D13 dan PS.3.40.P

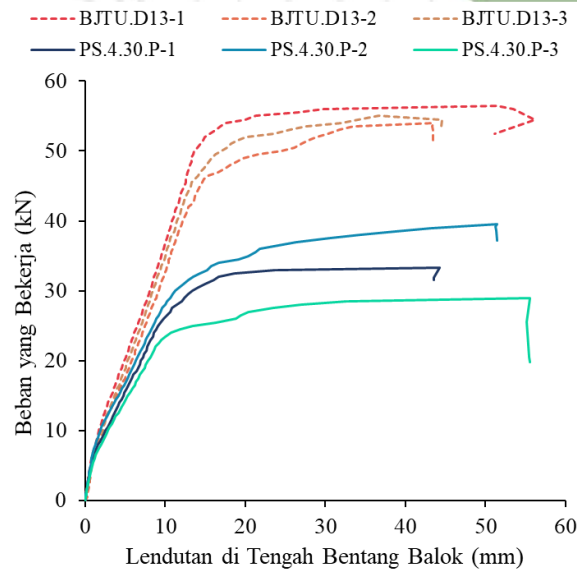
Nama Benda Uji	Beban Ultimit ($\times 10^3$ N)	Momen Eksperimen ($\times 10^3$ Nm)	Rata-rata Momen Eksperimen ($\times 10^3$ Nm)	Momen Teori ($\times 10^3$ Nm)	Indeks Kapasitas (M_{eksp}/M_{teori})	Rata-rata Indeks kapasitas
BJTU.D13-1	56,5	20,17	19,71	15,18	1,33	1,30
BJTU.D13-2	54,0	19,30		15,18	1,27	
BJTU.D13-3	55,0	19,65		15,18	1,29	
PS.4.30.P-1	33,3	12,05	12,27	5,44	2,23	2,26
PS.4.30.P-2	39,5	14,22		5,44	2,58	
PS.4.30.P-3	29,0	10,55		5,44	1,94	

Hubungan antara Beban dan Lendutan di Tengah Bentang

Hubungan antara beban dan lendutan di tengah bentang benda uji ditampilkan dalam Gambar 4 dan hasil lendutan saat leleh serta lendutan maksimum diringkas dalam Tabel 6. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa lendutan rata-rata benda uji BJTU.D13 saat tulangan tarik mengalami leleh adalah 13,27 mm. Saat beban ultimit tercapai, benda uji mengalami lendutan maksimum sebesar 43,82 mm. Benda uji PS.4.30.P mengalami lendutan sebesar 27,51 mm saat tulangan tarik mulai leleh. Ketika beban ultimit tercapai, lendutan maksimum di tengah bentang mencapai 50,41 mm. Dengan demikian, Benda uji PS.3.40.P menunjukkan lendutan yang lebih besar saat tulangan tarik mencapai leleh jika dibandingkan dengan benda uji BJTU.D13. Selaras dengan lendutan leleh, benda uji PS.4.30.P mengalami lendutan yang lebih besar dibandingkan BJTU.D13 saat beban ultimit tercapai.

Tabel 14. Lendutan saat leleh serta lendutan maksimum BJTU.D13 dan PS.4.30.P

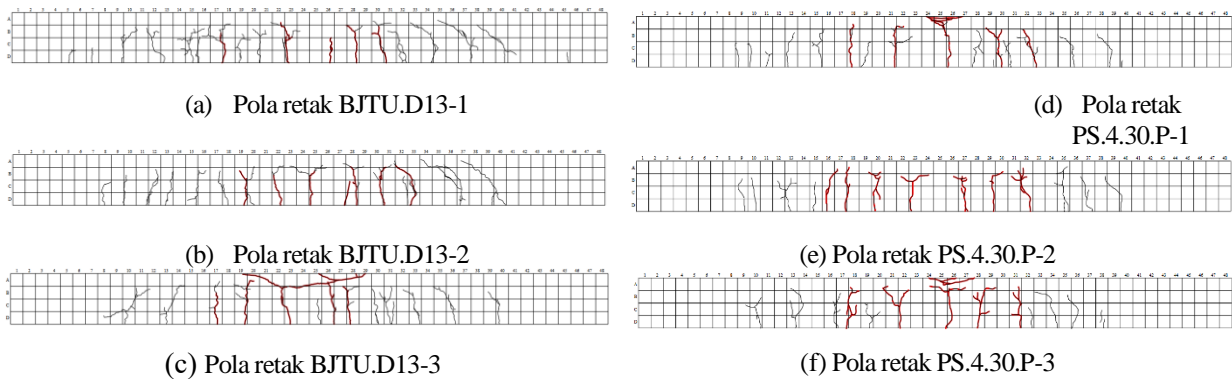
Nama Benda Uji	Lendutan saat Leleh (mm)	Rata-rata Lendutan saat Leleh (mm)	Lendutan Ultimit (mm)	Rata-rata Lendutan Ultimit (mm)
BJTU.D13-1	14,45	13,27	51,41	43,82
BJTU.D13-2	12,95		43,41	
BJTU.D13-3	12,43		36,65	
PS.4.30.P-1	23,62	27,51	44,29	50,41
PS.4.30.P-2	26,33		51,42	
PS.4.30.P-3	32,59		55,53	



Gambar 76. Hubungan Beban dan Lendutan di Tengah Bentang

Pola Retak dan Pola Keruntuhan

Pengamatan pola retak secara visual dilakukan pada sisi samping balok. Gambar 5 menunjukkan pola retak yang terbentuk pada benda uji BJTU.D13 dan benda uji PS.4.30.P saat menerima beban ultimit. Garis merah menunjukkan jalur retak utama yang mengakibatkan benda uji mengalami keruntuhan, sedangkan garis hitam menunjukkan jalur retak dengan lebar retak yang lebih kecil dibandingkan retak utama. Benda uji BJTU.D13 dan PS.4.30.P memiliki pola retak yang serupa di mana retak utama berkembang di sepertiga tengah bentang. Pada mulanya, retak yang terbentuk adalah retak lentur yang berkembang ke arah vertikal. Setelah mencapai daerah tekan, retak menjadi berkembang ke arah diagonal. Pada daerah ujung-ujung bentang, retak dengan lebar yang lebih kecil memiliki kecenderungan berkembang ke arah diagonal sejak fase awal pembebanan. Seluruh benda uji mengalami keruntuhan akibat retak utama yang berupa retak lentur. Dengan demikian, benda uji mengalami jenis keruntuhan lentur.



Gambar 77. Pola Retak saat Beban Ultimit

KESIMPULAN

Penelitian ini mengamati kinerja lentur balok beton dengan tulangan tarik longitudinal berupa baja pelat setrip. Pengujian dilakukan melalui *third-point loading test* pada balok dengan lebar 150 mm, tinggi 200 mm, dan panjang bentang bersih 2.100 mm. Baja tulangan ulir dengan diameter 13 mm sebagai tulangan tarik longitudinal digunakan sebagai pembanding tulangan longitudinal dengan material baja pelat setrip 4 mm × 30 mm. Setelah dilakukan pengujian, penelitian ini menghasilkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Benda uji balok dengan tulangan baja pelat setrip polos memiliki kapasitas momen yang lebih rendah dibandingkan balok dengan tulangan baja pelat setrip yang disebabkan oleh perbedaan mutu material, geometri penampang, dan lekatan baja pada beton. Walaupun demikian, balok dengan tulangan pelat setrip memiliki indeks kapasitas yang lebih tinggi dibandingkan balok dengan baja tulangan ulir.
2. Lendutan maksimum di tengah bentang balok dengan baja pelat setrip memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan balok dengan baja tulangan ulir.
3. Kedua benda uji balok dengan masing-masing jenis tulangan menghasilkan pola retak yang serupa saat beban ultimit tercapai. Retak utama berupa retak lentur yang kemudian berkembang menjadi retak diagonal setelah mencapai daerah tekan.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standardisasi Nasional, (2011), *Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974:2011)*. BSN, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, (2017), *Baja Tulangan Beton (SNI 2052:2017)*. BSN, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, (2017), *Cara Uji Tarik Logam (SNI 8389:2017)*. BSN, Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional, (2019), *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*. BSN, Jakarta.
- Fanella, D. A., (2016), *Reinforced Concrete Structures*. McGraw-Hill Education, New York.
- Imran, I. dan Zulkifli E., (2019), *Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*. ITB Press, Bandung.
- Kiatmetha, S., Brajak, M. T., Sujivorakul, C., Wijitsombat, S. (2018). *Factors Affecting on the Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Steel Plate*. Seminar HAKI 2018, Jakarta.
- Nawy, E. G., (2016), *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Refika Aditama, Bandung.
- Setiawan, A., (2016), *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Erlangga, Jakarta.
- Triwiyono, A., (2004), *Perbaikan dan Perkuatan Struktur Beton*. UGM Press, Yogyakarta.