

# PENGARUH SIRIP DIAGONAL PADA PELAT SETRIP SEBAGAI TULANGAN TARIK LONGITUDINAL BALOK BETON BERTULANG

Muhammad Yani Bhayusukma, Achmad Basuki, Ahya Khairunissa Wibowo

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta  
Jl. Ir. Sutami 36A, Surakarta, Jawa Tengah 57126. Telp: 0271-634524.

Email : [muhammadyani@staff.uns.ac.id](mailto:muhammadyani@staff.uns.ac.id)

## Abstract

When the cross-sectional area is the same, the moment inertia of a strip plate with a rectangular cross-section is greater than that of deformed reinforcement. This research uses strip plates as an alternative to conventional deformed reinforcing steel as longitudinal tensile bars in reinforced concrete beams. The specimens observed were reinforced concrete beams with dimensions of  $150 \times 200 \times 2400$  mm with variations of longitudinal tensile bars of  $4 \times 30$  mm strip plates with diagonal fins (PS.4.30.D) and 13 mm diameter deformed steel (BJTU.D13). When the longitudinal tensile bar yielded or the concrete ruptured at a strain of 0.003, the beams failed the third-point loading technique test for flexural strength. The results showed that the BJTU.D13's load, steel strain, and deflection parameters are greater than those of the PS.4.30.D. The crack patterns in both beams are flexural cracking and flexural shear cracking which are extensions of the previous flexural cracking. Flexural collapse, where the reinforcing steel yielded before the concrete broke, occurred in both beams. It can be inferred that PS.4.30.D beams perform better in terms of flexural performance because the flexural capacity index value, which is the ratio of the experimental bending moment to the theoretical bending moment, is higher than for BJTU.D13.

**Keywords:** bending capacity, longitudinal tensile reinforcement, reinforced concrete beam, steel plate strip.

## Abstrak

Pelat setrip merupakan material baja berbentuk potongan memanjang berpenampang persegi panjang, yang memiliki momen inersia lebih besar daripada tulangan berpenampang lingkaran ketika besar luas penampangnya sama. Penelitian ini menggunakan pelat setrip sebagai alternatif pengganti baja tulangan ulir konvensional pada tulangan tarik longitudinal balok beton bertulang. Benda uji yang diamati berupa balok beton bertulang berdimensi  $150 \times 200 \times 2400$  mm dengan variasi tulangan tarik longitudinal pelat setrip  $4 \times 30$  mm dengan sirip diagonal (PS.4.30.D) dan variasi baja ulir diameter 13 mm (BJTU.D13). Pengujian lentur balok dilakukan dengan metode *third-point loading* hingga balok mengalami kegagalan yang ditandai dengan lelehnya tulangan tarik longitudinal atau pecahnya beton pada regangan 0,003. Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter beban, regangan, dan lendutan pada benda uji BJTU.D13 nilainya lebih besar daripada PS.4.30.D. Pola retak pada kedua balok adalah retak lentur dan retak lentur geser yang merupakan perpanjangan dari retak lentur sebelumnya. Tipe keruntuhan pada kedua balok merupakan tipe keruntuhan lentur, di mana baja tulangan leleh sebelum beton pecah. Nilai indeks kapasitas lentur yang merupakan perbandingan dari momen lentur eksperimen dengan momen lentur teoritis pada PS.4.30.D nilainya lebih besar daripada BJTU.D13, sehingga dapat disimpulkan bahwa balok PS.4.30.D memiliki kinerja lentur yang lebih baik.

**Kata Kunci :** balok beton bertulang, kapasitas lentur, pelat setrip, tulangan tarik longitudinal.

## PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan zaman, industri konstruksi global terus berkembang dengan cepat. Bidang tertentu yang termasuk dalam perkembangan tersebut meliputi teknologi, material, maupun metode konstruksi yang digunakan. Pada bidang material, beton merupakan material yang paling penting dan banyak digunakan di bidang konstruksi (Ding dan Ning, 2023). Terlepas dari fakta bahwa beton adalah material yang paling umum digunakan dalam industri konstruksi, ia terus mengalami inovasi, terutama dalam hal material konstruksi (Utami, 2017; Ikomudin et al, 2016).

Beton merupakan material campuran yang terdiri dari semen portland atau hidrolis, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan campuran tambahan (SNI 2847:2019). Material beton bersifat getas dan dapat menahan kuat tekan dengan baik, tetapi lemah dalam menahan kuat tarik. Hal tersebut menjadi salah satu kelemahan dari beton. Oleh sebab itu, penggunaan beton dalam struktur bangunan selalu dikombinasikan dengan tulangan baja untuk memperoleh kinerja yang tinggi (Antoni dan Nugraha, 2007; Sutandi & Kushartomo, 2019). Kombinasi dari beton serta tulangan baja bekerja secara bersama-sama untuk memikul beban yang ada. Tulangan baja akan memberikan kuat tarik yang tidak dimiliki oleh beton (Setiawan, 2016). Beton bertulang adalah material komposit berupa material beton dengan tulangan batang baja yang menyatu dengan massanya (Toniolo dan Prisco, 2017; Ali

Asroni, 2017). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kedua material tersebut secara bersamaan dapat saling melengkapi kelebihan dan kekurangan masing-masing.

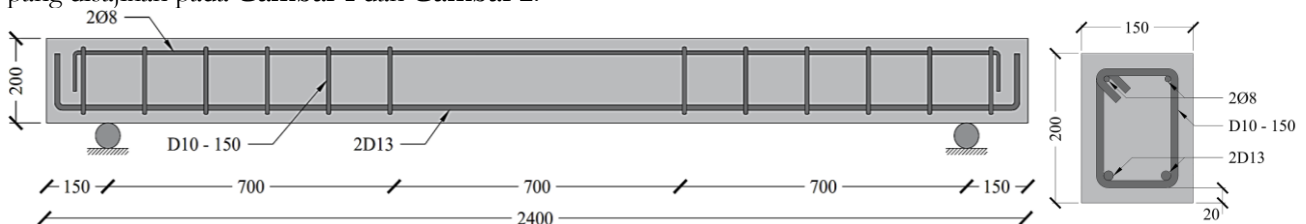
Umumnya, material pelat setrip digunakan sebagai material perkuatan eksternal pada beton bertulang. Namun pada penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait, baja pelat setrip digunakan sebagai perkuatan struktural. Penelitian Kiatmetha, dkk (2018) meneliti faktor-faktor yang mempengaruhi penguatan balok beton bertulang menggunakan pelat baja yang dipasang pada bagian bawah balok beton bertulang menggunakan angkur. Rakgate dan Dndu (2018) meneliti kekuatan dan daktilitas balok beton bertulang yang diperkuat pelat setrip di bagian bawah dengan variasi rasio lebar terhadap bermacam tebal. Sementara Rizkiansyah (2020), Ramadhan (2020), Mulyanto (2020) ketiganya melakukan penelitian serupa mengenai kinerja kuat geser balok beton bertulang menggunakan tulangan geser pelat setrip dengan berbagai variasi jarak. Belum ada penelitian terdahulu yang menggunakan pelat setrip sebagai tulangan tarik longitudinal, hal tersebut yang melatarbelakangi penelitian ini. Pelat setrip merupakan material baja berbentuk potongan memanjang berpenampang persegi panjang. Material baja yang dapat dipakai sebagai tulangan pada bangunan struktur beton bertulang non-prategang adalah baja tulangan ulir (SNI 2847:2019). Oleh sebab itu, material baja pelat setrip yang digunakan sebagai alternatif pengganti tulangan tarik longitudinal diberikan variasi sirip diagonal yang menyerupai ulir pada tulangan.

Penelitian ini mengkaji mengenai pengaruh pelat setrip 4 mm × 30 mm dengan sirip diagonal (PS.4.30.D) terhadap kapasitas momen lentur dibandingkan dengan tulangan baja ulir diameter 13 mm (BJTU.D13) sebagai tulangan tarik longitudinal pada balok beton bertulang. Parameter yang diamati meliputi kapasitas momen lentur, beban, regangan baja, lendutan, pola retak, dan tipe keruntuhan. Ukuran pelat setrip dipilih berdasarkan luas penampang yang mendekati baja ulir pada balok referensi tersebut. Studi mengenai pengaruh pelat setrip terhadap momen lentur belum pernah dilaksanakan sebelumnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kegagalan lentur yang dapat menyebabkan retak arah tegak lurus terhadap arah gaya tarik yang bekerja, sehingga material mengalami penurunan kekuatan yang signifikan. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi salah satu langkah kontribusi dalam perkembangan inovasi material dalam konstruksi, khususnya pada material baja tulangan.

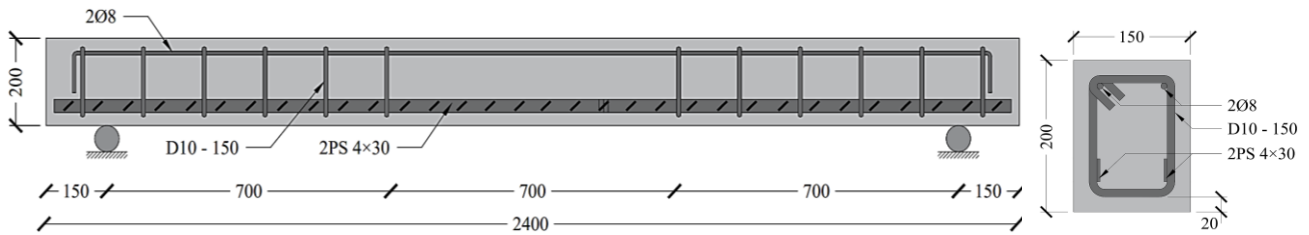
## METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental di laboratorium. Benda uji yang diamati berupa enam buah balok beton bertulang berdimensi 150 mm × 200 mm × 2400 mm dengan mutu beton rencana *ready-mix* ( $f'_c$ ) 25 MPa. Di mana 3 buah digunakan sebagai balok referensi dengan tulangan tarik longitudinal baja ulir dimensi 13 mm (BJTU.D13). Sementara pada 3 buah lainnya digunakan sebagai balok uji dengan tulangan tarik longitudinal baja pelat setrip 4 × 30 mm variasi sirip. Pada pembuatan beton, selain proses pencampuran perlu juga diperhatikan proses perawatan (*curing*) karena suhu memiliki peran yang cukup signifikan terhadap kinerja beton (Imran dan Zulkifli, 2019). Proses perawatan (*curing*) pasca pengecoran dilakukan rutin setiap pagi dan sore hari hingga umur beton mencapai 28 hari. *Curing* dilakukan dengan cara menyiram balok dengan air secara merata, kemudian ditutup dengan terpal untuk menjaga kestabilan suhu dan mencegah penyusutan benda uji.

Perbedaan antara balok uji dengan balok referensi terletak pada tipe tulangan tarik longitudinal yang digunakan. Sementara parameter-parameter lainnya sama, yaitu baja polos diameter 8 mm sebagai tulangan tekan longitudinal, baja ulir D10 berjarak 150 mm sebagai tulangan sengkang, jarak kedua tumpuan sebesar 2100 mm. Sketsa penampang disajikan pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.



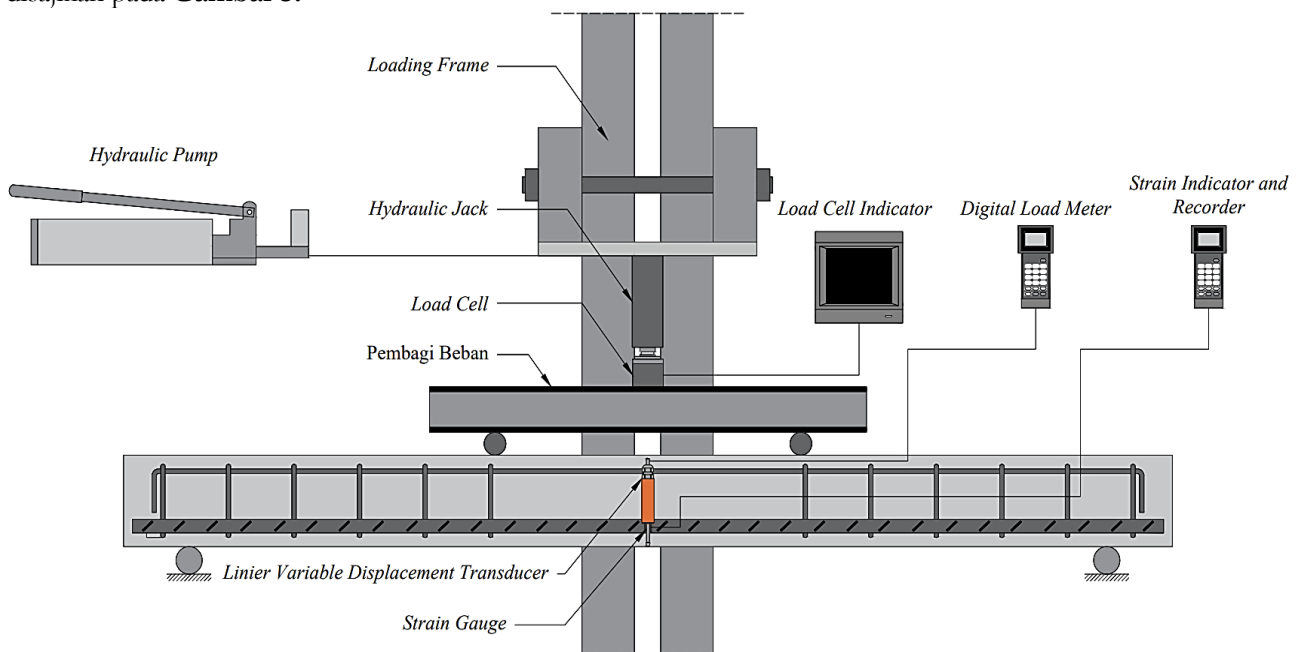
Gambar 1. Penampang Balok Referensi



Gambar 2. Penampang Balok Uji

### Pengujian Lentur Balok

Pengujian lentur balok menggunakan metode *third-point loading*. Parameter pengujian yang diamati saat pengujian lentur balok berupa besar beban, lendutan balok, dan regangan baja. Sketsa pengaturan alat pengujian kuat lentur disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sketsa Pengaturan Alat Pengujian Kuat Lentur

**Gambar 3.** di atas menunjukkan sketsa pengaturan alat pengujian kuat lentur di mana benda uji balok diletakkan di atas dua buah tumpuan dengan posisi melintang di atas *loading frame*. Batang distribusi beban dengan 2 tumpuan berjarak 700 mm di pasang tepat di atas benda uji balok tersebut. *Load cell* yang merupakan penyalur beban sekaligus medium pembaca beban dari *hidraulic jack* dipasang di atas batang distribusi beban. *Hydraulic jack* tersebut dihubungkan dengan *hydraulic pump* yang dapat mengendalikan beban yang tersalurkan. Sementara *load cell* akan dihubungkan dengan *load cell indicator* yang dapat membaca besar beban dari *hydraulic pump*. LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) sebagai alat pengukur lendutan balok dipasang di atas batang L yang terletak di tengah bentang balok. LVDT yang digunakan berjumlah 2 buah di pasang pada sisi barat dan sisi timur balok ketika pengujian. LVDT yang dipakai memiliki ketelitian 0,01 mm dengan masing-masing jangkauan pembacaan 100 mm dan 5 mm. LVDT dihubungkan dengan DLM (*Digital Load Meter*) yang berfungsi untuk membaca atau merekam lendutan pada balok. *Strain gauge* yang berfungsi untuk mengukur nilai regangan baja dipasang pada tulangan tarik longitudinal baja ulir D13 dan pelat setrip 4 × 30 mm sirip diagonal. *Strain gauge* tersebut disambungkan dengan alat P3 *strain indicator and recorder* yang dapat membaca nilai regangan baja di mana kemudian nilainya ditampilkan pada *software Micro-Measurements*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Uji Kuat Tarik Baja

Uji kuat tarik baja menggunakan alat *Universal Testing Machine* (UTM) yang mengacu pada SNI 8389:2017. Benda uji yang digunakan berupa baja ulir diameter 13 mm (TT.U) dan baja pelat setrip 4 mm × 30 mm (TT.PS.4.30) yang masing-masing berjumlah 3 buah. Hasil kuat tarik baja disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kuat Tarik Baja

No.	Kode Nama	Dimensi (mm)			Luas Penampang (mm <sup>2</sup> )	Beban Leleh (N)	Beban Maksimum (N)	Kuat Leleh (MPa)	Kuat Tarik (MPa)
		Dimensi	Lebar	Tebal					
1	TT.U-1	13	-	-	132,73	70.632	105.948	532,14	798,21
2	TT.U-2	13	-	-	132,73	70.632	105.948	532,14	798,21
3	TT.U-3	13	-	-	132,73	69.651	105.948	524,75	798,21
<b>Rata-rata</b>								529,68	798,21
4	TT.PS.4.30-1	-	30	4	120,00	35.512	48.069	295,94	400,58
5	TT.PS.4.30-2	-	30	4	120,00	35.708	48.265	297,57	402,21
6	TT.PS.4.30-3	-	30	4	120,00	36.101	48.069	300,84	400,58
<b>Rata-rata</b>								298,12	401,12

Berdasarkan **Tabel 2.** hasil pengujian kuat tarik di atas, kuat leleh dan kuat ultimit pada TT.U lebih besar dibandingkan TT.PS.4.30. Perbedaan nilai kuat leleh yang signifikan tersebut disebabkan oleh perbedaan mutu baja pada keduanya. Besar luas penampang pada ulir dan pelat setrip relatif hampir sama, sehingga perbedaan luas penampang tersebutlah yang menyebabkan pengaruh penggantian tulangan tarik longitudinal pada keduanya tidak dapat dibandingkan secara langsung. Perlu adanya normalisasi sehingga kinerja keduanya dapat diukur ketika memiliki kekuatan yang sama.

### Hasil Uji Slump

Uji *slump* dilakukan untuk mengetahui kecacakan beton yang merupakan ukuran kemudahan beton segar untuk dapat ditempatkan dan dipadatkan (Bhatt, dkk, 2014). Uji *slump* pada pengujian ini dilakukan 1 kali sebelum proses pengecoran beton *readymix* pada bekisting, di mana didapatkan nilai *slump* sebesar 18,5 cm. Nilai *slump* tersebut tidak memenuhi kriteria rencana, yaitu 8 – 12 cm. Hal ini disebabkan oleh beton *readymix* yang kemungkinan mengandung terlalu banyak air.

### Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Uji kuat tekan menggunakan alat CTM (*Compression Testing Machine*) yang mengacu pada SNI 1974:2011. Benda uji yang digunakan berupa beton silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm berumur 28 hari (CT.C28) yang berjumlah 3 buah. Hasil kuat tekan beton disajikan pada **Tabel 3.**

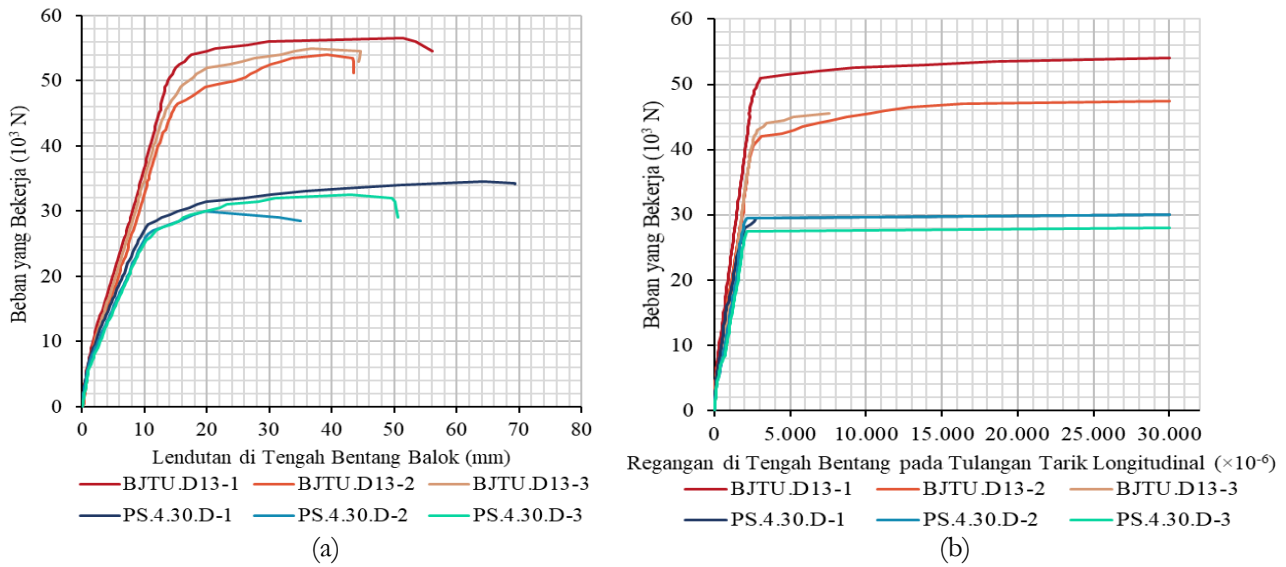
Tabel 3. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

Benda Uji	Umur (hari)	Massa Benda Uji (kg)	Dimensi (mm)		Luas Bidang (mm <sup>2</sup> )	Beban Tekan (kN)	Kuat Tekan (MPa)
			L	D			
CT.C28-1	28	11,905	300	150	17,671	410	23,201
CT.C28-2	28	11,845	300	150	17,671	335	18,957
CT.C28-3	28	11,710	300	150	17,671	340	19,240
<b>Rata-rata</b>							20,466

Berdasarkan **Tabel 3.** didapatkan nilai kuat tekan silinder beton rata-rata sebesar 20,466 MPa. Dimana nilai kuat tekan tersebut masih berada di bawah nilai kuat tekan rencana, yaitu 25 MPa. Penurunan nilai kuat tekan tersebut disebabkan oleh beton *readymix* yang kemungkinan mengandung terlalu banyak air. Ketika proses hidrasi antara air dan semen terjadi, air yang tidak bereaksi dengan semen akan menguap dan menjadi pori beton. Hal ini yang membuat kuat tekan beton menurun.

### Hasil Pembacaan Beban, Lendutan, dan Regangan

Pembacaan beban, lendutan, dan regangan baja pada balok dicatat setiap interval penambahan beban 0,5 kN hingga mencapai beban maksimum. Hasil uji kuat lentur berupa grafik hubungan beban dan lendutan serta grafik hubungan beban dan regangan pada benda uji BJTU.D13 dan PS.4.30.D disajikan pada **Gambar 4.**



Gambar 4. Grafik Hubungan Beban dan (a) Lendutan (b) Regangan

Berdasarkan grafik pada **Gambar 4.** dan **Gambar 5.** di atas, didapatkan hasil rekapitulasi pembacaan beban dan lendutan yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Pembacaan Beban dan Lendutan

Benda Uji	Beban Leleh (kN)	Rata-rata Beban Leleh (kN)	Lendutan saat Leleh (mm)	Rata-rata Lendutan saat Leleh (mm)	Beban Ultimit (kN)	Rata-rata Beban Ultimit (kN)	Lendutan Maksimum (mm)	Rata-rata Lendutan Maksimum (mm)
BJTU.D13-1	51,0		14,45		56,5		56,17	
BJTU.D13-2	42,0	43,5	12,95	13,27	54,0	55,2	43,49	48,06
BJTU.D13-3	43,0		12,43		55,0		44,53	
PS.4.30.D-1	29,5		14,12		34,5		69,33	
PS.4.30.D-2	29,5	28,8	17,75	14,94	30,0	32,3	34,97	51,64
PS.4.30.D-3	51,0		12,96		56,5		50,62	

Berdasarkan **Tabel 4.** di atas, dapat diketahui bahwa besar beban leleh pada balok BJTU.D13 lebih besar dibandingkan dengan PS.4.30.D. Hal tersebut selaras dengan hasil kuat leleh baja yang disajikan pada Tabel 2. Kuat leleh merupakan parameter yang berpengaruh terhadap kekakuan lentur dari elemen struktur. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kekakuan lentur BJTU.D13 lebih besar dibandingkan dengan PS.4.30.D. Sementara itu, dapat pula diketahui bahwa BJTU.D13 memiliki kemampuan untuk menahan beban ultimit yang lebih besar dibandingkan PS.4.30.D. Sementara besar lendutan saat leleh dan lendutan maksimum pada PS.4.30.D keduanya lebih besar dibandingkan BJTU.D13. Hal tersebut disebabkan oleh mutu baja pada tulangan ulir lebih tinggi dari mutu baja pelat setrip.

Tabel 5. Rekapitulasi Pembacaan Regangan

Benda Uji	Regangan Leleh Baja ( $\times 10^{-6}$ )	Rata-rata Regangan Leleh Baja ( $\times 10^{-6}$ )	Regangan Maksimum Baja ( $\times 10^{-6}$ )
BJTU.D13-1	3.021		> 30.000
BJTU.D13-2	3.080	2.973	> 30.000
BJTU.D13-3	2.818		10.052
PS.4.30.D-1	2.757		> 30.000
PS.4.30.D-2	2.120	2.341	> 30.000
PS.4.30.D-3	2.147		> 30.000

Berdasarkan **Tabel 5**. di atas, besar regangan leleh pada balok BJTU.D13 lebih besar dibandingkan PS.4.30.D. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ketika mencapai beban ultimit, balok PS.4.30.D memiliki perilaku yang lebih kaku dibandingkan dengan BJTU.D13. Hal tersebut ditandai dengan deformasi (nilai regangan) yang lebih kecil.

### Hasil Perhitungan Kinerja Lentur Balok

Perbandingan kinerja lentur BJTU.D13 dan PS.4.30.D dilakukan dengan meninjau momen lentur pada kedua balok tersebut. Nilai kinerja lentur didapatkan dengan membandingkan momen lentur tes dengan momen lentur teoritis pada setiap baloknya, yang disebut dengan indeks kapasitas. Perbandingan kinerja lentur balok BJTU.D13 dan PS.4.30.D disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Kinerja Lentur

Benda Uji	Meksperimen	M <sub>teoritis</sub>	$\frac{M_{eksperimen}}{M_{teoritis}}$	Rata-rata Indeks Kapasitas
BJTU.D13-1	20,17		1,33	
BJTU.D13-2	19,30	15,18	1,27	1,30
BJTU.D13-3	19,65		1,29	
PS.4.30.D-1	12,47		2,29	
PS.4.30.D-2	10,90	5,44	2,00	2,15
PS.4.30.D-3	11,77		2,17	

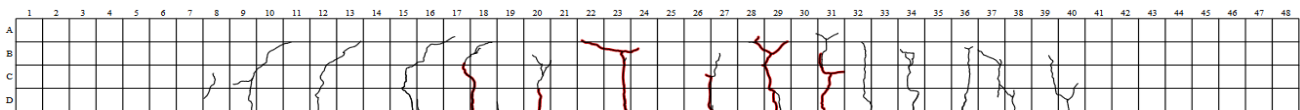
Berdasarkan **Tabel 6**. di atas, nilai rata-rata indeks kapasitas PS.4.30.D lebih besar dibandingkan dengan BJTU.D13. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan baja pelat setrip sirip diagonal 4 × 30 mm sebagai alternatif pengganti baja tulangan tarik longitudinal baja ulir D13 pada balok beton bertulang terbukti memiliki kinerja yang lebih baik dan dapat meningkatkan kapasitas lentur pada balok beton bertulang.

### Hasil Pola Retak

Pola retak yang diharapkan dapat dicapai ketika runtuh adalah keruntuhan lentur yang berbentuk retak vertikal dari bagian tarik menuju tekan balok. Selama proses pembebanan, pola retak yang terbentuk digambarkan pada kedua bagian kiri dan kanan balok setiap interval penambahan beban 2 kN hingga mengalami keruntuhan. Pola retak berwarna merah merupakan retak utama, sedangkan retak berwarna hitam adalah retak serabut. Hasil pola retak dari 3 balok pada setiap variasi BJTU.D13 dan PS.4.30.D menunjukkan pola yang setipikal. Berikut salah satu hasil pola retak pada BJTU.D13 dan PS.4.30.D yang disajikan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.

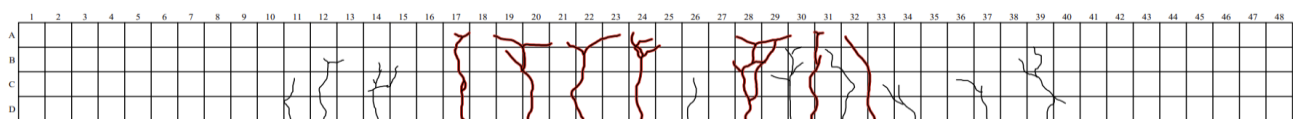


(a)

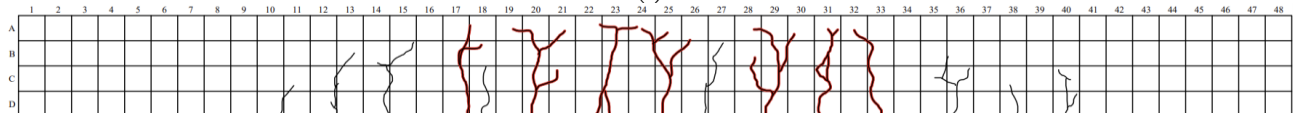


(b)

Gambar 4. Pola Retak BJTU.D13-1 (a) Bagian Barat (b) Bagian Timur



(a)



(b)

Gambar 5. Pola Retak PS.4.30-1 (a) Bagian Barat (b) Bagian Timur

Berdasarkan pola retak yang tergambarkan pada setiap benda uji, didapatkan data retak pertama dan jenis retak yang terbentuk. Retak yang terbentuk pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**, adalah retak lentur di bagian tengah bentang balok yang menjulur dari bagian tarik menuju bagian tekan balok. Seiring dengan penambahan beban, pola retak lentur ikut mengalami penambahan panjang dan jumlah. Retak lentur-geser arah diagonal yang merupakan perpanjangan dari retak lentur sebelumnya pun juga terbentuk.

### Jenis Keruntuhan Balok

Menurut Nawy (2016), terdapat 3 jenis kegagalan balok. Keruntuhan lentur disebabkan oleh tegangan geser kecil dan tegangan lentur yang sangat dominan, di mana ditandai dengan timbulnya retak utama yang tegak lurus terhadap arah tegangan utama di sepertiga tengah bentang. Keruntuhan tarik diagonal disebabkan kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil daripada kekuatan lenturnya yang ditandai dengan munculnya retak-retak vertikal halus di tengah bentang lalu diikuti dengan rusaknya lekatan antara baja tulangan dengan beton di sekitarnya di perletakan. Sementara keruntuhan geser tekan ditandai dengan munculnya retak lentur halus vertikal pada tengah bentang yang kemudian terbentuk retak miring curam yang terus merambat hingga sumbu netral diikuti pecahnya beton pada sisi tekan. Jenis keruntuhan yang diharapkan dapat dicapai adalah keruntuhan lentur yang ditandai dengan runtuhnya balok akibat retak lentur. Keruntuhan tersebut terjadi ketika mencapai nilai beban maksimum, tulangan baja sudah leleh sebelum beton pecah (belum mencapai regangan maksimum = 0,003), yaitu ketika nilai regangan tarik baja lebih besar dibandingkan regangan leleh baja ( $\epsilon_s > \epsilon_y$ ). Jenis keruntuhan pada setiap balok disajikan pada **Tabel 7**.

Tabel 7. Jenis Keruntuhan Balok

Benda Uji	Beban Maksimum(kN)	Beban saat Tulangan Leleh (kN)	Jenis Keruntuhan
BJTU.D13-1	56,5	51,0	Keruntuhan Lentur
BJTU.D13-2	54	42,0	Keruntuhan Lentur
BJTU.D13-3	55	43,0	Keruntuhan Lentur
PS.4.30.D-1	34,5	29,5	Keruntuhan Lentur
PS.4.30.D-2	30	29,5	Keruntuhan Lentur
PS.4.30.D-3	32,5	27,5	Keruntuhan Lentur

**Tabel 7**, di atas menunjukkan bahwa pada setiap jenis balok, besar beban saat tulangan baja tarik longitudinal leleh lebih kecil dibandingkan beban maksimumnya. Hal tersebut menandakan bahwa tulangan tarik longitudinal baja telah mengalami leleh sebelum beton pecah pada beban maksimum. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setiap jenis balok mengalami keruntuhan lentur, sesuai dengan target yang ingin dicapai.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental yang dilakukan di Laboratorium, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Kapasitas lentur BJTU.D1) lebih tinggi dibandingkan dengan PS.4.30.D, di mana besar kapasitas lentur ultimit BJTU.D13 adalah 19,71 kNm; sedangkan pada PS.4.30.D sebesar 11,71 kNm. Perbedaan mutu baja tulangan pada keduanya menyebabkan harus dilakukannya normalisasi indeks kapasitas dengan cara membandingkan kapasitas lentur pengujian dengan kapasitas lentur teoritis. Didapatkan nilai indeks kapasitas lentur pada BJTU.D13 sebesar 1,30; sedangkan pada PS.4.30.D sebesar 2,15. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan tulangan tarik longitudinal pelat setrip sirip diagonal berukuran 4 mm × 30 mm dapat meningkatkan kapasitas lentur balok dibandingkan dengan baja ulir diameter 13 mm.
2. Besar lendutan pada BJTU.D13 yaitu 48,06 mm lebih kecil dibandingkan dengan PS.4.30.D yang nilainya sebesar 51,64 mm. Berbanding terbalik dengan lendutan, besar beban ultimit pada BJTU.D13 yaitu 55,20 kN lebih besar dari PS.4.30.D yang nilainya sebesar 32,30 kN.
3. Pola retak yang terbentuk cenderung menghasilkan retak lentur pada bagian tengah bentang beton yang menjulur dari bagian tarik menuju bagian tekan balok. Terbentuk pula letak lentur-geser arah diagonal dari perpanjangan retak lentur sebelumnya pada bagian tekan beton.

## REKOMENDASI

Guna meningkatkan bobot kualitas penelitian serupa di masa yang akan datang, sehingga meningkatkan akurasi hasil pengujian, perlu adanya saran yang membangun. Adapun beberapa saran tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pengujian *slump* pada beton segar setidaknya dilakukan tiga kali pada saat awal, tengah, dan akhir proses pengecoran agar dapat diketahui nilai *slump* rata-rata beton segar pada saat pengecoran.
2. Menggunakan LVDT yang sesuai dengan ukuran benda uji sehingga pengukuran lendutan dapat dilakukan dengan lebih efisien dan menghasilkan pembacaan yang lebih akurat. LVDT dengan jangkauan 5 mm terbukti kurang sesuai digunakan untuk benda uji penelitian ini.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang terlibat dan turut membantu dalam keberjalanan dan kelancaran penelitian ini.

## REFERENSI

- Badan Standarisasi Nasional, 2011, “*Cara Uji Kuat Tekan Beton dengan Benda Uji Silinder (SNI 1974:2011)*”. BSN, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2017, “*Cara Uji Tarik Logam (SNI 8389:2017)*”. BSN, Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2019, “*Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*”. BSN, Jakarta.
- Bhatt, P., MacGinley T. J., Choo B. S., 2014, “*Reinforced Concrete Design to Eurocodes Design Theory and Examples*”. CRC Press, Boca Raton.
- Ding, Y., and Ning X., 2023, “*Reinforced Concrete: Basic Theory and Standards*”. Science Press and Springer Nature Singapore, Singapura.
- Ikomudin, R., Herbudiman, B., & Irawan, R. (2016). Ketahanan Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash terhadap Sulfat dan Klorida (Hal. 33-43). , 2, 33. <https://doi.org/10.26760/rekaracana.v2i4.33>.
- Imran, I., and Zulkifli E, 2019, “*Perencanaan Dasar Struktur Beton Bertulang*”. ITB Press, Bandung.
- Ir Ali Asroni, M. T. (2017). Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang: Berdasarkan SNI 2847-2013. Muhammadiyah University Press.
- Kiatmetha, S., Sujivorakul, C., Brajak Marshelius, T., & Wijitsombat, S., 2018, “*Factors Affecting on the Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Steel Plate*”.
- Mulyanto, R. A., 2020, “*Kinerja Kuat Geser Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Senggang Pelat Strip*”. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Program Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Nawy, E. G., 2016, “*Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*”. Refika Aditama, Bandung.
- Nugraha P. dan Antoni, 2007, “*Teknologi Beton*”. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Rakgate, S. M., dan Dundu, M., 2018, “*Strength and ductility of simple supported R/C beams retrofitted with steel plates of different width-to-thickness ratios*”. Engineering structures, 157, 192-202
- Ramadhan, M. F., 2020, “*Studi Eksperimental Kinerja Geser Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Geser Pelat Strip Dan Tulangan Konvensional*”. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Program Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Rizkiansyah, D., 2020, “*Pengaruh Senggang Terhadap Kinerja Geser Balok Beton Bertulang dengan Tulangan Geser Plat Strip*”. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Program Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Setiawan, A., 2016, “*Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*”. Erlangga, Jakarta.
- Sutandi, A., & Kushartomo, W. (2019). PENGARUH UKURAN BUTIRAN MAKSIMUM TERHADAP KUAT TEKAN REACTIVE POWDER CONCRETE. Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran dan Ilmu Kesehatan. <https://doi.org/10.24912/jmstkik.v3i1.5193>.
- Toniolo, G. and Prisco, M., 2017, “*Reinforced Concrete Design to Eurocode 2*”. Springer International Publishing, Milan.
- Utami, R., Herbudiman, B., & Irawan, R. (2017). Efek Tipe Superplasticizer terhadap Sifat Beton Segar dan Beton Keras pada Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash. , 3, 59. <https://doi.org/10.26760/REKARACANA.V3I1.59>.