

Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis Tipe *Cold Forged Sleeve With Parallel Threads*

Bayu Setya Rahmayuda², Jafar¹✉

¹Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.26623/87cpvk81>

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Disubmit : 2024-09-25

Direvisi : 2025-01-30

Disetujui : 2025-03-01

Keywords: *Balok Beton Bertulang*

Abstrak

Baja tulangan umumnya memiliki panjang 12 meter, sehingga jika diperlukan lebih dari itu, harus disambung menggunakan metode seperti sambungan lewatan (lap splice), sambungan las, atau sambungan mekanis. Penelitian ini membandingkan nilai momen lentur balok beton bertulang tanpa sambungan, dengan sambungan lewatan, dan dengan sambungan mekanis tipe Cold Forged sleeve with Parallel Threads (CFSPT), untuk menilai performa setiap metode sambungan. Penelitian ini menggunakan benda uji balok berukuran 200 x 20 x 40 cm dengan mutu beton rencana f_c 25 MPa. Pengujian kuat lentur menghasilkan nilai Momen nominal balok normal sebesar 85,209 kNm, balok dengan sambungan lewatan sebesar 92,952 kNm, dan balok dengan sambungan coupler CFSPT sebesar 82,305 kNm. Berdasarkan nilai Momen nominal percobaan, balok dengan sambungan lewatan memiliki nilai tertinggi sedangkan balok dengan sambungan coupler memperoleh nilai terendah. Lendutan yang dihasilkan dari balok normal cenderung lebih tinggi dibandingkan balok dengan sambungan lewatan dan balok sambungan coupler CFSPT yaitu sebesar 72,522 mm. Lendutan maksimal yang dihasilkan balok sambungan lewatan dan balok sambungan coupler berturut-turut sebesar 44,876 mm dan 40,191 mm. Nilai daktilitas balok normal, balok sambungan lewatan, dan balok sambungan coupler berturut-turut sebesar 5,949; 3,257; 4,550.

Abstract

Steel rebar is generally 12 meters in length, so if more than that is required, it must be joined using methods such as lap splice, welded splice, or mechanical splice. This study compares the flexural strength of reinforced concrete beams without splice, with lap splice, and with Cold Forged sleeve with Parallel Threads (CFSPT) type mechanical splice, to assess the performance of each splice method. The study used beam specimens measuring 200 x 20 x 40 cm with a planned concrete quality f_c 25 MPa. Flexural strength testing resulted in a nominal moment value of 85.209 kNm for the normal beam, 92.952 kNm for the skip beam, and 82.305 kNm for the coupler beam. Based on the nominal moment value of the experiment, the lap splice beam has the highest value and the coupler connection beam has the lowest value. The resulting deflection of the normal beam tends to be higher than that of the lap splice beam and the coupler beam, which is 72.522 mm. While the maximum deflection produced by the lap splice beam and coupler beams is 44.876 mm and 40.191 mm, respectively. The ductility values of the normal beam, lapslice beam, and coupler beam were 5.949; 3.257; 4.550, respectively.

✉ Alamat Korespondensi:

E-mail: jafar@uii.ac.id

PENDAHULUAN

Beton bertulang merupakan perpaduan antara beton dengan baja tulangan. Kedua bahan tersebut mempunyai sifat dengan kepentingan yang berbeda. Beton memiliki sifat kuat terhadap beban tekan tetapi mudah patah terhadap beban tarik. Baja tulangan memiliki sifat utama dapat menahan beban tarik. Dengan kombinasi kedua bahan tersebut beton bertulang menjadi satu kesatuan komposit yang mampu menahan beban tekan dan beban tarik (Asroni, 2017). Umumnya balok beton bertulang memiliki kombinasi dan ukuran tulangan yang beragam. Dengan kombinasi tulangan yang baik, beton bertulang dapat menahan beban lentur dengan maksimal.

Dalam dunia konstruksi, panjang baja tulangan yang dibutuhkan tentu bervariasi sesuai dengan panjang elemen struktur beton bertulang yang dikerjakan. Baja tulangan yang dijual di pasaran memiliki ukuran beragam. Rata-rata panjang baja tulangan yang dijual di pasaran berukuran 12 meter. Jika keperluan baja tulangan pada proyek pembangunan lebih dari 12 meter maka dibutuhkan sambungan untuk dapat memenuhi ukuran yang direncanakan (Mabrouk & Mounir, 2018; Tarabia et al., 2016).

Sambungan merupakan salah satu pekerjaan yang penting pada struktur dalam mentransfer gaya dan tegangan. Sambungan juga berfungsi sebagai penghubung disipasi energi antara komponen yang disambung (Aurick & Sutandi, 2018). Sambungan pada tulangan harus direncanakan secara cermat peletakan dan pengaplikasiannya. Apabila terjadi kesalahan pada pemasangan sambungan maka akan berpengaruh terhadap kekuatan elemen struktur. Baja tulangan dapat disambung dengan tiga metode, yaitu metode sambungan lewatan (*lap-splice*), sambungan las (*welded-splice*), dan sambungan mekanis (*mechanical-splice*) (Ambarwati & Jafar, n.d.; Sulastri, 2020).

Sambungan lewatan (*Lap Splice*) adalah metode sambungan yang digunakan untuk menggabungkan dua ujung batang tulangan dengan panjang tertentu (Kheyroddin et al., 2020). Teknik ini melibatkan penyatuan dan pengikatan kedua ujung batang tulangan menggunakan kawat bendrat. Panjang lewatan berbeda-beda dan disesuaikan pada ukuran baja tulangan itu sendiri (Dahal & Tazarv, 2020). Menurut SNI 2847: 2019, sambungan tulangan wajib mengikuti seluruh ketentuan kombinasi beban terfaktor.

Selain sambungan lewatan, sambungan mekanis juga kerap digunakan untuk sambungan tulangan. Dalam SNI 2847:(2019) pasal 10.7.5 sambungan mekanis, sambungan las (*butt welded*), dan sambungan tumpuan ujung diperbolehkan. Sambungan mekanis merupakan metode penyambungan baja tulangan dengan menggunakan elemen mekanis seperti baut, mur, penjepit dan sejenisnya. Di pasaran, jenis alat perangkai yang tersedia juga bermacam-macam tergantung kebutuhan, seperti *Threaded Steel Coupler* (TST), *Taper Threaded Steel Coupler* (TTST), *Bar Splice Double Barrel* (BSDB), *Steel Coupling Sleeve with Wedge* (SCSW), *Cold Swaged Steel Coupling Sleeve* (CSSCS), dan *Cold Forged sleeve with Parallel Threads* (CFSPT), dll.

Penelitian ini meninjau kuat lentur balok beton bertulang dengan tiga konfigurasi berbeda, yaitu balok beton bertulang tanpa sambungan, balok beton bertulang dengan sambungan lewatan, dan balok beton bertulang dengan sambungan mekanis *coupler* tipe *Cold Forged Sleeve with Parallel Threads* (CFSPT). Tipe CFSPT dikatakan dapat menahan gaya tarik yang baik karena dalam ACI 439.3R-91 tipe ini termasuk dalam kategori *coupler* tekan dan tarikan, sehingga peneliti mencoba membandingkan performa dengan sambungan lewatan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimentasi laboratorium untuk memperoleh data. Penelitian ini membandingkan 3 jenis balok beton bertulang yaitu balok dengan tulangan utuh (tanpa sambungan), balok dengan sambungan lewatan, dan balok dengan sambungan metode mekanis tipe

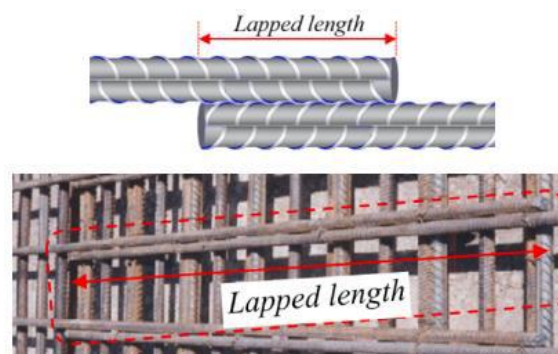
CFSPT. Sampel balok beton bertulang yang disiapkan berukuran 200 x 20 x 40 cm dengan konfigurasi tulangan di sisi bawah (tarik) berdiameter 16 mm ulir (D16) sebanyak dua buah dan tulangan di sisi atas (tekan) berdiameter 10 mm polos (P10). Untuk tulangan sengkang, digunakan tulangan berdiameter 8 mm polos (P8) dengan jarak jarak 100 mm. Nilai kuat tekan beton rencana (f_c) untuk semua sampel adalah 25 MPa dan kuat leleh (f_y) tulangan adalah 420 MPa untuk untuk tulangan ulir dan 280 MPa untuk tulangan polos.

Metode sambungan lewatan mengacu pada SNI 2847:2019 dimana sambungan menggunakan baja tulangan yang diletakkan sejajar dan bersentuhan (*contacted*) dengan panjang tertentu lalu diikat dengan kawat bendrat. Ilustrasi sambungan lewatan lihat gambar 1. Dalam SNI 2847:2019 mengatur panjang penyaluran pada kondisi tarik dengan ukuran tulangan ulir dibawah D19 dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\ell_d = \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c}} db \quad (1)$$

dengan,

- db = Diameter baja tulangan (mm)
- ℓ_d = Panjang penyaluran
- f_y = Nilai kuat leleh tulangan (MPa)
- f_c = Nilai kuat tekan beton (MPa)
- Ψ_t = Faktor untuk posisi pengecoran
- Ψ_e = Faktor untuk pelapis epoksi
- λ = Faktor untuk jenis beton



Gambar 1. Sambungan lewatan kontak

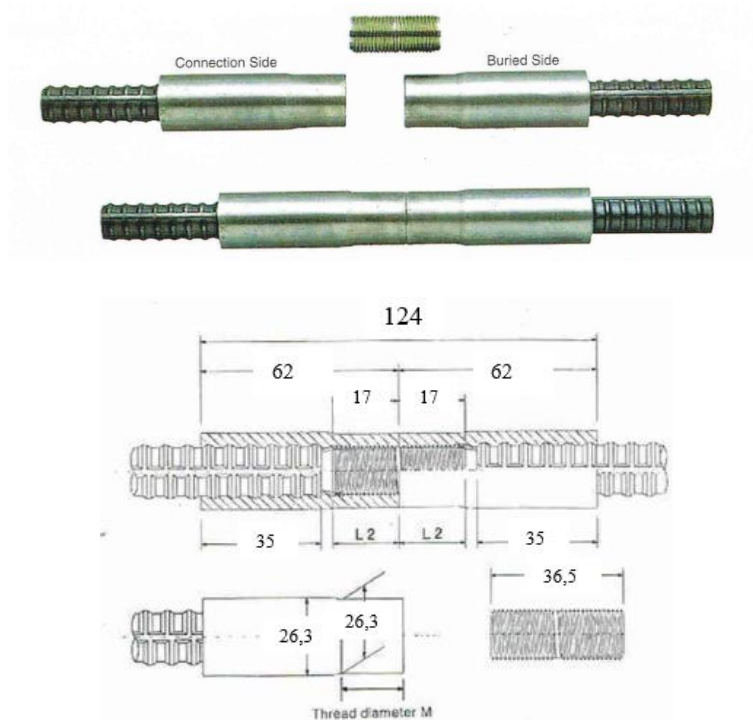
Perhitungan panjang penyaluran yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut:

Panjang penyaluran dihitung berdasarkan persamaan (1) dengan variabel yang sudah ditentukan yaitu:

- f_y = 420 MPa
- f_c = 25 MPa
- db = 16 mm
- λ = 1
- Ψ_t = 1
- Ψ_e = 1

Dengan data seperti tertulis di atas, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan panjang penyaluran yang dibutuhkan. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai panjang lewatan yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 640 mm.

Tipe sambungan mekanis yang dipilih pada eksperimen ini adalah *Cold Forged Sleeve With Parallel Threads* (CFSPT). Coupler ini menggunakan sistem gabungan antara sistem pres dan sistem ulir. Baja tulangan akan dipres di kedua ujung coupler dan antar coupler akan dihubungkan dengan sistem ulir. Coupler yang digunakan didapat dari PT Fuji Bolt Indonesia. Bentuk dan detail *coupler* CFSPT yang digunakan tertera pada Gambar 2.

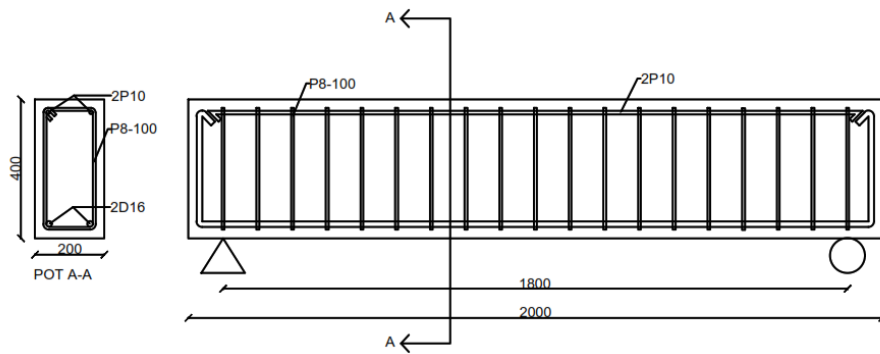


Gambar 2. Detail Coupler Tipe *Cold Forged Sleeve With Parallel Threads*

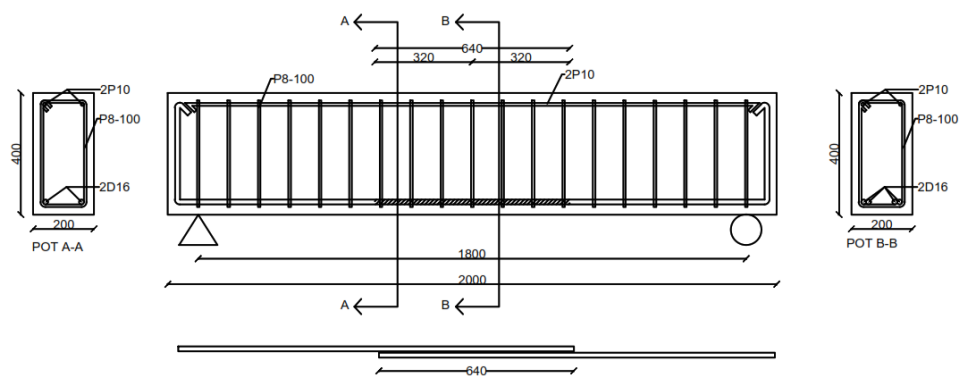
Benda uji yang digunakan yaitu Balok berukuran 200 x 20 x 40 cm berjumlah tiga buah dengan detail masing-masing variasi dapat dilihat pada Tabel 1. Pada saat pengecoran diambil sampel silinder untuk mengetahui mutu kuat tekan beton. Curing yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan karung goni yang dibasahi hingga mencapai umur beton yang direncanakan. Pengujian dilakukan saat beton berumur 28 hari. Adapun ilustrasi benda uji balok yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

Tabel 1. Variasi Benda Uji Balok Beton Bertulang

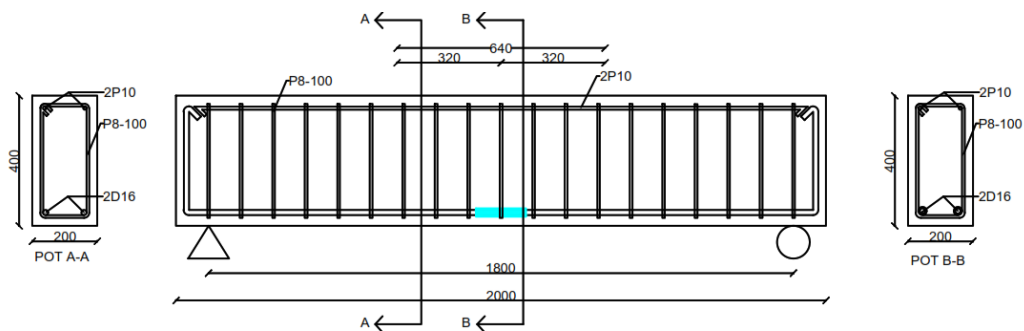
Benda Uji	Detil Pemasangan Tulangan		Jenis Sambungan Tulangan Tarik
	Tulangan Pokok	Tul. Transversal	
RCB-N	Atas 2P10	P8-100	Tanpa Sambungan
	Bawah 2D16		
RCB-LS	Atas 2P10	P8-100	Lewatan (<i>Lap Splice</i>)
	Bawah 2D16		
RCB-CFSPT	Atas 2P10	P8-100	<i>Coupler</i> CFSPT
	Bawah 2D16		



Gambar 3. Detil Penulangan Balok RCB-N

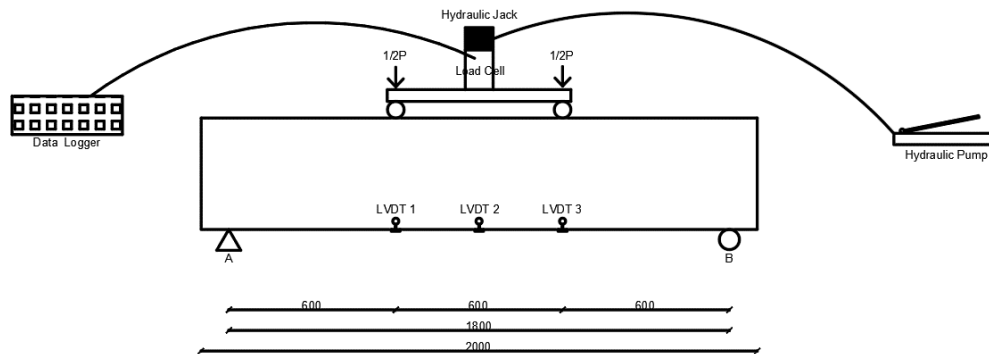


Gambar 4. Detil Penulangan Balok RCB-LS



Gambar 5. Detil Penulangan Balok RCB-CFSPT

Pengujian balok pada saat umur 28 hari dengan mekanisme uji menggunakan *Frame Load Hydraulic Pump* dengan kapasitas 50 ton. Pengujian dilakukan dengan dua titik beban. Beban ditempatkan menjadi 2 titik beban terpusat dengan jarak $1/3$ bentang tumpuan. Terdapat LVDT sebanyak 3 titik untuk mengukur lendutan yang terjadi. Ilustrasi pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Setup Pengujian Kuat Lentur Balok

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Kuat Leleh Baja Tulangan

Pengujian tarik baja tulangan dilakukan untuk mengetahui nilai kuat leleh baja tulangan yang akan digunakan, khususnya tulangan D16 yang digunakan sebagai tulangan tarik. Baja tulangan yang diuji adalah baja tulangan utuh (tanpa coupler) dan baja tulangan sambungan *coupler* CFSPT. Hasil pengujian laboratorium menunjukkan nilai kuat leleh (f_y) sebesar 480,24 MPa dan nilai kuat tarik (f_u) sebesar 661,27 MPa untuk tulangan utuh. Untuk tulangan yang disambung dengan coupler CFSPT, diperoleh nilai kuat leleh (f_y) sebesar 453,84 MPa dan nilai kuat tarik (f_u) sebesar 651,21 MPa. Rekapitulasi hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil pengujian baja tulangan dengan sambungan dengan sambungan *coupler* tipe CFSPT memiliki perilaku yang sama seperti baja tulangan normal. Kerusakan yang dialami oleh baja tulangan dengan sambungan coupler terletak di luar *coupler*. Hal ini menunjukkan titik lemah pada besi yang disambung dengan coupler CFSPT bukan pada bagian yang disambung. Adapun baja tulangan setelah pengujian dapat dilihat pada Gambar 7 (a) dan (b).

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Leleh dan Tarik Baja Tulangan

Sampel	P_y (kgf)	P_u (kgf)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Baja Tulangan D16	9550	13150	480,24	661,27
Baja Tulangan D16 dengan sambungan coupler	9025	12950	453,84	651,21



(a) Normal



(b) Dengan Coupler Tipe CFSPT

Gambar 7. Baja Tulangan Setelah Pengujian Tarik

Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton

Pengujian kuat tekan silinder beton dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan beton saat usia 28 hari. Hasil uji tekan benda uji silinder tidak mencapai nilai yang direncanakan. Hal ini disebabkan pada saat pengecoran material seperti pasir dan kerikil tidak sepenuhnya pada kondisi *Saturated Surface Dry* (SSD) namun cenderung agak basah. Hal ini ditunjukkan dengan nilai slump yang dihasilkan sebesar 14 cm. Dari hasil pengujian didapatkan nilai kuat tekan pada balok normal sebesar 22,52 MPa, balok sambungan lewatan sebesar 20,02 MPa, dan balok sambungan coupler sebesar 20,09 MPa. Rekapitulasi hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tekan

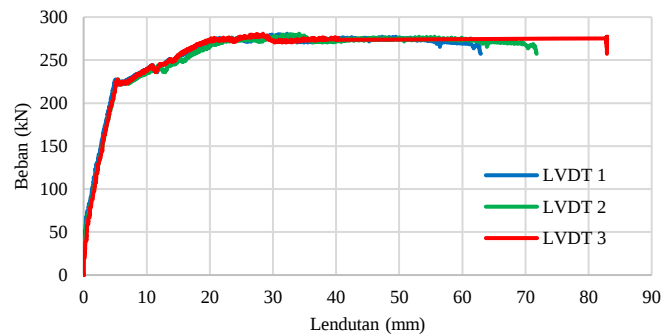
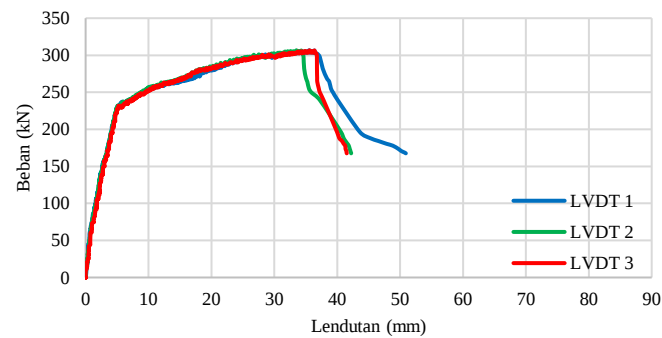
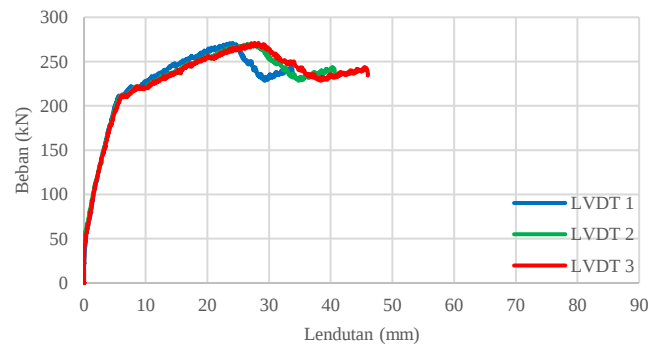
Sampel		Diameter Silinder (mm)	Luas Permukaan Silinder (mm ²)	Beban (kN)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan Rerata (MPa)
C-RCB-N	1	150,78	17856,51	383,07	21,45	22,52
	2	152,23	18200,00	393,37	21,61	
	3	150,07	17687,17	433,25	24,50	
C-RCB-LS	1	151,80	18098,12	344,86	19,06	20,02
	2	150,77	17852,56	362,89	20,33	
	3	151,85	18110,04	374,43	20,68	
C-RCB-CFSPT	1	152,47	18257,43	347,1	19,01	20,09
	2	149,70	17600,84	359,7	20,44	
	3	150,28	17738,28	369,4	20,83	

Pengujian Pembebanan Balok Beton Bertulang

Pengujian pembebanan dilakukan untuk mendapatkan nilai beban dan lendutan yang dialami oleh benda uji balok beton bertulang. Dalam pengujian beban diukur oleh load cell dan lendutan diukur oleh LVDT kemudian disalurkan ke data logger untuk pencatatan hasil pengujian. Nilai beban maksimum serta nilai lendutan balok beton bertulang disajikan dalam Tabel 4. Grafik hubungan antara beban dan lendutan dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pengujian Balok Beton Bertulang

Sampel	Nilai Beban Maksimum	Nilai Lendutan (mm)		
	(kN)	LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3
RCB-N	280,728	62,905	71,757	82,905
RCB-LS	306,684	50,905	42,214	41,511
RCB-CFSPT	271,152	33,868	40,678	46,028

**Gambar 8.** Grafik Beban VS Lendutan pada Balok RCB-N**Gambar 9.** Grafik Beban VS Lendutan pada Balok RCB-LS**Gambar 10.** Grafik Beban VS Lendutan pada Balok RCB-CFSPT

Dari hasil Tabel 4. didapatkan beban maksimum terbesar terdapat pada balok sambungan lewatan diikuti balok normal dan balok sambungan coupler. Balok normal memiliki nilai lendutan paling baik dibanding balok dengan sambungan lewatan dan balok dengan sambungan coupler. Balok sambungan lewatan tidak memiliki lendutan yang baik karena ada indikasi slip pada sambungannya. Hal ini ditunjukkan setelah beban maksimum terjadi penurunan beban seketika. Risiko slip tulangan pada balok sambungan lewatan mengakibatkan nilai lendutan tidak maksimal. Menurut Ginting et al. (2010), mutu beton memiliki pengaruh terhadap lekatan antara beton dan tulangan. Beton dengan

nilai f_c yang lebih tinggi akan menghasilkan lekatan yang lebih baik dibandingkan dengan beton dengan nilai f_c yang lebih rendah.

Balok sambungan coupler tidak menghasilkan beban maksimum yang baik dikarenakan terjadi keruntuhan geser pada balok. Keruntuhan geser dapat dilihat pada Gambar 11. Penyebab hal ini terjadi dikarenakan beberapa faktor seperti mutu beton yang tidak sesuai rencana yaitu f_c 25 MPa dan mutu baja melebihi rencana yaitu diatas 420 MPa.



Gambar 11. Keruntuhan Geser pada Balok Sambungan Coupler

Momen Lentur Teoritis

Momen lentur teoritis dapat dihitung menggunakan rumus analitik berdasarkan data propertis material yang didapatkan dari uji laboratorium. Data propertis yang dimaksud yaitu dimensi penampang balok berukuran, dimensi tulangan tarik (D16) dan tulangan tekan (P10), nilai kuat tekan beton (f_c) hasil pengujian (lihat tabel 3), nilai kuat leleh tulangan (f_y) hasil pengujian (lihat tabel 2), dan tebal selimut beton. Dari hasil perhitungan analitik menggunakan data propertis yang diketahui, didapatkan nilai momen lentur teoritis (M_n) untuk balok normal (RCB-N) sebesar 62,819 kNm, balok sambungan lewatan (RCB-LS) sebesar 62,478 kNm, dan balok sambungan coupler CFSPT (RC-CFSPT) sebesar 59,237 kNm.

Momen Lentur Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian didapatkan beban maksimum untuk masing-masing balok beton bertulang (lihat pada Tabel 4). Setelah itu dapat dilakukan perhitungan momen lentur (M_{nx}) pada masing-masing balok. Adapun perhitungan momen lentur hasil pengujian dapat menggunakan persamaa:

$$M_{nx} = \frac{1}{2} \times P \times a + M_w \quad (2)$$

Dari persamaan (2) didapat momen lentur eksperimen (M_{nx}) balok normal (RCB-N) sebesar 85,209 kNm, balok sambungan lewatan (RCB-LS) sebesar 92,952 kNm, dan balok sambungan coupler (RCB-CFSPT) sebesar 82,305 kNm. Balok sambungan lewatan mendapatkan nilai momen lentur terbesar dibandingkan balok normal dan balok coupler. Balok dengan sambungan coupler menghasilkan nilai kuat lentur lebih rendah dibandingkan dengan balok normal. Balok sambungan coupler memiliki nilai momen lentur 3,4% lebih rendah terhadap balok normal, sedangkan balok sambungan lewatan memiliki nilai momen lentur 8,33% lebih besar terhadap balok normal. Dengan demikian, balok sambungan lewatan belum dapat tergantikan dengan balok sambungan coupler jika ditinjau dari momen lentur.

Perbandingan Momen Lentur Nominal Teoritis dan Pengujian

Terdapat selisih antara momen lentur teoritis dengan momen lentur hasil pengujian. Rekapitulasi perbandingan antara teoritis dan hasil pengujian pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Mn Teoritis (M_n) dan Mn Hasil Pengujian (M_{nx})

Sampel	Beban Max (kN)	M_{nx} (kNm)	M_n (kNm)	Rasio M_{nx}/M_n
RCB-N	280,728	85,209	62,819	1,356
RCB-LS	306,684	92,952	62,478	1,488
RCB-CFSPT	271,152	82,305	59,237	1,389

Dari hasil Tabel 5 didapat nilai M_{nx} percobaan yang lebih tinggi dibandingkan M_n Teoritis. Berdasarkan analisis didapatkan rata-rata rasio antara M_n percobaan dengan M_n teoritis sebesar 1,411. Pada penelitian yang dilakukan oleh M Firzaki Musyaffa & Jafar (2022) terdapat rata-rata rasio perbandingan antara M_n percobaan dengan M_n teoritis sebesar 1,373. Selain itu, balok lewatan juga menghasilkan 3,78% lebih tinggi terhadap balok normal. Menurut Nugraha & Jafar (2024), M_n percobaan (eksperimen lab) menghasilkan nilai yang lebih besar dibanding dengan M_n teoritis karena dalam perhitungan M_n teoritis terdapat beberapa penyederhanaan. Salah satu contohnya adalah tidak diperhitungkannya kuat tarik beton dalam analisis. Padahal seperti yang telah umum diketahui, beton juga memiliki kuat tarik meskipun relatif kecil.

Daktilitas Lendutan

Daktilitas adalah kemampuan suatu elemen struktur untuk mengalami deformasi yang cukup besar tanpa mengalami kegagalan secara mendadak (Shin et al., 2010). Sesuai dengan SNI 1726:2002, Perhitungan daktilitas diperlukan untuk mengetahui simpangan yang terjadi. Daktilitas dapat dihitung dengan menggunakan lendutan saat beban leleh (δ_y) dan lendutan saat beban ultimit (δ_u). Dari hasil perhitungan didapat nilai daktilitas pada balok normal sebesar 5,949, balok sambungan lewatan sebesar 3,257, dan balok sambungan coupler sebesar 4,550. Menurut SNI 1726:2002, diklasifikasikan balok normal termasuk dalam kategori daktilitas penuh karena memiliki nilai diatas 5,3. Sedangkan balok sambungan lewatan dan balok sambungan coupler termasuk dalam daktilitas parsial yaitu memiliki nilai diantara 1,0 sampai 5,3. Elemen struktur dengan daktilitas tinggi tidak akan mengalami keruntuhan mendadak, melainkan akan memberikan tanda-tanda awal (early warning) yang dapat terlihat oleh pengguna bangunan (Mahalingam et al., 2013). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Daktilitas Seluruh Benda Uji Balok Beton Bertulang

Sampel	δ_y	δ_u	Daktilitas
RCB-N	5.311	31.594	5.949
RCB-LS	10.713	34.894	3.257
RCB-CFSPT	5.862	26.673	4.550

SIMPULAN

Pengujian momen lentur menghasilkan nilai Momen nominal balok tanpa sambungan tulangan sebesar 85,209 kNm, balok dengan sambungan lewatan sebesar 92,952 kNm, dan balok dengan sambungan coupler CFSPT sebesar 82,305 kNm. Berdasarkan nilai Momen nominal percobaan, balok dengan sambungan lewatan memiliki nilai tertinggi dan balok dengan sambungan coupler CFSPT memiliki nilai terendah. Lendutan yang dihasilkan dari balok tanpa sambungan tulangan cenderung lebih tinggi dibandingkan balok sambungan lewatan dan balok dengan sambungan coupler

yaitu sebesar 72,522 mm. Lendutan maksimal yang dihasilkan balok sambungan lewatan dan balok sambungan coupler berturut-turut sebesar 44,876 mm dan 40,191 mm. Nilai daktilitas balok normal, balok sambungan lewatan, dan balok sambungan coupler berturut-turut sebesar 5,949; 3,257; 4,550.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 439.3R-91: Mechanical Connections of Reinforcing Bars (Reapproved 1999). (n.d.). *Technical Documents*.
- Ambarwati, Z., & Jafar, D. (n.d.). *Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis Tipe Threaded Coupler*. 7(2), 114–128. <https://doi.org/10.33366/rekabua>
- Asroni, A. (2017). *Teori dan Desain Balok Plat Beton Bertulang: Berdasarkan SNI 2847-2013*. Muhammadiyah University Press.
- Aurick, K., & Sutandi, D. A. (2018). STUDI PERBANDINGAN SAMBUNGAN TULANGAN KOLOM DENGAN METODE LAP SPLICE DAN METODE MECHANICAL SPLICE PADA PROYEK INDONESIA 1. In *Jurnal Mitra Teknik Sipil* (Vol. 1, Issue 1).
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*.
- Dahal, P. K., & Tazarv, M. (2020). Mechanical bar splices for incorporation in plastic hinge regions of RC members. *Construction and Building Materials*, 258, 120308. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2020.120308>
- Ginting, A., Herwindo, D., Setiawan, W. A., Jurusan, D., Sipil, T., Teknik, F., Teknik, A. J., Fakultas, S., Universitas, T., Yogyakarta, J., & Janateknika, J. (2010). *KUAT LEKAT TULANGAN PADA BERBAGAI VARIASI MUTU BETON NORMAL* (Vol. 12, Issue 2).
- Kheyroddin, A., Mohammadkhah, A., Dabiri, H., & Kaviani, A. (2020). Experimental investigation of using mechanical splices on the cyclic performance of RC columns. *Structures*, 24, 717–727. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.01.043>
- M Firzaki Musyaffa, & Jafar. (2022). PERBANDINGAN KINERJA LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN SAMBUNGAN LEWATAN DAN SAMBUNGAN MEKANIS. *TAPAK Vol.12 No.1*. <https://doi.org/10.24127/tp.v12i1.2327.g1380>
- Mabrouk, R. T. S., & Mounir, A. (2018). Behavior of RC beams with tension lapspllices confined with transverse reinforcement using different types of concrete under pure bending. *Alexandria Engineering Journal*, 57(3), 1727–1740. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.001>
- Mahalingam, M., Rao, R. P. N., & Kannan, S. (2013). Ductility Behavior Fiber Reinforced Concrete Beams Strengthened With Externally Bonded GFRP Laminates. *American Journal of Applied Sciences*, 10, 107–111. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2013.107.111>
- Shin, S.-W., Kang, H., Ahn, J.-M., & Kim, D.-W. (2010). Flexural capacity of singly reinforced beam with 150 MPa ultra high-strength concrete. In *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences* (Vol. 17).
- Sulastri, S. (2020). PERBANDINGAN PERILAKU BALOK TANPA SAMBUNGAN LEWATAN DAN BALOK DENGAN SAMBUNGAN LEWATAN. *Jurnal KaLIBRASI: Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri*, 3(2), 81–87. <https://doi.org/10.37721/kalibrasi.v3i2.742>
- Tarabia, A. M., Mahmoud, Z. I., Shoukry, M. S., & Abudina, A. A. (2016). Performance of R.C. slabs with lap splices using headed bars. *Alexandria Engineering Journal*, 55(3), 2729–2740. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2016.05.018>
- Wahyu Nugraha, R., & Jafar. (2024). Perbandingan Efektivitas Antara Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis Tipe Coupler Pada Balok Beton Bertulang. *JURNAL SAINTIS*, 24(01), 01–10. [https://doi.org/10.25299/saintis.2024.vol24\(01\).14615](https://doi.org/10.25299/saintis.2024.vol24(01).14615)