



Perbandingan Performa Lentur Balok Beton Bertulang dengan Sambungan Lewatan dan Mekanis Tipe Clamp

Dimas Iman Pramono¹, Jafar¹ ✉

¹Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia

DOI: 10.26623/teknika.v19i1.8624

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Disubmit 2024-01-24

Direvisi 2024-03-29

Disetujui 2024-03-31

Keywords:

lap splice; mechanical joints;

flexural strength; clamp;

Deflection

Abstrak

Baja tulangan mempunyai keterbatasan panjang sehingga diperlukan metode penyambungan. Di dunia konstruksi dikenal beberapa metode penyambungan tulangan, yakni metode sambungan lewatan, pengelasan, dan mekanis. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa lentur balok beton bertulang dimana tulangan tarikannya disambung dengan metode sambungan lewatan dan sambungan mekanis tipe clamp. Aspek yang ditinjau adalah momen lentur, lendutan, dan pola retak. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan metode pembebanan dua titik pada setiap balok beton bertulang. Hasil penelitian menunjukkan momen nominal dan lendutan dari balok beton bertulang sambungan lewatan adalah 33,5 KNm dan 69,37 mm, sedangkan untuk balok beton bertulang sambungan clamp adalah 32,31 KNm dan 49,02 mm. Pola retak pada kedua sampel balok menunjukkan hasil yang mirip dimana keruntuhan diakibatkan oleh retakan yang terjadi di 1/3 bentang balok. Hal ini disebabkan pada bagian tengah balok (1/2 bentang) terdapat sambungan tulangan dimana 2 buah tulangan ditempatkan sejajar sehingga luasan penampang tulangan di bagian ini menjadi lebih besar. Kesimpulannya adalah balok yang menggunakan sambungan lewatan memiliki kinerja lebih baik dari aspek momen nominal dan lendutan jika dibandingkan balok yang dipasangkan sambungan clamp. Temuan ini memberikan wawasan berharga dalam bidang konstruksi, menekankan pentingnya pemilihan metode sambungan tulangan yang tepat untuk mengoptimalkan kinerja elemen beton bertulang.

Abstract

Reinforcement bars, or rebar, face length limitations, prompting the need for connection methods in construction. Techniques like overlapping splicing, welding, and mechanical clamping address this. This research investigates flexural performance in reinforced concrete beams, focusing on tensile reinforcement splice methods—overlapping and mechanical clamping with a clamp connection. Key aspects such as flexural moment, deflection, and crack patterns are evaluated through laboratory testing using a two-point loading method. Findings show that beams with overlapping splices outperform those with mechanical clamping, with nominal moments of 33.5 kNm and 32.31 kNm, and deflections of 69.37 mm and 49.02 mm, respectively. Crack patterns in both samples indicate failure at one-third of the beam span due to reinforcement splices at the midpoint, enhancing cross-sectional area. In conclusion, this research underscores the superior performance of overlapping splices in terms of nominal moment and deflection, offering valuable insights for optimizing reinforced concrete element performance in structural engineering.

✉ Alamat Korespondensi:

E-mail: jafar@uui.ac.id

p-ISSN 1410-4202

e-ISSN 2580-8478

PENDAHULUAN

Dalam upaya memastikan keberlanjutan dan keamanan bangunan bertingkat, perancangan struktur menjadi kunci penting, terutama dalam konteks daktilitas dan kekuatan strukturnya. Menurut SNI 1726:2019, daktilitas dan kekuatan struktur merupakan faktor krusial yang harus diperhitungkan dalam desain bangunan bertingkat (Badan Standardisasi Nasional, 2019). Daktilitas mengacu pada kemampuan struktur untuk berdeformasi tanpa kehilangan kekuatannya secara signifikan (Shin et al., 2010). Dalam konteks bangunan tanah gempa, kekuatan struktur akan diuji secara nyata saat gempa terjadi, mengingat terjadi peningkatan beban secara tiba-tiba.

Beton bertulang adalah material yang umum digunakan secara luas dalam berbagai konstruksi di seluruh dunia (Li et al., 2022). Beton bertulang telah secara jamak digunakan dalam proyek konstruksi modern, bangunan infrastruktur, jembatan, dan berbagai jenis infrastruktur lainnya (Kim et al., 2024). Suatu elemen beton bertulang dapat diproduksi dengan menggabungkan batang tulangan yang memiliki kekuatan tarik yang cukup dan beton dengan kekuatan tekan yang memadai. Komponen beton bertulang seperti kolom, balok, pelat, dan dinding geser sering digunakan dalam bangunan bertingkat.

Salah satu elemen penting dalam konstruksi beton bertulang adalah baja tulangan, yang berperan dalam menahan gaya tarik dan tekan pada berbagai komponen struktural seperti kolom dan balok. Ketersediaan panjang baja tulangan di pasaran terbatas pada panjang 12 meter. Salah satu pertimbangannya adalah efisiensi dalam produksi, transportasi, dan penyimpanan (Mabrouk & Mounir, 2018; Tarabia et al., 2016). Keterbatasan ini pada akhirnya menghadirkan tantangan ketika membangun struktur yang memerlukan baja tulangan lebih panjang. Oleh karena itu, munculnya konsep dan teknologi penyambungan baja tulangan untuk mengatasi batasan panjang tersebut.

Menurut ACI 439.3R-91-1999, sambungan tulangan memiliki peran penting dalam struktur, baik dalam memindahkan gaya maupun sebagai perantara disipasi energi (ACI 439.3R-91, 1999). Penyambungan tulangan memiliki fungsi penting dalam mentransfer tegangan dari satu baja tulangan ke baja tulangan lain dalam satu elemen beton bertulang yang sama (Dabiri et al., 2022). Tegangan yang ditransfer dari satu tulangan ke tulangan lain bisa berupa tegangan tarik maupun tekan. Saat melakukan penyambungan tulangan, tentunya diharapkan performa elemen struktur dapat menyamai performa elemen yang tidak memiliki sambungan. Oleh karena itu, perencanaan kekuatan dan lokasi pemasangan sambungan harus diperhatikan secara cermat untuk menghindari potensi keruntuhan pada desain struktur.

Terdapat tiga metode umum untuk penyambungan material tulangan baja: sambungan lewatan (*lap splice*), sambungan las (*welded splice*), dan sambungan mekanis (*mechanical splice*) (Musyaffa & Jafar, 2022; Sulastri, 2020). Pasal 10.7.5.1.1 dari SNI-2847-2019 mengizinkan penerapan penuh ketiga metode ini, bahkan memungkinkan gabungan antara sambungan mekanis dan sambungan lewatan (Badan Standardisasi Nasional, 2019).

Sambungan lewatan adalah metode penyambungan tulangan yang paling umum dan jamak digunakan dalam konstruksi beton bertulang. Metode ini mengatur penempatan panjang tulangan yang memadai yang dilewatkan (*overlap*) pada lokasi yang disambung (Dahal & Tazarv, 2020). Sambungan lewatan memiliki 2 tipe yakni sambungan lewatan kontak dan non-kontak. Sambungan mekanis adalah alternatif pengganti dari sambungan lewatan. Dalam penelitian sebelumnya, penggunaan sambungan mekanis tipe clamp telah dibahas, namun hanya terbatas pada uji kekuatan tarik dan tekan seperti penelitian yang dilakukan oleh Parmo & Tavio (2015) dan Tavio & Parmo (2016).

Perlu dipahami bahwa metode penyambungan tulangan, seperti sambungan lewatan dan sambungan mekanis (*clamp*), memiliki perbedaan dalam performa dan sumber daya yang diperlukan. Hal ini dapat mempengaruhi hasil dan efisiensi struktur bangunan bertingkat yang akan dibangun. Oleh karena itu, pemilihan metode sambungan tulangan harus mempertimbangkan persyaratan

keamanan serta efisiensi dalam penggunaan sumber daya. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengevaluasi kinerja sambungan tulangan dalam proyek konstruksi, khususnya antara metode lewatan dan mekanis tipe clamp.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental laboratorium. Data-data yang dibutuhkan didapatkan dari serangkaian pengujian yang dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Pada penelitian ini, spesimen yang digunakan adalah balok beton bertulang dengan ukuran 150 x 300 x 2000 mm. Jumlah benda uji adalah 2 buah balok beton bertulang. Balok yang pertama adalah balok beton bertulang dimana pada tulangan tarik diaplikasikan metode penyambungan dengan cara lewatan. Balok ini diberi nama BLS (*Beam with Lap Splices*). Balok yang kedua adalah balok beton bertulang dimana pada tulangan tariknya diaplikasikan sambungan dengan metode mekanis menggunakan clamp. Balok ini diberi nama BMS (*Beam with Mechanical Splices*). Sambungan tulangan untuk kedua balok ini diletakkan tepat di tengah bentangnya.

Benda uji direncanakan dengan nilai kuat tekn beton (f'_c) sebesar 25 MPa. Baja tulangan yang digunakan ada 2 macam, yakni ulir dan polos. Baja tulangan ulir dengan f_y 420 MPa berdiameter 13 mm digunakan sebagai tulangan tarik. Baja tulangan inilah yang disambung dengan metode lewatan dan mekanis tipe clamp. Baja tulangan polos dengan f_y 280 MPa berdiameter 10 mm digunakan sebagai tulangan tekan dan 8 mm sebagai tulangan sengkang.

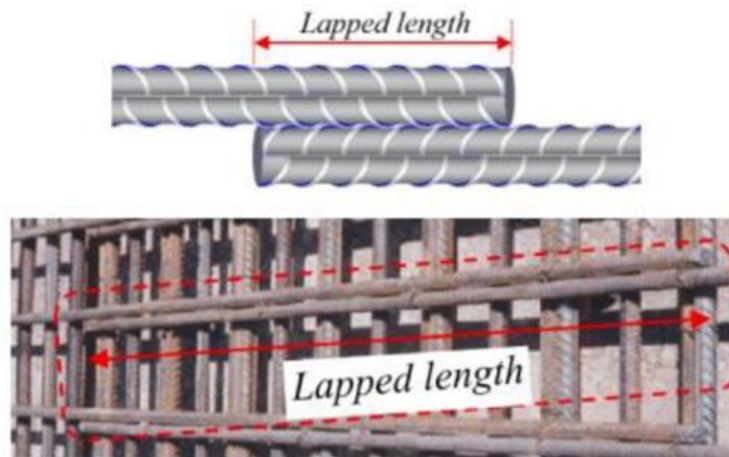
Metode sambungan lewatan yang digunakan dalam benda uji BLS adalah sambungan lewatan kontak dimana dua baja tulangan yang disambung diletakkan secara sejajar dan diikat dengan kawat bendrat. Lihat Gambar 1 untuk ilustrasinya. Panjang sambungan lewatan dihitung berdasarkan formula SNI 2847:2019 berikut. Dalam SNI 2847:2019 terdapat ketentuan yang mengatur tentang penyaluran (ℓ_d) batang ulir. Dalam peraturan tersebut dikatakan panjang ℓ_d untuk baja tulangan ulir pada kondisi tarik harus yang terbesar dari (a) dan (b):

- Panjang yang dihitung sesuai dengan persamaan (1) dengan menggunakan faktor modifikasi yang berlaku pada Tabel 1.
- 300 mm

$$\ell_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \quad (1)$$

Keterangan:

f_y	= nilai tegangan leleh tulangan (MPa)
f'_c	= nilai tegangan desak beton (MPa)
Ψ_t	= faktor untuk posisi pengecoran
Ψ_e	= faktor untuk pelapis epoksi
Ψ_s	= faktor ukuran tulangan
λ	= faktor untuk jenis beton
d_b	= diameter tulangan (mm)
C_b	= jarak dari tepi ke tengah tulangan (mm)
K_{tr}	= faktor kontribusi tulangan pengaku



Gambar 1. Sambungan lewatan kontak (Fayed et al., 2023)

Tabel 1. Faktor Modifikasi untuk Panjang Penyaluran Batang Ulir dalam Kondisi Tarik

Faktor Modifikasi	Kondisi	Faktor
Beton ringan	Beton ringan	0,75
	Beton Normal	1,0
Epoksi, Ψ_e	Tulangan yang dilapisi dengan epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan selimut beton > 3db atau spasi > 6db	1,5
	Tulangan yang dilapisi dengan epoksi atau seng dan pelapis ganda epoksi dengan kondisi lainnya	1,2
	Tulangan yang tidak dilapisi dengan pelapis atau galvanis	1,0
Ukuran, Ψ_s	$Db \geq 22$ mm	1,0
	$Db \leq 19$ mm	0,8
Posisi Pengecoran, Ψ_t	Lebih dari 30 mm beton segar diletakkan dibawah tulangan horizontal	1,3
	Lainnya	1,0

Sumber: Badan Standardisasi Nasional (2019)

Berikut merupakan perhitungan desain sambungan lewatan pada penelitian ini.

1. Panjang penyaluran (ℓ_d)

Panjang penyaluran dihitung berdasarkan persamaan (1). Dalam persamaan tersebut terdapat beberapa variabel yang harus ditentukan terlebih dahulu berdasarkan Tabel 1 sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 f_y &= 476,263 \text{ MPa} \\
 f_c &= 25 \text{ MPa} \\
 db &= 13 \text{ mm} \\
 \lambda &= 1 \text{ (Beton Normal)} \\
 \Psi_e &= 1 \text{ (Tanpa Epoksi)} \\
 \Psi_t &= 1 \text{ (Posisi Pengecoran Lain)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Psi_s &= 0,8 \text{ (} D < 19 \text{ mm)} \\ C_b &= 54 \text{ mm} \\ K_{tr} &= 0 \text{ (sesuai izin SNI 2847:2019)} \\ (C_b + K_{tr})/d_b &\leq 2,5 \text{ (sesuai SNI 2847:2019)} \end{aligned}$$

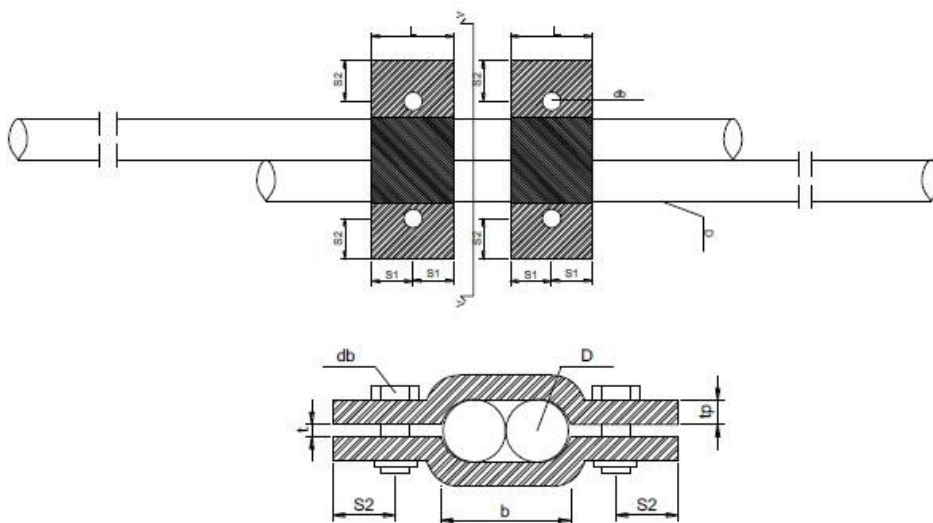
$$\begin{aligned} \ell_d &= \left(\frac{476,263}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \frac{1 \times 1 \times 0,8}{\left(\frac{54 + 0}{13}\right)} \right) \times 13 \\ &= \left(\frac{476,263}{1,1 \times 1 \times \sqrt{25}} \frac{1 \times 1 \times 0,8}{(2,5)} \right) \times 13 \\ &= 360,228 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan nilai ℓ_d sebesar 360,228. Nilai ini lebih besar dari 300 mm sehingga nilai dari rumus (1) dipilih sebagai nilai ℓ_d .

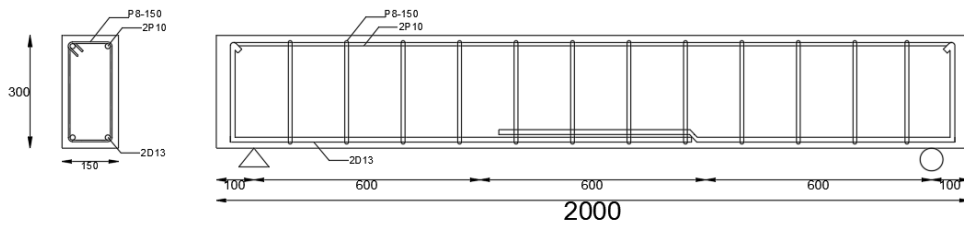
2. Panjang sambungan lewatan kondisi tarik (ℓ_{st})

Panjang sambungan lewatan ℓ_{st} baja tulangan ulir pada kondisi tarik harus mengacu pada SNI 2847:2019. Dalam peraturan tersebut untuk semua kelas diambil nilai ℓ_{st} yang terbesar dari $1,3 \ell_d$ dan 300 mm. Oleh sebab itu, sambungan lewatan diambil sebesar 468,2964 mm ($1,3 \ell_d$). Untuk simplifikasi desain, penulis memakai panjang penyaluran tulangan lewatan sebesar 480 mm.

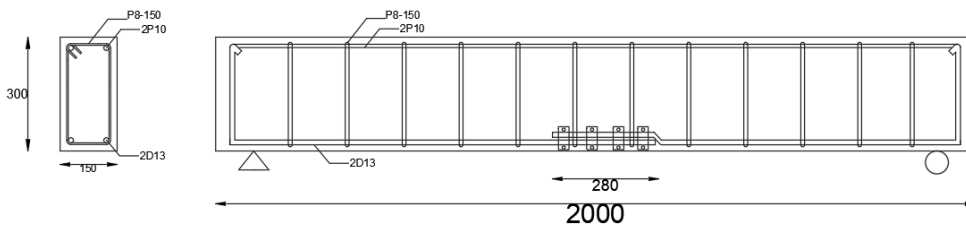
Untuk desain sambungan dengan *clamp*, penelitian ini menggunakan pelat baja setebal 6 mm yang cara membentuknya ialah dengan ditekan dengan alat Press Hidraulic. Desain clamp pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar balok beton bertulang BLS dan BMS ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. Penguncian clamp memakai baut dengan jenis baut yang bermutu tinggi Grade 8.8 dengan tinggi 25 mm. Notasi d_b pada Gambar 3 dan Gambar 4 merupakan diameter baut pengunci yang digunakan yakni 8 mm. Jarak titik pusat lobang baut pengunci (S_1 dan S_2) masing-masing adalah 15 mm dan 20 mm. Setelah dikencangkan, *clamp* tidak saling bersentuhan satu sama lain melainkan menyisakan ruang sebesar t sama dengan 3 mm. Lebar ruang *clamp* yang digunakan untuk menyambung tulangan adalah sebesar b sama dengan 26 mm.



Gambar 2. Desain Sambungan Clamp

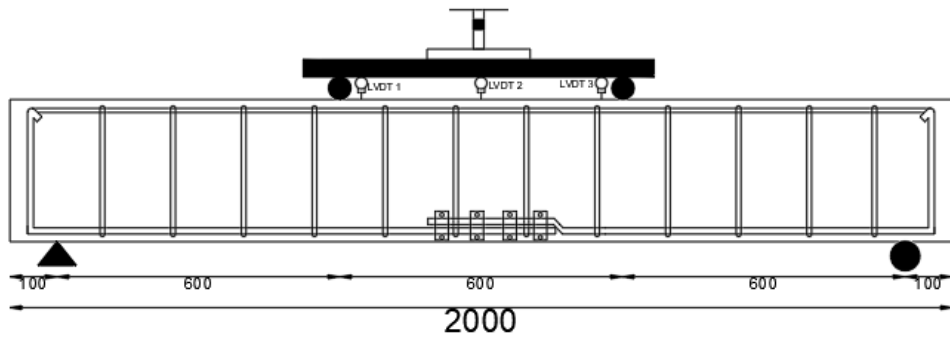


Gambar 3. Desain Balok BLS



Gambar 4. Desain Balok BMS

Dalam pengujian momen lentur, mekanisme pengujian balok beton bertulang menggunakan prinsip pembebanan dua titik. Kedua titik beban diposisikan di bagian tengah bentang balok dengan jarak antara ujung titik beban ke ujung titik beban lain sebesar $1/3$ bentang bersih balok. Selanjutnya, alat LVDT diletakkan di ketiga titik potensial terjadinya lendutan akibat pembebanan, yaitu di dekat titik beban serta di tengah kedua titik beban. Gambar 5 menunjukkan ilustrasi pembebanan dua titik untuk uji lentur.



Gambar 5. Set up pengujian benda uji

HASIL DAN PEMBAHASAN

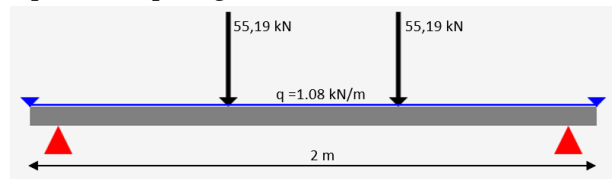
Panjang Penyaluran Sambungan Lewatan

Perhitungan panjang penyaluran sambungan lewatan mengacu pada rumus (1) di atas. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan nilai lewatan sebesar 360,22 mm dengan asumsi tegangan desak beton sebesar 25 MPa serta nilai tegangan leleh baja tulangan ulir sebesar 476,2 MPa. Hasil analisis perhitungan panjang penyaluran tersebut kemudian dikalikan dengan nilai 1,3 untuk menentukan panjang dari sambungan lewatan terpasang sesuai dengan tabel klasifikasi kelas sambungan lewatan pada SNI 2847-2019 yang berfungsi agar gaya tarik dapat disalurkan dengan baik. Dari perhitungan

yang dilakukan, didapat hasil panjang sambungan lewatan terpasang senilai 468,28 mm yang kemudian dibulatkan ke atas sehingga nilai panjang sambungan lewatan yang dipasang pada balok dalam adalah 480 mm demi kemudahan dalam pemasangan sambungan lewatan.

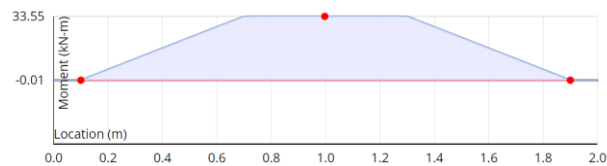
Hasil Pengujian Balok

Kuat lentur balok didapatkan melalui perhitungan analisis struktur dengan telah mengetahui beban maksimal yang dapat ditahan oleh balok serta panjang bentang balok dari tumpuan satu ke tumpuan yang lain. Berat sendiri balok beton bertulang juga dimasukkan dalam perhitungan. Ilustrasi analisis struktur balok dapat dilihat pada gambar 6.

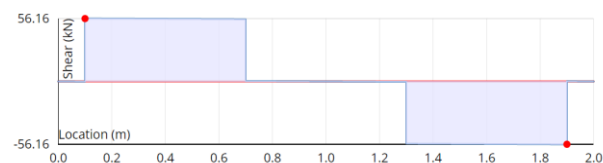


Gambar 6. Ilustrasi Pembebanan Balok BLS untuk Keperluan Analisis Struktur

Dari hasil perhitungan analisis struktur didapat diagram gaya geser (SFD) dan diagram momen lentur (BMD) pada balok yang diuji dengan mengetahui beban maksimal yang mampu dipikul balok tersebut pada kedua titik yang terpusat sesuai Gambar 6 diatas . Gambar BMD dan SFD balok beton bertulang ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Kemudian, nilai momen maksimum balok beton bertulang dapat ditampilkan pada Tabel 2.



Gambar 7. Diagram Analisis BMD Balok BLS



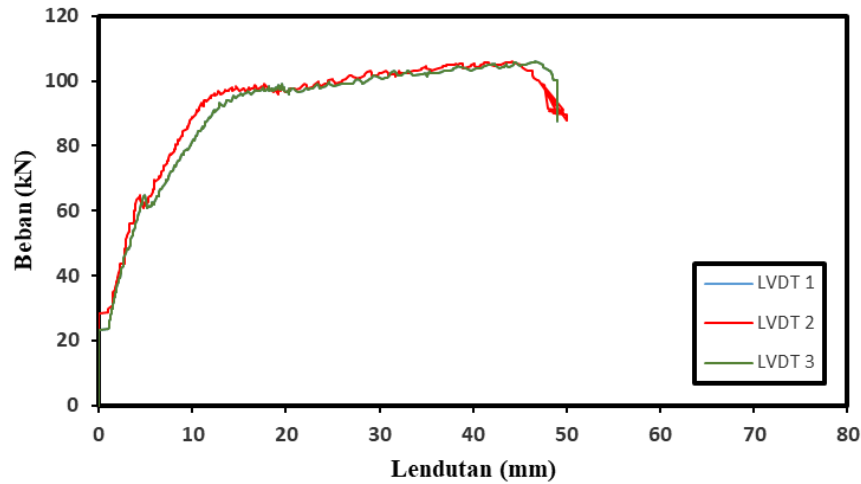
Gambar 8. Diagram Analisis SFD Balok BLS

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Momen Nominal (M_n) Percobaan

ID Spesimen	P_{max} (kN)	M_n Percobaan (kNm)
BMS (Clamp)	106,09	32,26
BLS (Lewatan)	110,38	33,55

Pada setiap spesimen balok beton bertulang, 3 buah LVDT dipasang pada titik tertentu dimana nilai lendutan terbesar diprediksi akan terjadi. LVDT 1 dan 3 ditempatkan didekat titik beban. Tujuannya adalah untuk mengukur defleksi vertikal pada bagian dimana beban diletakkan. LVDT 2 diletakkan di tengah bentang balok dimana momen maksimum diprediksi akan terjadi. Hasil pembacaan hubungan antara beban dan lendutan (defleksi) dapat dilihat pada Gambar 8. Saat defleksi

mencapai nilai maksimum, spesimen mengalami kerusakan (keruntuhan). Pola retak pada spesimen saat dibebani sampai akhirnya hancur dapat dilihat pada Gambar 9.

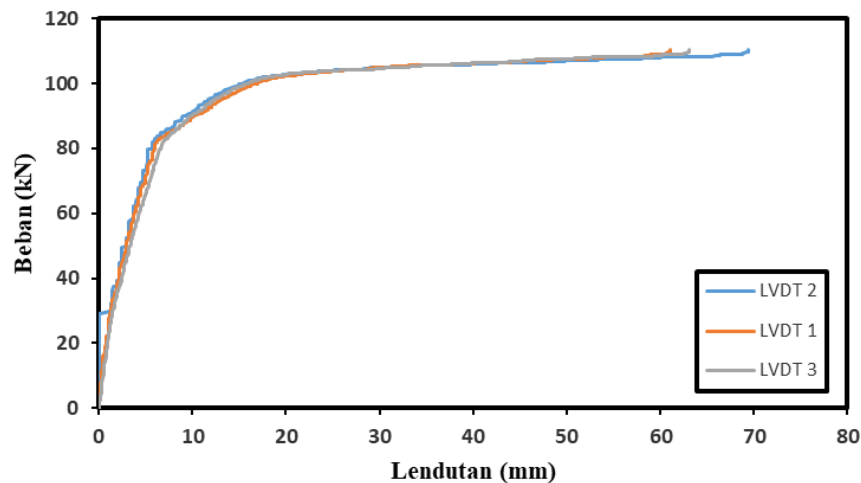


Gambar 8. Beban vs Lendutan Balok BMS (Clamp)

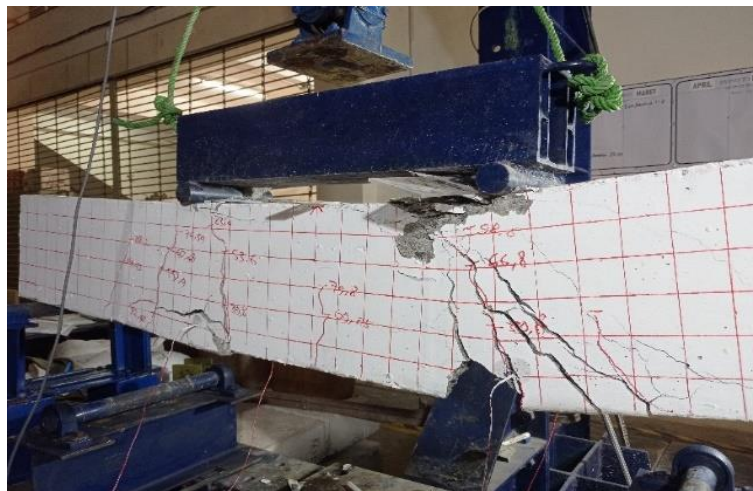


Gambar 9. Keruntuhan Pada Balok BMS (Clamp)

Sesuai grafik diatas balok dengan sambungan clamp mencapai beban tertinggi sebesar 106,09 kN dan lendutan maksimum 49,024 mm sebelum akhirnya patah. Pembebanan pada balok ini mirip dengan balok beton bertulang pada umumnya, dengan awal keretakan terjadi saat beban mencapai 32 kN lalu terjadi penurunan pada 64,76 kN, kemudian naik kembali menuju beban ultimitnya di 106,09 kN yang dalam prosesnya disertai dengan retakan baru yang muncul secara tiba-tiba. Kerusakan terparah terletak di daerah beban sebelah kiri balok, dengan jenis retakan meliputi retak geser lentur dan retak lekatan. Dua retakan besar menjalar dari daerah tarik ke daerah tekan persis di bawah beban sebelah barat. Setelah diamati lebih detail, lokasi retak/kerusakan yang mengakibatkan keruntuhan terdapat di luar tulangan yang dilewatkan untuk disambung dengan clamp. Hal ini disebabkan oleh pada bagian tengah dimana tulangnya disambung dengan clamp, total luas penampang tulangan menjadi lebih besar sehingga kapasitasnya meningkat. Akibatnya pelelehan tulangan terjadi di luar posisi sambungan clamp.



Gambar 10. Beban vs Lendutan Balok BLS (Lewatan)



Gambar 11. Keruntuhan Pada Balok BLS (Lewatan)

Grafik 10 menunjukkan balok yang menggunakan sambungan lewatan mencapai beban maksimum sebesar 110,38 kN dan lendutan maksimum 69,37 mm, yang mana nilai ini lebih baik dibandingkan dengan balok yang menggunakan sambungan clamp. Balok sambungan lewatan juga memiliki kuat lentur yang lebih besar daripada balok sambungan clamp. Pada pembebanan 33,8 kN, terjadi retak lentur pertama dari daerah tekan di tengah bentang balok, dan pembebanan dinamis berlanjut hingga mencapai beban ultimitnya di 110,38 kN, dimana ini merupakan beban yang terbesar yang dicapai. Kelelahan tulangan terjadi pada 85,9 kN, kemudian menurun hingga 82,1 kN, dan naik kembali pada 82,9 kN, sampai balok mengalami keruntuhan pada beban ultimit 110,38 kN. Jenis kerusakan mencakup kerusakan geser lentur dan lekat, dengan keretakan pertama muncul pada 39,8 kN. Kerusakan geser lentur kemudian merambat ke daerah tekan seiring pembebanan yang meningkat. Kerusakan lekat muncul pada 82,15 kN di bawah titik pembebanan, dengan retak terbesar terjadi di bagian ujung sambungan lewatan. Sama seperti balok BMS, pada balok BLS, kerusakan/keruntuhan terjadi pada bagian ujung sambungan lewatan karena pada bagian yang disambung dengan metode lewatan (bagian tengah) luas penampang tulangan meningkat karena terdapat 2 tulangan yang diletakkan berdampingan.

Ditinjau dari sisi momen lentur yang mampu dikerahkan, baik BLS dan BMS menunjukkan nilai yang relatif berdekatan, yakni 33,55 kNm dan 32,26 kNm. Namun dari aspek lendutan, perbedaan nilainya cukup signifikan dimana BLS mendapatkan hasil 69,37 mm sedangkan BMS hanya 49,02 mm. Ini mengindikasikan daktilitas BLS lebih baik dibandingkan dengan BMS. Daktilitas merupakan kemampuan elemen struktur untuk mengalami perubahan bentuk (deformasi) yang signifikan namun tidak runtuh secara tiba-tiba (Shin et al., 2010). Daktilitas dapat juga dipahami sebagai nilai perbandingan antara deformasi ultimit dan deformasi leleh (*yield*) (Kheyroddin & Dabiri, 2020). Elemen struktur dengan tingkat daktilitas yang baik tidak akan runtuh secara tiba-tiba tetapi akan memberikan peringatan awal (*early warning*) yang dapat diamati oleh pengguna bangunan (Mahalingam et al., 2013).

SIMPULAN

Dalam pengujian kuat lentur, hasil menunjukkan bahwa balok yang menggunakan sambungan lewatan mencapai momen nominal sebesar 33,60 kNm, sedangkan balok dengan sambungan mekanis clamp hanya memiliki momen nominal sebesar 32,31 kNm. Hal ini mengindikasikan bahwa balok dengan sambungan lewatan memiliki performa yang lebih baik dari segi momen nominal. Demikian juga, dalam hal kinerja lendutan maksimum, balok dengan sambungan lewatan memiliki nilai 69,37 mm, sedangkan balok dengan sambungan mekanis clamp hanya memiliki nilai 49,02 mm, menunjukkan bahwa balok dengan sambungan lewatan juga memiliki lendutan yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- ACI 439.3R-91. (1999). Mechanical Connections of Reinforcing Bars, Standard by American Concrete Institute. *Concrete International*, 5(1), 24–35.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). *Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung*, 8, 695.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). *SNI 1726:2019 - Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung*.
- Dabiri, H., Kheyroddin, A., & Dall'Asta, A. (2022). Splice methods used for reinforcement steel bars: A state-of-the-art review. *Construction and Building Materials*, 320(January), 126198. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.126198>
- 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>
- Fayed, S., Mansour, W., Tawfik, T. A., Sabol, P., & Katunsk, D. (2023). *Techniques Used for Bond Strengthening of Sub-Standard Splices in Concrete : A Review Study*.
- Kheyroddin, A., & Dabiri, H. (2020). Cyclic performance of RC beam-column joints with mechanical or forging (GPW) splices; an experimental study. *Structures*, 28(November), 2562–2571. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.071>
- Kim, S., Jeong, Y., Kwon, M., & Kim, J. (2024). Combined deterioration effects of freeze–thaw and corrosion on the cyclic flexural behavior of RC beams. *Journal of Building Engineering*, 84, 108564. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2024.108564>
- Li, R., Deng, M., Chen, H., & Zhang, Y. (2022). Shear strengthening of RC shear-deficient beams with highly ductile fiber-reinforced concrete. *Structures*, 44, 159–170. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.08.013>
- Mabrouk, R. T. S., & Mounir, A. (2018). Behavior of RC beams with tension lap splices 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 glass fiber reinforced polymer laminates. *American Journal of Applied Sciences*, 10(1), 107–111. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2013.107.111>
- Musyaffa, M. F., & Jafar, J. (2022). Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis (Clamp). *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi): Jurnal Program Studi Teknik Sipil*, 12(1), 101. <https://doi.org/10.24127/tp.v12i1.2327>
- Parmo, & Tavio. (2015). Inovasi Sambungan Mekanis Menggunakan Clamp Baja. *EMARA Indonesian Journal of Architecture*, 1(2).
- 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. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 17(6), 414–426.
- Sulastri. (2020). Perbandingan perilaku balok tanpa sambungan lewatan dan balok dengan sambungan lewatan. *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri.*, 81–87.
- 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>
- Tavio, & Parmo. (2016). A proposed clamp system for mechanical connection of reinforcing steel bars. *International Journal of Applied Engineering Research*, 11(11), 7355–7361.