

PERBANDINGAN KINERJA LENTUR BALOK BETON BERTULANG DENGAN SAMBUNGAN LEWATAN DAN SAMBUNGAN MEKANIS (*CLAMP*)

M Firzaki Musyaffa¹, Jafar^{2*)}

Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia^{1,2*)}

E-mail : m.musyaffa@students.uui.ac.id¹

^{2*)}Corresponding : jafar@uui.ac.id

ABSTRAK

Pengerjaan tulangan pada balok beton bertulang seringkali membutuhkan panjang hingga 20 m, sedangkan panjang tulangan yang tersedia di pasaran sekitar 12 m. Penyambungan tulangan yang tepat diperlukan untuk membuat dua tulangan yang disambung menjadi satu kesatuan. Ada tiga metode penyambungan tulangan: sambungan lewatan, sambungan las, dan sambungan mekanis. Dari ketiganya, sambungan lewatan adalah metode penyambungan yang paling umum digunakan dalam proyek konstruksi. Studi ini membahas peluang sambungan mekanis untuk menggantikan metode sambungan lewatan. Penulis mencoba untuk membandingkan kinerja sambungan lewatan dan sambungan mekanis tipe klem (*clamp*) pada balok beton bertulang. Penelitian ini mengkaji kinerja lentur balok yaitu momen lentur nominal (M_n) dari percobaan laboratorium. Dimensi balok beton bertulang adalah 200×300×2000 mm dengan $f'c$ 25 MPa. Tiga balok beton bertulang yang disiapkan adalah balok normal (tanpa penyambungan), balok dengan sambungan lewatan, dan balok dengan sambungan mekanis. Balok yang dibuat merupakan balok yang tertumpu sedernana (*simple beam*). Sambungan terletak pada daerah tarik (daerah momen lentur positif) pada bentang tengah balok beton bertulang. Hasil penelitian menunjukkan momen lentur nominal (M_n) balok normal, balok dengan sambungan lewatan, dan balok dengan sambungan mekanis berturut-turut adalah 40,47 kNm, 42,06 kNm, dan 41,16 kNm. M_n tertinggi dapat ditemukan pada balok RC dengan sambungan lewatan. Ini menunjukkan, dalam aspek momen lentur, sambungan lewatan masih merupakan metode penyambungan yang lebih baik untuk penyambungan tulangan.

Kata Kunci : Beton Bertulang, sambungan Lewatan, Mekanis, Momen Lentur.

PENDAHULUAN

Beton bertulang adalah pilihan struktur yang diminati di berbagai konstruksi bangunan di Indonesia. Nilai kuat tekan beton yang memadai apabila disatukan sebagai baja tulangan yang memiliki nilai kuat tarik yang memadai dapat menghasilkan sebuah elemen struktur yang ideal. Dalam perencanaannya, beton bertulang memerlukan perhitungan beban dalam tahap desain untuk mendapatkan persyaratan keamanan dan ekonomi yang baik (Mahlisani & Teguh, 2014)

Struktur beton bertulang seperti balok dan pelat merupakan bagian utama yang akan mengalami gaya tekan, gaya lentur dan gaya geser. Balok memiliki fungsi penting dalam membantu menyalurkan beban yang diberikan oleh pelat ke kolom. Lalu timbul gaya tekan aksial dan gaya lentur pada kolom dan didistribusikan ke pondasi. Dalam struktur balok lentur seperti yang sudah dijelaskan diatas, kekuatannya dipengaruhi oleh kuat tekan beton, tegangan leleh tulangan, panjang balok, dan kekakuan balok. Selain itu, terdapat satu faktor yang tidak kalah penting yaitu

daktilitas. Suatu bangunan perlu didesain memiliki daktilitas yang tinggi, maksudnya adalah mampu berdeformasi yang besar tanpa kerusakan struktur yang berarti.

Struktur beton bertulang pada tiap konstruksi memiliki ukuran yang bervariasi, misalnya panjang dan lebar balok yang tentunya tidak akan sama. Dalam praktiknya di lapangan sering diperlukan balok beton bertulang dengan panjang mencapai 20 m, sedangkan pada umumnya panjang baja di pasaran berkisar 12 m. Dalam pelaksanaannya, panjang tulangan baja yang terbatas memerlukan sistem penyambungan baja tulangan. Penyambungan dapat dilakukan dengan cara pengelasan, penggunaan alat sambung mekanis, maupun yang umum digunakan dengan cara sambungan lewatan, yaitu dengan cara menumpangkan dan menyatukan bagian panjang tertentu ujung-ujung batang yang disambung kemudian diikat dengan menggunakan kawat baja (Dipohusodo, 1999)

Menurut SNI 2847: 2019 pasal 10.7.5 menyatakan bahwa “sambungan mekanis, sambungan las tumpul (*butt-welded*), dan sambungan tumpuan ujung diizinkan”. Dalam peraturan yang telah dijelaskan terdapat peluang sambungan mekanis untuk digunakan dalam memegang peranan penting dalam menyambung tulangan. Berawal dari hal ini penulis tertarik untuk membandingkan performa sambungan tulangan lewatan dengan sambungan mekanis jenis clamp terhadap kinerja lentur balok beton bertulang.

TINJAUAN PUSTAKA

Sambungan Mekanis *Clamp*

Dalam beberapa penelitian terdahulu sudah dibahas mengenai usulan penggunaan sambungan mekanis jenis *clamp*, namun hanya sebatas pengujian tarik dan kuat tekan saja. Diantaranya penelitian Nugroho, (2012) yang

bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik struktur beton bertulang dengan mengombinasikan sambungan clamp dengan sambungan lewatan, dengan dilakukan pengujian kuat tarik baja tulangan dan kuat tekan beton. Dari pengujian ini mendapatkan kenaikan performa *clamp* yang setara dengan jumlahnya sebesar 100%, dengan jumlah clamp yang paling optimum menggunakan 2 buah clamp dan panjang minimum lewatan 11,41db. Namun terdapat konfigurasi yang hasil daktilitasnya lebih buruk dari balok tanpa sambungan, yaitu sambungan lewatan 6,34db dengan daktilitas yang hanya 22%.

Selain itu, penelitian Ginting, (2014) yang hanya mengujikan kuat tarik dan modulus elastisitas baja pada penelitiannya. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membandingkan kuat tarik baja tulangan secara utuh dengan baja tulangan yang disambung menggunakan clamp. Diameter baja tulangan yang digunakan adalah D13, D16, dan D19 dengan tegangan leleh baja tulangan ($f_y = 400$ MPa). Variasi yang dipakai selain diameter adalah jumlah *clamp*, dimulai dari 1 hingga 4 pasang *clamp*. Dari penelitian ini didapatkan modulus elastisitas terbaik pada diameter baja tulangan D16 dan 4 pasang clamp dengan rata-rata 204.001,38 MPa, dengan kuat tarik mencapai 571,34 MPa

Penelitian Parmo & Tavio, (2015) mirip dengan penelitian sebelumnya, namun dengan spesifikasi clamp yang berbeda. Penelitian ini menjelaskan material yang digunakan secara spesifik, seperti bahan yang digunakan untuk membuat clamp ialah pelat baja dengan ketebalan 15 mm dan $f_y \pm 250$ MPa. *Clamp* ini nantinya akan menjadi sambungan untuk baja tulangan D13 dan D16 dengan $f_y \pm 350$ MPa. Selain itu, mur dan baut yang digunakan untuk mengencangkan clamp telah memiliki mutu tinggi dan berstandar DIN/EN-ISO grade 8.8 size M10. Dari penelitian ini

didapat performa clamp D13 sebesar 69,125% untuk tegangan leleh, 58,98% tegangan tarik maksimum dan 58,98% beban maksimum dari target yang dituju. Sedangkan pada clamp D16 diperoleh hasil tegangan leleh mencapai 55,14%, tegangan tarik maksimum 55,98% dan beban maksimum 55,98%.

Sambungan Tulangan Lewatan (*lap splice*)

Menurut SNI 2847:2019 sambungan tulangan wajib mengikuti seluruh ketentuan kombinasi beban terfaktor. Persyaratan sambungan telah dirumuskan bahwa sambungan lewatan tekan memiliki kekuatan tarik sekurang-kurangnya $0,25f_y$. Panjang penyaluran ℓ_d digunakan untuk mendapatkan Panjang lewatan yang didasarkan pada f_y karena pembagian jenis sambungan lewatan mencerminkan penulangan berlebih pada lokasi sambungan lewatan dipasang, sehingga nilai faktor untuk nilai A_s berlebih tidak boleh digunakan. Panjang sambungan lewatan ℓ_{st} batang ulir dan kawat ulir dalam kondisi tarik harus disesuaikan dengan ketentuan yang ada. Sesuai dengan spesifikasi material benda uji yang akan penulis gunakan yaitu baja tulangan D13 dengan Sengkang sebesar 40 mm maka digunakan rumus:

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \psi_t \psi_e}{2,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \right) d_b \quad (1)$$

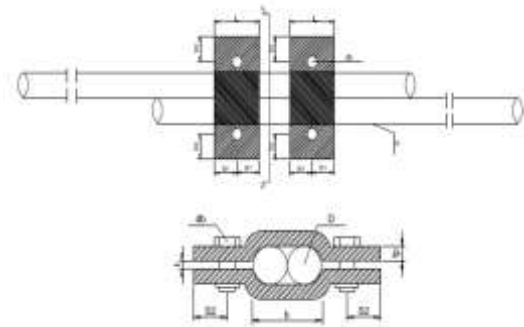
Ketentuan menurut SNI 2847:2019 memberikan dua pilihan pendekatan dalam menghitung panjang penyaluran, penulis dapat menggunakan rumus sederhana seperti pada persamaan (1) atau persamaan umum panjang penyaluran (2). Berikut merupakan rumus umum panjang penyaluran menurut pasal 25.4.2.3.

$$\ell_d = \left(\frac{f_y}{1,1 \lambda \sqrt{f_c'}} \frac{\psi_t \psi_e \psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} \right) d_b \quad (2)$$

METODE PENELITIAN

Persiapan Material Clamp

Dalam penelitian ini, desain *clamp* yang digunakan merujuk pada penelitian Ginting (2014). *Clamp* dibentuk menggunakan material pelat baja tebal 5 mm dengan cara dipress sehingga mencapai bentuk yang diinginkan. Berikut merupakan desain *clamp* yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Desain Alat Sambung Mekanis *Clamp*.

Keterangan:

- $d_b = 8 \text{ mm}$
- $S_1 = 15 \text{ mm}$
- $S_2 = 20 \text{ mm}$
- $L = 30 \text{ mm}$
- $b = 26 \text{ mm}$
- $t = 3 \text{ mm}$

Baut yang digunakan untuk mengunci *clamp* berjenis baut mutu tinggi (*High Strength Bolt*) berupa baut Grade 8.8 berukuran 2,5 cm. Baut ini digunakan untuk mencengkram sambungan tulangan dan menimbulkan tegangan tarik sehingga menyebabkan gaya jepit (*clamping force*) dalam sambungan. Dalam hal ini yang memiliki peran paling penting ada pada pelat baja dengan tulangan yang menimbulkan gaya gesek. Baut tipe ini dapat bekerja apabila dapat dikencangkan hingga menimbulkan momen torsi dan baut mencapai kondisi prategang tarik. Alat yang dapat digunakan untuk mencapai kondisi tersebut yaitu pengunci torsi (*Torque Wrench*).

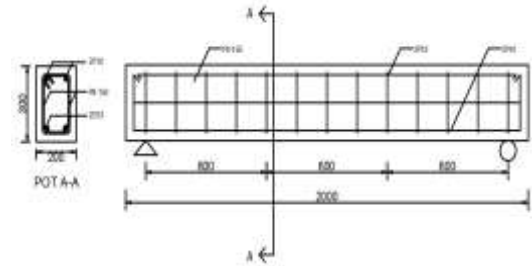
Analisis Sambungan Lewatan (*lap splice*)

Berdasarkan persamaan (1) dan (2) seperti yang telah dijelaskan diatas, analisis penyaluran sambungan lewatan didapatkan hasil yang tertinggi pada persamaan (1). Nilai panjang penyaluran yang didapatkan adalah 346,667 mm. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan beberapa variabel yang ditentukan seperti beton normal $f'c$ 25 MPa, tulangan tanpa epoksi dengan diameter 13 mm dan f_y 280 MPa. Setelah itu, dilakukan pembulatan sehingga nilai panjang penyaluran yang digunakan dalam penelitian ini sebesar 430 mm. Belakangan penulis menyadari bahwa penyaluran yang dibutuhkan sebenarnya melebihi 430 mm yakni 520 mm. Hal ini disebabkan oleh hasil pengujian tarik baja tulangan yang menunjukkan hasil 464,646 MPa, dimana ini seharusnya masuk ke tulangan ulir TS420 sedangkan dalam perhitungan awal, TS yang digunakan untuk menentukan panjang lewatan adalah TS280. Hal ini baru disadari setelah pengecoran sampel balok beton selesai dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini tetap dilanjutkan dengan menjadikan hal ini sebagai batasan penelitian.

Benda Uji Utama

Benda uji utama yang digunakan pada penelitian ini merupakan balok beton bertulang dengan bentang 2000 mm seperti pada Gambar 2. Balok memiliki dimensi 200×300×2000 dengan penjelasan setiap variasi sambungan tulangan terdapat di Tabel 1. Spesifikasi balok yang diuji diantaranya adalah: Kuat tekan beton sebesar 25 MPa dan tegangan leleh baja sebesar 420 MPa. Susunan tulangan yang digunakan merupakan susunan tulangan rangkap dengan tiga tulangan tarik D13 dan dua tulangan tekan P10. Setiap balok menggunakan baja tulangan P8 dengan spasi sengkang berjarak 150 mm. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium

Bahan Konstruksi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.



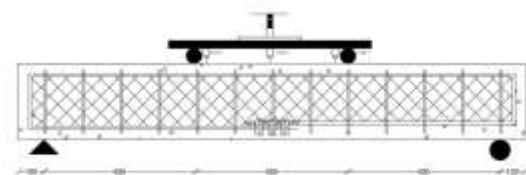
Gambar 2. Detail Benda Uji Utama

Tabel 1. Variasi Balok

Kode	Keterangan	Penulangan	
BU-1	Normal	Atas	2P10
		Bawah	2D13
BU-2	Sambungan Lewatan	Atas	2P10
		Bawah	2D13
BU-3	Sambungan Clamp	Atas	2P10
		Bawah	2D13

Pengujian Kuat Lentur Balok

Dalam pengujian kuat lentur ini pembebanan dilakukan sesuai dengan SNI 4431:2011 yaitu dengan pembebanan dua titik. Titik beban ditempatkan menjadi 2 beban terpusat dengan jarak 1/3 bentang dan pembebanan dilakukan secara bertahap hingga mencapai beban maksimum yang dapat ditahan dan terjadi keruntuhan pada balok. Berikut merupakan mekanisme pembebanan pada saat pengujian dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 3. Detail Pembebanan Benda Uji Balok

Dalam pengujian kuat lentur yang dilakukan, dipasang dial gauge berjumlah 3 buah yang letaknya berada di daerah pembebanan. Dial gauge 1 dan 3 terletak persis dibawah beban dan dial gauge 2 berada di tengah balok yang bertujuan

untuk mengetahui besaran lendutan pada balok.

HASIL PENELITIAN

Karakteristik Material Balok

Pada penelitian ini benda uji utama yaitu balok beton bertulang berjumlah 3 buah. Pada setiap sampel balok dilakukan pengujian silinder beton sebanyak 1 buah untuk mendapatkan nilai $f'c$ masing-masing balok beton. Rencana kuat tekan yang digunakan sebesar 25 MPa dan hasil dari pengujian tersedia pada Tabel 2. Selain itu, material tulangan yang digunakan dalam penelitian telah dilakukan pengujian terlebih dahulu untuk mengetahui tegangan leleh dan tegangan tarik maksimum seperti yang dilampirkan pada Tabel 3. Tegangan leleh yang diharapkan adalah 420 Mpa.

Tabel 2. Hasil Pengujian Silinder Beton

Kode	Keterangan	Kuat Tekan, $f'c$ (MPa)
BU-1	Normal	33,314
BU-2	Sambungan Lewatan	31,532
BU-3	Sambungan Clamp	32,645

(Data Hasil Pengujian, 2022)

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Tarik Tulangan

No.	Jenis Sambungan	Tegangan Leleh, f_y (MPa)
1	Normal (Tanpa Sambungan)	464,646 MPa
2	Sambungan Clamp	100,673 MPa

(Data Hasil Pengujian, 2022)

Hasil pengujian kuat tarik baja tulangan D13 dengan sambungan clamp mendapatkan nilai tegangan leleh sebesar 100,673 MPa. Hasil pengujian ini berbeda dengan penelitian Ginting

(2014), dalam penelitiannya kuat leleh yang diperoleh dalam sambungan tulangan D13 dengan 3 buah clamp sebesar 471,46 MPa. Terdapat beberapa kemungkinan yang menyebabkan perbedaan yang signifikan dengan penelitian sebelumnya, salah satunya ialah penggunaan torque wrench yang tidak maksimal. Dalam penelitian Ginting, penggunaan pengunci torsi telah ditetapkan kekencangan baut sebesar 25 lbf dan telah mengikuti tabel ekuivalensi sesuai dengan diameter baut. Sedangkan, dalam penelitian ini penulis menggunakan alat pengunci torsi dengan skala yang lebih besar, sehingga tidak sesuai dengan yang telah ditentukan.

Pengujian Kuat Lentur Balok

Penelitian ini menghasilkan pengujian kuat lentur yang memiliki nilai beragam. Untuk balok normal memiliki nilai kuat lentur rata-rata sebesar 40,47 kNm, balok *clamp* dengan rata-rata 41,16 kNm, serta nilai kuat lentur tertinggi berhasil dicapai oleh balok dengan sambungan tulangan lewatan dengan nilai 42,06 kNm. Tabel 4. menunjukkan bahwa prediksi kuat lentur antara teori dengan pengujian memiliki selisih presentase dibandingkan dengan perhitungan teoritis. Kondisi ini disebabkan karena dalam perhitungan teoritis terdapat beberapa asumsi-asumsi yang merupakan bentuk penyederhanaan dalam perhitungan antara lain kuat tarik beton yang diabaikan dan juga penyederhanaan asumsi blok tekan penampang beton bertulang.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Mn Percobaan

Balok	Pmaks (kN)	Mn Teoritis (kNm)	Mn Percobaan (kNm)	Rasio
Normal	132,5	30,142	40,47	1,343
Lewatan	137,8	30,057	42,06	1,399

<i>Clamp</i>	134,8	29,911	41,16	1,37 6
--------------	-------	--------	-------	-----------

(Data Hasil Pengujian, 2022)

Pengujian ini menghasilkan nilai kuat lentur panjang lewatan yang kurang memuaskan. Menurut penelitian Teguh, Mahlisani (2014) balok beton bertulang dengan sambungan lewatan 40D mendapatkan hasil peningkatan beban kuat lentur hingga 21,54% dari balok normalnya. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan penulis hanya terdapat peningkatan sebesar 3,92% dari balok normalnya. Dari pengujian ini, hasil perhitungan momen lentur nominal (M_n percobaan) balok dengan sambungan lewatan masih mengungguli balok dengan sambungan mekanis *clamp*.

Berdasarkan pembahasan diatas, dapat diambil kesimpulan bahwa hasil kuat lentur balok dengan sambungan lewatan masih lebih baik dibandingkan dengan sambungan clamp dan juga tanpa sambungan. Artinya, dari sisi momen lentur nominal yang mampu dikerahkan, sambungan *clamp* belum mampu menggantikan sambungan lewatan.

Respon Balok Terhadap Beban dan Lentutan

Benda uji balok yang diuji sebelumnya dipasangkan tiga buah LVDT dimana perletakkannya sesuai dengan Gambar 3., yaitu LVDT 1 dan 3 diletakkan untuk mengetahui defleksi vertikal dibawah titik beban dan LVDT 2 terletak di tengah bentang balok untuk menjadi indikator utama defleksi vertikal balok

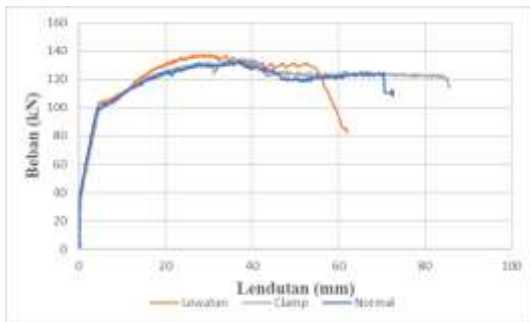
Gambar 4. menampilkan perbandingan respon beban perpindahan semua sampel balok dan terlihat bagaimana kinerja lentur setiap spesimen balok. Pada tahap awal pembebanan, setiap spesimen balok memiliki kecenderungan yang sama yaitu konsisten dalam kenaikan beban hingga mencapai ultimitnya. Namun setelah mencapai beban maksimum, setiap balok

memiliki kinerja lentur yang berbeda beda. Pada balok normal setelah mencapai beban ultimitnya mengalami penurunan secara bertahap hingga 120 kN, kemudian beban cenderung stabil hingga akhirnya balok patah pada beban 124 kN. Sedangkan pada balok dengan sambungan lewatan setelah mencapai beban ultimitnya mengalami penurunan yang tidak stabil dan melendut hingga 52,554 mm kemudian beban menurun secara drastis hingga mengalami patah pada lendutan akhir 78,445 mm.

Menurut Sulastri (2020) apabila analisis penyaluran sambungan lewatan dilakukan dengan benar maka balok dapat berfungsi dengan baik menyalurkan gaya pada tulangan dan penempatan sambungan yang tepat dapat meningkatkan kapasitas balok. Untuk balok dengan sambungan clamp setelah mencapai beban ultimitnya mengalami penurunan hingga 122 kN dan cenderung stabil melendut hingga 85,592 mm kemudian balok patah. Dalam kasus ini, balok dengan sambungan clamp memiliki lendutan yang lebih baik dibandingkan dengan balok normal maupun balok sambungan lewatan. Namun menurut hasil kuat lenturnya, balok sambungan lewatan memiliki nilai yang lebih baik meskipun kurang dari 5%.

Balok dengan sambungan mekanis clamp pada dasarnya merupakan sambungan lewatan dengan perpaduan pengikat tambahan berjenis clamp. Meskipun panjang penyaluran pada sambungan mekanis clamp nilainya jauh lebih kecil, tetapi dengan bantuan clamp yang dapat mengikat dengan kekuatan baut yang telah ditentukan menghasilkan lendutan yang lebih baik akibat dari gesekan tulangan dan clamp yang menahan. Namun, berdasarkan uji tarik *clamp* yang telah penulis lakukan belum mencapai performa maksimal dari clamp tersebut. Dengan perbandingan penelitian Ginting (2014), jika sambungan clamp dapat dioptimalkan kembali tidak

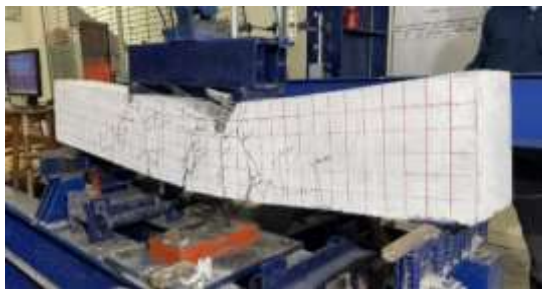
menutup kemungkinan performa sambungan *clamp* dapat meningkat.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Beban vs Lendutan Balok (Sumber: Hasil Olah Data Penelitian, 2022)

Pola Retak Balok

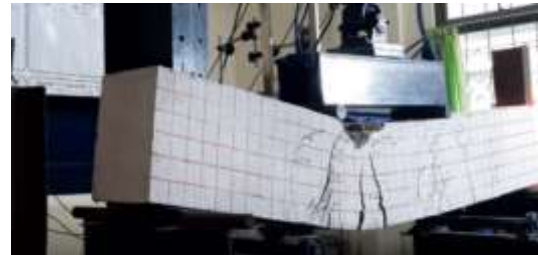
Selain dari perbedaan nilai kuat lentur, saat pengujian berlangsung dapat mengamati setiap peristiwa yang terjadi antara balok normal, balok sambungan clamp, dengan balok sambungan lewatan. Pola keretakan yang terjadi setiap balok relative sama, yaitu berawal dari retak lentur pada bagian tarik di tengah bentang balok yang selanjutnya bergerak ke atas. Pada beberapa sampel balok mengalami lendutan yang disebabkan oleh lelehnya baja tulangan hingga mencapai beban ultimitnya dan berakhir dengan terjadinya patahan pada balok.



Gambar 5. Kondisi Balok Normal Setelah Pengujian (Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2022)

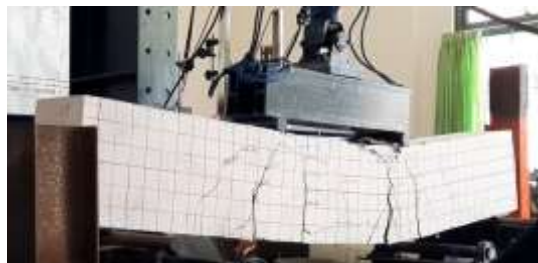
Pola keretakan pertama pada balok normal muncul pada beban 44 kN dengan jenis retak lentur di sekitar titik beban sebelah kiri (Gambar 5). Kemudian retakan merambat ke daerah tekan dan bertambah retakan baru di daerah tengah bentang balok dengan jenis retakan yang

sama. Jenis retakan yang ditemukan pada balok normal hanya jenis retak lentur. Patahan balok terbesar pada sisi tekan ini terjadi di tengah bentang balok dengan lendutan akhir 72,6 mm, setelah dilakukan pembongkaran balok terlihat baja tulangan yang telah mengalami leleh namun tidak putus dan hanya terjadi pembengkokan.



Gambar 6. Kondisi Balok *Clamp* Setelah Pengujian (Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2022)

Dalam perjalanannya mencapai beban ultimit, pembebanan bersifat sangat dinamis disertai munculnya retakan baru secara tiba-tiba. Kerusakan terparah balok berada di daerah beban sebelah barat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Jenis retakan yang ditemukan pada balok clamp hanyalah retak lentur, dengan dua retakan parah yang menjalar dari daerah tekan menuju daerah tarik persis dibawah beban titik. Selain itu untuk mengetahui kerusakan pada daerah tulangan dilakukan pembongkaran pada bagian tengah balok dan didapatkan hasil tulangan yang mengalami leleh telah putus dan terletak di daerah tepat sebelum sambungan.



Gambar 7. Kondisi Balok Lewatan Setelah Pengujian (Sumber: Dokumentasi Penelitian, 2022)

Pembebanan pada balok lewatan relative sama dengan sampel balok lainnya, hingga pada beban 45 kN muncul retak lentur pertama dari daerah tekan di tengah bentang balok. Retakan yang cukup parah terjadi pada tepat di bawah beban sebelah timur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Pembebanan bersifat dinamis hingga mencapai beban ultimitnya di 137,844 kN, yang merupakan beban tertinggi dari balok lainnya. Hal yang menarik adalah setelah beban mengalami penurunan pertama, beban meningkat pesat dibandingkan dengan balok lainnya dimulai pada beban 116,43 kN. Setelah itu, karena retak terparah terjadi tepat dibawah beban titik sebelah timur maka lendutan tertinggi tidak berada di tengah bentang melainkan di beban titik bagian timur.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis serta pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pengujian kuat lentur yang telah dilakukan menghasilkan nilai kekuatan lentur balok dengan sambungan normal sebesar 40,47 kNm, balok dengan sambungan lewatan sebesar 42,06 kNm, dan balok dengan sambungan mekanis *clamp* sebesar 41,16 kNm.
2. Kapasitas lendutan maksimum yang didapatkan pada balok normal sebesar 72,6 mm, balok sambungan lewatan sebesar 78,445 mm, dan balok dengan sambungan mekanis *clamp* sebesar 85,592 mm.
3. Berdasarkan nilai kuat lenturnya, balok dengan sambungan mekanis *clamp* belum bisa menggantikan balok dengan sambungan lewatan. Sedangkan jika melihat lendutan maksimal yang didapatkan pada setiap baloknya, balok dengan sambungan *clamp* dapat menjadi pertimbangan. Namun dalam

penelitian ini masih terdapat ketidaksesuaian dalam analisis panjang penyaluran, hal ini mengakibatkan performa lentur balok dengan sambungan lewatan menjadi tidak maksimal. Apabila panjang penyaluran yang diterapkan sesuai, tidak menutup kemungkinan balok dengan sambungan lewatan dapat mengungguli balok dengan sambungan mekanis *clamp*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan Terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia atas pendanaan yang telah diberikan melalui skema Hibah Internal Jurusan Teknik Sipil FTSP UII yang tertera dalam surat No:120/Ka. Jur/20/TS/IX/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. 2019. SNI - 2847 - 2019 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan dan Penjelasan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Dipohusodo, I. 1999. Struktur Beton Bertulang *SK. SNI T-15-1991-03*. 1–527.
- Ginting, J. F. 2014. Usulan Clamp Sebagai Sambungan Mekanis.
- Mahlisani, N., & Teguh, M. 2014. *Flexural performance of RC beams strengthened.pdf*. 12 m, 283–292.
- Nasional, B. S. 2019. Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019). Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung, 8, 695.
- Nugroho, J. A. 2012. perilaku sambungan mekanis jenis *clamping (the behavior of clamping types mechanical connections towards lap splice length)*.
- Sulastri, S. 2020. Perbandingan Perilaku Balok Tanpa Sambungan Lewatan Dan Balok Dengan Sambungan Lewatan.