

Kuat Lentur Balok Tanpa Tulangan dengan Kemiringan Sambungan 45° di Setengah dan Seperempat Bentang

Fajar Surya Herlambang¹, I.G.A. Neny Purnawirati²

Politeknik Negeri Semarang, Jl. Prof. Sudarto, SH., Semarang, Jawa Tengah, 50275, Indonesia

Politeknik Negeri Bali, Jl. Kampus, Bukit Jimbaran, Badung Selatan, Bali, 80361, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata kunci:

Sambungan beton; Kuat lentur beton; Pola patah balok beton.

Correspondence Email:

nenypurnawirati@pnb.ac.id

Submitted: 15-01-2025

Revised: 06-02-2025

Accepted: 09-02-2025

Published: 09-02-2025

ABSTRAK

Proses pengecoran beton di proyek sering kali tidak dapat diselesaikan dalam satu rangkaian pengecoran. Hal ini bisa terjadi karena metode pelaksanaan yang diterapkan bertahap, area pengecoran yang sangat luas sehingga volume beton sangat besar maupun keterbatasan tenaga kerja, peralatan dan bahan. Akibatnya akan terjadi sambungan pengecoran. Tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi bagaimana variasi kemiringan pada sambungan balok tanpa tulangan mempengaruhi kekuatan lenturnya dan membandingkan kekuatan lentur antara balok tanpa tulangan dengan berbagai kemiringan sambungan untuk mengetahui apakah ada perbedaan signifikan dalam kekuatan lenturnya. Metode penelitian yang digunakan adalah dengan membuat beberapa benda uji balok tanpa tulangan dengan dimensi yang sama, tetapi dengan variasi kemiringan sambungan dan menggunakan mesin uji lentur untuk memberikan beban terpusat atau beban terdistribusi pada benda uji. Hal yang menjadi perdebatan di lapangan adalah dimanakah pengecoran sebaiknya dihentikan dan untuk menjawab pertanyaan tersebut maka dilakukan penelitian ini. Pendekatan dilakukan dengan menguji kuat lentur balok beton berukuran 15x20x120 cm. Kuat tekan beton yang digunakan adalah $f'c$ 20. Balok ini tanpa tulangan. Jadi akan diketahui perilaku betonnya tanpa dipengaruhi tulangan. Pengecoran balok dilakukan 2 tahap dengan selisih waktu pengecoran 1 hari dan sudut kemiringan sambungan adalah 45°. Sambungan dilakukan pada posisi $\frac{1}{4}$ dan $\frac{1}{2}$ bentang balok. Sebagai bentuk perkuatan pada sambungan ditambahkan lem beton. Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur beton 14, 21 dan 28 hari. Hasil pengujian diketahui bahwa semua balok yang memiliki sambungan, patah pada sambungannya dengan pola patah sesuai penyambungan. Secara keseluruhan balok yang memiliki sambungan kuat lenturnya turun hingga 75%. Dengan demikian proses pengecoran yang tidak tuntas akan menghasilkan sambungan beton yang memiliki resiko sama dan tidak dapat ditentukan mana yang lebih baik antara penyambungan di $\frac{1}{4}$ ataupun $\frac{1}{2}$ bentang. Hal tersebut membuktikan bahwa sambungan beton merupakan titik yang rawan terjadinya patah akibat lentur.

Keywords:

Concrete joints; Flexural bending capacity; Broken pattern of concrete beams.

ABSTRACT

Concrete casting processes in projects often cannot be completed in a single, continuous pour. This can be due to staged construction methods, extensive casting areas resulting in large concrete volumes, or limitations in manpower, equipment, and materials. Consequently, construction joints become necessary. This study aims to identify how variations in the inclination of joints in unreinforced concrete beams affect their flexural strength. Additionally, it seeks to compare the flexural strength between unreinforced beams with varying joint inclinations to determine if there are significant differences in their load-carrying capacity. The research method involves casting several unreinforced concrete beam specimens with identical dimensions but varying joint inclinations. A flexural testing machine is then used to apply concentrated or distributed loads to these specimens. A common point of contention in the field is where the concrete casting should ideally be stopped. This research aims to address this question. The approach involves testing the flexural strength of concrete beams measuring 15x20x120 cm with a concrete compressive strength ($f'c$) of 20 MPa. These beams are unreinforced, allowing for the observation of concrete behavior without the influence of reinforcement. The beam casting is carried out in two stages with a 1-day interval between pours, and the joint inclination is set at 45 degrees. The joints are positioned at $\frac{1}{4}$ and $\frac{1}{2}$ of the beam span. Concrete adhesive is added to the joints as a reinforcement measure. Flexural strength tests are conducted at concrete ages of 14, 21, and 28 days. The test results indicate that all beams with joints fractured at the joint, with the fracture pattern following the joint line. Overall, the flexural strength of beams with joints decreased by up to 75%. Therefore, incomplete concrete casting processes result in concrete joints that pose equal risks, and it cannot be determined whether joining at $\frac{1}{4}$ or $\frac{1}{2}$ of the span is preferable. This demonstrates that concrete joints are vulnerable points prone to flexural failure

PENDAHULUAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi Pengaruh Lokasi Sambungan agar dapat menentukan bagaimana lokasi sambungan dengan kemiringan 45° pada balok tanpa tulangan (setengah bentang dan seperempat bentang) mempengaruhi kekuatan lenturnya, membandingkan kekuatan lentur antara balok tanpa tulangan dengan sambungan di setengah bentang dan seperempat bentang untuk mengetahui apakah ada perbedaan signifikan dalam kekuatan

lenturnya. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai perilaku lentur balok tanpa tulangan dengan sambungan miring, khususnya terkait pengaruh lokasi sambungan terhadap kekuatan lentur. Proses pengecoran beton di proyek sering kali tidak dapat diselesaikan dalam satu rangkaian pengecoran karena beberapa sebab seperti metode pelaksanaan yang diterapkan bertahap, area pengecoran yang sangat luas maupun keterbatasan tenaga kerja, peralatan dan bahan. Pada rangkaian pengecoran berikutnya akan terjadi sambungan beton antara beton yang mulai mengeras dengan beton segar. Persoalan yang muncul terhadap sambungan adalah 1) keraguan terhadap kekuatan sambungan karena memikul beban dan 2) penentuan lokasi penyetonan pengecoran harus tepat yang sekiranya dapat memberikan resiko paling kecil terhadap ketidakmampuan struktur memikul beban. Selain dua persoalan tersebut perlu juga diketahui kekuatan sambungan pada umur beton tertentu karena hal ini terkait langsung dengan waktu pembukaan acuan dan perancah. Proyek-proyek berskala besar tidak mungkin menghindari adanya sambungan beton. Penelitian tentang sambungan beton itu dilakukan dengan membandingkan nilai momen antara balok tanpa sambungan dengan balok yang memiliki sambungan. Sambungan yang diberikan terletak ditengah bentang dengan sudut penyambungan 90° dan diberi sebuah tulangan angkur. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa kenaikan mutu beton akan menurunkan nilai momen dan nilai momen dari kedua tipe benda uji tersebut tidak berbeda jauh dengan kecenderungan momen balok sambungan dengan tulangan nilainya lebih kecil (Gerges et al, 2016). Hal lain yang dilakukan untuk memperkuat sambungan beton adalah dengan memberi lem menggunakan lem beton. Pengujian yang dilakukan berupa uji kuat tekan memakai benda uji berbentuk silinder 15x30 cm, dan uji kuat lentur balok 15x15x60 cm. dari serangkaian uji coba diketahui bahwa sambungan beton yang menggunakan lem Styrobond lebih kuat dibandingkan dengan sambungan tanpa menggunakan lem beton (Yahya, 2018). Penggunaan bonding agent juga dapat meningkatkan kekuatan beton yang disambung. Namun demikian jika dibandingkan dengan yang tanpa sambungan kekuatannya tetap mengalami penurunan (Dybel & Wafach, 2017). Oleh karena itu pada penelitian ini sambungan tetap diberi lem beton dalam upaya mencapai kemampuan lebih baik. Demikian juga dengan pemilihan sudut sambungan 45° yang dinyatakan lebih baik dari pada sudut sambungan 60° (Setiawan et al, 2021)

Cara yang dapat dilakukan adalah dengan mengoptimalkan campuran beton dan lebih banyak menggunakan bahan tambah kimia seperti polimer yang dimodifikasi dengan bahan turunan silika yang diperoleh dari fly ash (Franczak et al, 2024). Fly ash merupakan salah satu sisa hasil dari pembakaran batu bara, dan limbah batu bara ini telah menjadi kekhawatiran di banyak negara dalam beberapa tahun terakhir. Negara negara seperti Tiongkok, Amerika Serikat, dan India merupakan konsumen batu bara terbesar di dunia yakni 70% dari total seluruh konsumsi global (Sahoo & Selvaraju, 2020). Hasil pengujian selama 28 hari menunjukkan kuat tekan yang lebih tinggi untuk umur uji 7 hingga 28 hari. Kekuatan beton meningkat seiring dengan berkurangnya ukuran partikel. Efek ini menjadi lebih nyata pada tahap awal dengan rasio air terhadap semen yang rendah (Lekhya & Kumar, 2024). Penggunaan abu terbang dalam jumlah besar hingga 45% dapat dicampur ke dalam campuran beton dan hasilnya menunjukkan kekuatan dan perkembangan. Penggunaan abu terbang 75% memungkinkan mempertahankan kekuatan beton. Hal ini bisa menjadi cara memproduksi beton rendah karbon untuk menerapkan konstruksi berkelanjutan dengan dampak yang lebih kecil terhadap lingkungan (Zhao et al, 2024). Penggunaan abu terbang ke dalam material semen memungkinkan mengatur waktu pengerasan, meningkatkan pori pori terkait penyusutan dan mengurangi penyusutan tersebut.

Penyusutan pada 28 hari sebesar 0,30CR (0,40CR) dimitigasi sebesar 47,3% sebagai hasil dari penambahan 70% fly ash (Hu et al., 2024). Penggabungan agregat ringan dalam campuran beton memungkinkan untuk mengurangi konduktivitas termal hingga 53% dan konduktivitas termal hingga 41%, dibandingkan dengan beton normal. Kadar air apapun komposisi betonnya, berdampak negative pada kinerja termal dengan peningkatan konduktivitas termal dengan peningkatan konduktivitas termal dan difusivitas yang juga tercermin dalam ekspansi analitis (Gomes et al, 2021). Penambahan insulasi memberikan hasil yang signifikan, pengurangan konsumsi energi operasional sekaligus mengurangi dampak relative massa termal non insulasi pada selubung bangunan (Zilberberg et al, 2021). Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui lebih jauh pengaruh sambungan balok beton terhadap pengujian kuat lentur balok dengan 1 titik pembebanan, pola patah balok akibat adanya sambungan sehingga dapat menentukan titik stop pengecoran dilakukan dan pada umur berapa sebaiknya pembongkaran acuan dan perancah dilakukan.

METODE

Penelitian ini akan membandingkan hasil uji antara balok beton yang tidak memiliki sambungan dengan balok yang memiliki sambungan. Balok beton yang dibuat memiliki dimensi 15 x 20 x 120 cm. Pengecoran dilakukan 2 kali dengan selisih pengecoran 1 hari. Sambungan betonnya dibuat membentuk sudut 45° pada jarak ¼ dan ½ bentang. Sambungan beton diberi lem beton sebelum dilakukan pengecoran tahap ke 2. Lem beton yang digunakan yaitu Sikacim Bonding Adhesive sesuai gambar 1. Komposisi lem beton sesuai dengan aturan pemakaian yaitu perbandingan campuran 1 bagian air, 1 bagian *Sikacim Bonding Adhesive* dan 2 bagian semen. Perencanaan campuran

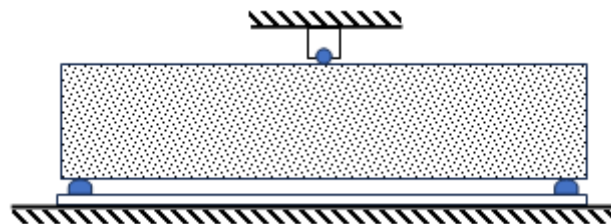
beton merupakan suatu hal yang kompleks jika dilihat dari perbedaan sifat dan karakteristik dan sumber materialnya. Kualitas dan kuantitas material penyusun tersebut akan menyebabkan variasi mutu dari produk beton yang dihasilkan (Suhendra, 2018)



Gambar 1. Lem Beton yang digunakan

Sumber : Purnawirati (2024)

Pengujian kuat lentur dilakukan pada umur beton 14, 21 dan 28 hari dihitung dari tahap pengecoran ke 2. Uji lentur dilakukan berdasarkan (Badan Standar Nasional, 2014) yaitu dengan 1 titik pembebanan dengan skema pengujian sebagai berikut:



Gambar 2. Skema Pengujian Kuat Lentur

Sumber : Purnawirati (2024)

Perhitungan kuat lentur berdasarkan persamaan berikut ini:

$$f_{lt} = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

Dimana:

f_{lt} = kuat lentur, Mpa

P = beban maksimum yang mengakibatkan keruntuhan balok uji, N

L = panjang bentang diantara kedua blok tumpuan, mm

b = lebar balok rata-rata pada penampang runtuh, mm

d = tinggi balok rata-rata pada penampang runtuh, mm

HASIL

Beton merupakan salah satu material konstruksi yang banyak dipakai di Indonesia, jika dibandingkan dengan penggunaan material kayu dan baja, ada dua metode pekerjaan beton yaitu metode konvensional dan metode *precast* (Purnawirati, 2024). Mutu beton rencana yang digunakan dalam penelitian ini adalah $f_c'20$ namun dalam perancangannya didapat hasil yang sedikit lebih besar dari mutu rencana yakni pada kisaran 22 MPa atau 23,8 MPa sesuai dengan hasil uji tekan benda uji silinder pada pelaksanaan job mix design. Hasil uji kuat tekan ditunjukkan pada tabel 1

Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tekan Job Mix Design

Kode Sampel	Umur Beton (hari)	Berat benda uji (kg)	Beban Hancur		Bidang tekan (mm ²)	Kuat Tekan		
			(kN)	(N)		Sesuai Hari (N/mm ²)	Konversi ke-28 hari (N/mm ²)	Rata-rata (N/mm ²)
S1	7	10,9	278	278000	17671,5	15,73	24,2	23,8
S2	7	10,8	312	312000	17671,5	17,66	27,2	
S3	14	10,6	352	352000	17671,5	19,92	22,6	
S4	14	11,0	366	366000	17671,5	20,71	23,5	
S5	28	10,6	398	398000	17671,5	22,52	22,5	
S6	28	10,5	402	402000	17671,5	22,75	22,7	

Sumber : Data olahan (2024)

Pengecoran balok uji dilakukan bertahap dengan selisih pengecoran 1 hari. Oleh karena itu pengecoran berhenti pada ¼ dan ½ bentang. Hasil pengecoran tahap 1 diperlihatkan pada gambar 2. Kelanjutan pengecoran didahului dengan pemberian lem beton dengan komposisi dan cara yang telah ditentukan oleh produsen. Lem diberikan merata ke seluruh permukaan sambungan dan saat masih basah dilanjutkan pengecoran hingga selesai. Rangkaian pemberian lem beton ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Pengecoran Balok Uji

Sumber : Data olahan (2024)



Gambar 4. Pencampuran Lem beton dan Pemberian Lem Beton pada Permukaan yang akan disambung

Sumber : Data olahan (2024)

Rangkaian proses pengecoran mengalami kesulitan. Yaitu pemadatan pada akhir pengecoran pada titik di mana beton akan berhenti dengan kemiringan 45°. Hasil pemadatan dirasa tidak maksimal karena beton terus bergerak saat dipadatkan. Oleh karena itu saat pengecoran sesungguhnya di proyek perlu diberikan stop cor yang bersifat kuat menerima tekanan beton saat dilakukan pemadatan dan upaya memperkuat sambungan dengan menambahkan lem tetap harus dilakukan untuk menjaga kerapatan dari sambungan sehingga terhindar dari kebocoran.

Pembukaan cetakan dilakukan pada umur 6 hari dengan harapan beton sudah bisa menahan beratnya sendiri sehingga tidak mengalami lendutan dan dalam kondisi yang baik. Balok beton benda uji hasil pengecoran ditunjukkan pada Gambar 4. Beton hasil pengecoran tidak menunjukkan adanya keropos atau retak-retak namun terlihat adanya sambungan



Gambar 5. Benda Uji Balok

Sumber : Data olahan (2024)

Pengujian Kuat Lentur dilakukan pada umur sambungan 14, 21 dan 28 hari. Metode pengujian sesuai dengan SNI-4154-2014 tentang Metode uji kekuatan lentur beton (menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang). Pelaksanaan pengujian ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan hasil uji dapat dilihat pada table 2, 3 dan gambar 6.



Gambar 6. Uji Kuat Lentur Balok

Sumber : Data olahan (2024)

Tabel 2. Perhitungan Kuat Lentur Berdasarkan Umur Benda Uji

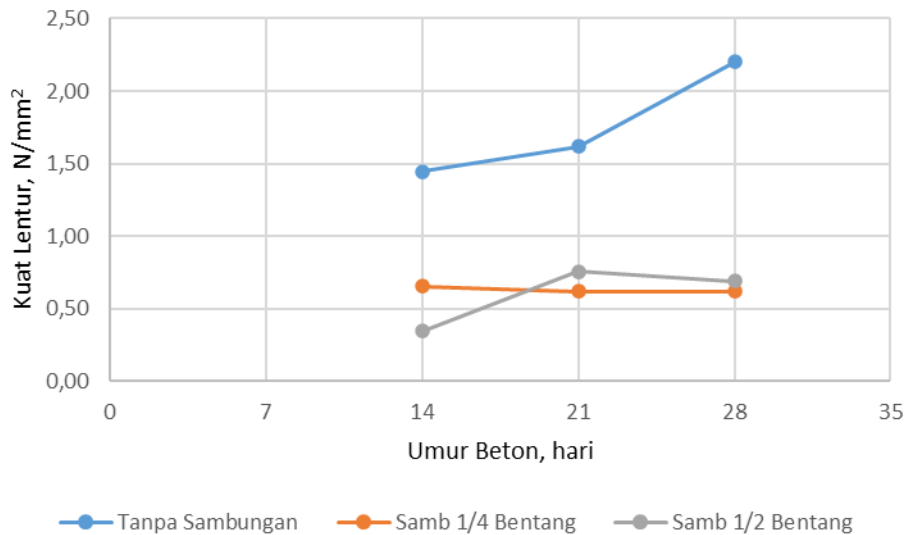
Tipe Benda Uji	Berat (kg)	Beban Lentur, P		L (mm)	b (mm)	h (mm)	$3PL$	$2bh^2$	Kuat Lentur (Mpa)	
		(divisi)	(N)						Benda Uji	Rata-rata
Umur 14 hari										
Tanpa Sambungan	73,8	10	5000	1100	150	200	16500000	12000000	1,38	1,44
	74	11	5500	1100	150	200	18150000	12000000	1,51	
Sambungan ¼ bentang	69,8	4,5	2250	1100	150	200	7425000	12000000	0,62	0,65
	69,5	5	2500	1100	150	200	8250000	12000000	0,69	
Sambungan ½ bentang	69,8	2,5	1250	1100	150	200	4125000	12000000	0,34	0,34
	71,3	2,5	1250	1100	150	200	4125000	12000000	0,34	
Umur 21 hari										
Tanpa Sambungan	72,7	12,5	6250	1100	150	200	20625000	12000000	1,72	1,62
	71,5	11	5500	1100	150	200	18150000	12000000	1,51	
Sambungan ¼ bentang	74,9	4	2000	1100	150	200	6600000	12000000	0,55	0,62
	72,5	5	2500	1100	150	200	8250000	12000000	0,69	
Sambungan ½ bentang	73,3	5	2500	1100	150	200	8250000	12000000	0,69	0,76
	74,6	6	3000	1100	150	200	9900000	12000000	0,83	
Umur 28 hari										
Tanpa Sambungan	69	15,5	7750	1100	150	200	25575000	12000000	2,13	2,20
	69	16,5	8250	1100	150	200	27225000	12000000	2,27	
Sambungan ¼ bentang	70	5	2500	1100	150	200	8250000	12000000	0,69	0,62
	71	4	2000	1100	150	200	6600000	12000000	0,55	
Sambungan ½ bentang	71	4	2000	1100	150	200	6600000	12000000	0,55	0,69
	71	6	3000	1100	150	200	9900000	12000000	0,83	

Sumber : Data olahan (2024)

Tabel 3. Resume Hasil Pengujian Kuat Lentur Sesuai Umur Beton

Umur Beton (hari)	Tanpa Sambungan	Sambungan pada ¼ Bentang		Sambungan pada ¼ Bentang	
	Kuat Lentur (N/mm ²)	Kuat Lentur (N/mm ²)	Penurunan (%)	Kuat Lentur (N/mm ²)	Penurunan (%)
14	1,44	0,65	54,76	0,34	76,19
21	1,62	0,62	61,70	0,76	53,19
28	2,20	0,62	71,88	0,69	68,75

Sumber : Data olahan (2024)



Gambar 7. Grafik Nilai Kuat Lentur Balok dengan Sambungan pada berbagai Umur Beton

Sumber : Data olahan (2024)

Dari gambar 6 dapat dengan mudah diketahui bahwa kuat lentur balok tanpa sambungan nilainya lebih besar dari pada balok yang memiliki sambungan. Penurunan nilai kuat lentur balok dengan sambungan diperlihatkan pada table 3. Nilai penurunan kuat lenturnya mencapai kisaran 50% hingga 75%. Penurunan ini sangat signifikan baik pada berbagai umur beton maupun pada semua lokasi sambungan. Nilai kuat lentur ditinjau dari umur beton mengalami penurunan pada semua umur. Penurunan terbesar terlihat pada umur 28 hari karena selisih nilai kuat lentur yang sangat besar. Namun jika diperhatikan lebih jauh, nilai kuat lentur balok dengan sambungan pada semua umur pengamatan cenderung tetap sehingga variable umur tidak mempengaruhi kekuatan lentur balok dengan sambungan.

Nilai kuat lentur ditinjau dari posisi sambungan juga memperlihatkan pola yang sama dengan tinjauan umur. Dimana pada posisi sambungan di mana saja nilai kuat lenturnya cenderung tetap dalam pengertian perubahannya sedikit. Dengan demikian nilai kuat lentur berdasarkan tinjauan umur beton dan posisi sambungan cenderung sama. Hal tersebut membuktikan bahwa sambungan pengecoran pada balok merupakan titik lemah dan harus mendapat perhatian lebih. Balok dengan beban terpusat di tengah bentang akan menerima momen maksimal di tengah bentang yang berarti terjadi gaya Tarik pada bagian bawah penampang balok. Pola patah ditunjukkan pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 8. Pola Patah Benda Uji Akibat Beban Lentur pada Berbagai Umur Beton

Sumber : Data olahan (2024)

Pada gambar 8 di bawah ini dapat dilihat bahwa benda uji tanpa sambungan mengalami patah di tengah bentang dengan pola patah tegak lurus sumbu batang sesuai dengan teori. Retak pada balok tanpa sambungan dan tanpa tulangan ini tegak lurus sumbu batang balok sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan pola retak balok menunjukkan arah yang tegak lurus di daerah momen murni (Setiawan, 2016)). Sedangkan pada benda uji balok beton dengan sambungan, ternyata pola patahnya sesuai dengan sambungan yang diberikan yaitu pada 1/2 dan 1/4 bentang serta membentuk sudut 45°. Hal itu sesuai dengan pola sambungan yang diterapkan dalam penelitian ini. Dengan demikian diketahui bahwa patah balok uji terjadi sesuai dengan kaidah teori dan posisi sambungannya. Hal ini bahwa sambungan merupakan wilayah yang paling lemah dan berpotensi menjadi lokasi patahnya balok. Analisis kuat lentur terhadap kondisi pengecoran di proyek adalah penyambungan beton yang terjadi karena proses pengecoran dalam volume yang besar berlangsung tidak dalam satu periode atau metode pelaksanaan yang diterapkan menyebabkan pengecoran harus dilakukan secara bertahap. Titik setop atau penyambungan sering kali menjadi topik

yang dibicarakan secara serius dan mengerucut pada pilihan di tengah ($\frac{1}{2}$ bentang) atau pada tepi ($\frac{1}{4}$ bentang). Secara mekanika teknik kedua pilihan memiliki resiko yang sama tidak baiknya namun dengan penyebab yang berbeda. Pilihan sambungan beton di tengah ($\frac{1}{2}$ bentang) memiliki resiko kerusakan lendut karena momen maksimum ada di tengah bentang. Dimana momen akan menimbulkan lendutan sehingga pada penampang balok akan timbul gaya Tarik dan tekan. gaya Tarik inilah yang membuat balok patah dan kejadian patah terjadi di tengah bentang. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sambungan beton di tengah bentang akan patah karena momen. Pilihan sambungan beton di tepi ($\frac{1}{4}$ bentang) juga beresiko kerusakan karena nilai gaya geser yang besar di daerah menjelang tepi. Gaya geser ini akan membuat penampang balok seperti terpotong. Posisi patah pada sambungan tepi ($\frac{1}{4}$ bentang) terjadi juga di lokasi sambungan berada. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa sambungan beton di tepi bentang akan patah karena gaya geser. Karena hasil penelitian menunjukkan balok patah pada sambungannya maka perlu diperhatikan penulangan yang baik karena pada proses pembebanan akan timbul gaya Tarik akibat momen atau lendutan.

SIMPULAN

Berdasarkan proses uji kuat lentur dan analisis yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan bahwasanya benda uji balok beton yang memiliki sambungan baik itu di tengah maupun tepi bentang memiliki nilai kuat lentur yang lebih rendah dari benda uji tanpa sambungan. Penurunan nilai kuat lentur tersebut tidak tergantung pada umur beton artinya di semua umur beton terjadi penurunan kuat lentur yang besarnya penurunannya mencapai kisaran 50% hingga 75%. Mendapati seluruh benda uji dengan sambungan patah disambungannya maka dapat dikatakan bahwa tidak ada lokasi yang terbaik untuk penyambungan beton.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ini, kami sampaikan kepada para mahasiswa Politeknik Negeri Bali yang telah membantu dalam kegiatan selama praktek di laboratorium bahan dan material, dan kami sangat berterima kasih pada editor serta penilai yang telah membantu meningkatkan kualitas dari penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Dybeł, P., & Wałach, D. (2017). Evaluation of the development of bond strength between two concrete layers. In *IOP conference series: Materials science and engineering* (Vol. 245, No. 3, p. 032056). IOP Publishing.
- Gerges, N. N., Issa, C. A., & Fawaz, S. (2016). The effect of construction joints on the flexural bending capacity of singly reinforced beams. *Case Studies in Construction Materials*, 5, 112-123.
- Gomes, M. G., Rodrigues, A. M., Bogas, J. A., & Freitas, A. (2021). Thermophysical properties under different hygroscopic conditions of an innovative composite concrete pre-walls system. *Construction and Building Materials*, 307, 124938.
- Grzegorzczak-Frańczak, M., Janek, M., Szelağ, M., Panek, R., & Materak, K. (2024). Modification of the polymeric admixture based on polycarboxylate ether using silica-derived secondary materials obtained from fly ash and the efficiency of its application in concrete. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03903.
- Hu, D., Hu, N., Ben, S., Zhao, H., Chen, S., & Xiang, Y. (2024). Multiscale prediction model for autogenous shrinkage of early-age concrete incorporating high volume fly ash. *Journal of Building Engineering*, 98, 111281
- Lekhya, A., & Kumar, N. S. (2024). A study on the effective utilization of ultrafine fly ash and silica fume content in high-performance concrete through an experimental approach. *Heliyon*, 10(22).
- Nasional, B. S. (2014). Metode Uji Kekuatan Lentur Beton (menggunakan balok sederhana dengan beban terpusat di tengah bentang). *SNI*, 4154, 2014.
- Purnawirati, I. N., & Herlambang, F. S. (2024). Biaya dan Waktu pada Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Balok Precast dan Balok Konvensional. *Jurnal Talenta Sipil*, 7(2), 829-835.
- Sahoo, S., & Selvaraju, A. K. (2020). Mechanical characterization of structural lightweight aggregate concrete made with sintered fly ash aggregates and synthetic fibres. *Cement and Concrete Composites*, 113, 103712.
- Setiawan, A. F., Natalius, D., & Karmela, J. (2021). Studi Eksperimental Pengaruh Sudut Kemiringan Penyambungan Balok Beton dengan Bondcrete Terhadap Kuat Lentur Beton. *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, 5(1), 69-75.
- Setiawan, D. B. (2016, October). Pola Retak Lentur Geser Balok Beton Bertulang Dengan Orthotropic Model. In *Prosiding Sentrinov (Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif)* (Vol. 2, No. 1, pp. 100-110).
- Suhendra, S. (2018). Kajian Pengaruh Variasi Material Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Civronlit Unbari*, 3(1), 55-62.
- Yahya, A. T. (2018). Perbandingan Kuat Lentur Sambungan Beton Keras Dan Beton Segar Menggunakan Bahan Tambah Lem Beton Styrobond Sebagai Perekat Dan Sambungan Tanpa Lem Beton.

- Zhao, M., Li, J., Li, C., & Shen, J. (2024). Experimental study and prediction of the long-term strength development of high-flowability concrete made of mixed sand and high-content fly ash. *Construction and Building Materials*, 437, 137043.
- Zilberberg, E., Trapper, P., Meir, I. A., & Isaac, S. (2021). The impact of thermal mass and insulation of building structure on energy efficiency. *Energy and Buildings*, 241, 110954.