

Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis Tipe Threaded Coupler

(The Comparison of Flexural Performance of Reinforced Concrete Beam With Lap Splice and Threaded Coupler-Type Mechanical Splices)

Zaneta Ambarwati¹ dan Jafar^{1*}

¹ Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
Jalan Kaliurang KM 14,4, Sleman, Yogyakarta, Indonesia 55584

ARTICLE INFO

Article history

Received : 12 July 2022

Revised : 22 August 2022

Accepted : 10 September 2022

DOI :

<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.4192>

Keywords :

flexural moment; lap splice;

mechanical splice;

reinforced concrete beam;

*e-mail corresponding author :

jafar@uii.ac.id

ABSTRAK

Dalam dunia konstruksi terdapat beberapa cara untuk menyambung tulangan yakni dengan cara penyaluran lewatan (*Lap Splice*), pengelasan (*welded*), dan mekanis. Penelitian ini membandingkan kinerja lentur balok beton bertulang dimana tulangannya disambung dengan cara penyaluran lewatan (*Lap Splice*) dan mekanis tipe *threaded coupler*. Ukuran balok beton bertulang yang digunakan sebagai benda uji adalah 200×300×2000 mm dengan nilai f_c 25 MPa. Tiga balok benda uji disiapkan dalam penelitian ini yakni, balok tanpa sambungan tulangan, balok dengan sambungan lewatan, dan balok dengan sambungan mekanis. Dari pengujian laboratorium yang dilakukan didapatkan nilai momen nominal (M_n) untuk balok beton bertulang dengan sambungan lewatan dan sambungan mekanis tipe *coupler* berturut-turut sebesar 42,231 MPa, dan 29,436 MPa. Beban maksimum terdapat pada balok dengan sambungan lewatan yakni sebesar 138,85 kN. Dari nilai momen nominal dan beban maksimum yang diperoleh dapat dilihat bahwa balok dengan sambungan lewatan dapat menanggung beban terbesar. Dari segi daktilitas, balok dengan sambungan *coupler* cenderung lebih getas (tidak daktil) jika dibandingkan dengan balok dengan sambungan lewatan. Oleh karena itu, meskipun sambungan mekanis tipe *coupler* memiliki benefit, namun belum mampu menggantikan sambungan lewatan pada balok beton bertulang dari segi kekuatan dan daktilitas. Kegagalan sambungan mekanis terjadi pada bagian tulangan yang dibubut untuk keperluan penyambungan dengan *coupler*.

PENERBIT

UNITRI PRESS

Jl. Telagawarna, Tlogomas-
Malang, 65144, Telp/Fax:
0341-565500

This is an open access article under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License**. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA



ABSTRACT

In the construction world, there are several ways to connect reinforcement: lap splice, welding, and mechanical. This study compares the flexural performance of reinforced concrete beams where the reinforcement is connected by lap splice and mechanical threaded coupler type. The size of the reinforced concrete beam used as the test object is 200×300×2000 mm, with an f_c value of 25 MPa. Three test specimen beams were prepared in this study: beams without reinforcement joints, beams with lap joints, and beams with mechanical joints. From the laboratory tests, the nominal moment values (M_n) for reinforced concrete beams with lap joints and mechanical coupler-type connections were 42.231 MPa and 29.436 MPa, respectively. The maximum load is on the beam with lap joints of 138.85 kN. From the nominal moment value and maximum load obtained, it can be seen that the beam with lap joints can bear the most significant load. Regarding ductility, beams with coupler connections tend to be more brittle (non-ductile) when compared to beams with lap joints. Therefore, although the coupler-type mechanical connection has benefits, it has yet to be able to replace the lap joints in reinforced concrete beams in terms of strength and ductility. Mechanical connection failure occurred in the reinforcement section, which was turned to connect with the coupler.

Cara Mengutip : Ambarwati, Z., Jafar, J. (2022). The Comparison of Flexural Performance of Reinforced Concrete Beam With Lap Splice and Threaded Coupler-Type Mechanical Splices. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 7 (2), 114-128 . doi:<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.4192>

1. PENDAHULUAN

Beton bertulang adalah perpaduan antara beton dan besi tulangan. Beton dikenal sebagai material yang memiliki ketahanan yang baik dalam menahan gaya tekan sedangkan dan baja tulangan adalah material yang sangat baik dalam menahan gaya tarik. Perpaduan dari keduanya menghasilkan elemen struktur yang kuat dalam menahan gaya desak dan tarik [1].

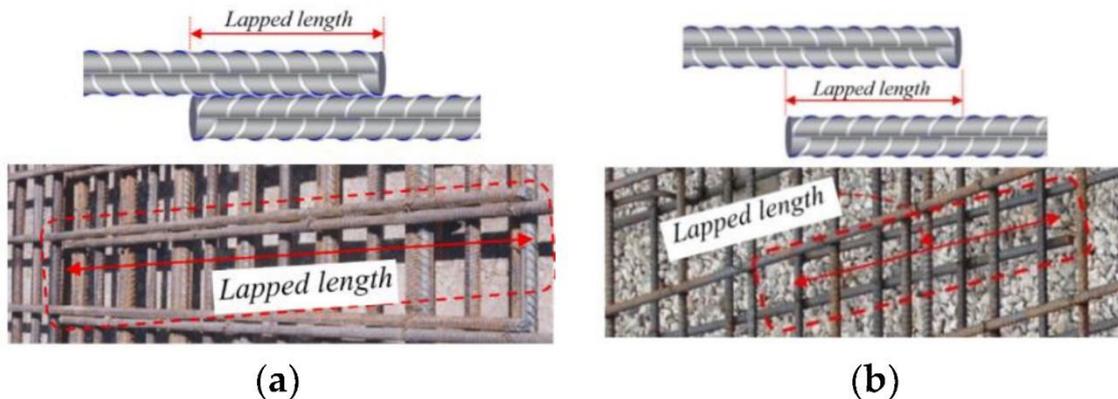
Atas alasan proses produksi dan transportasi, batang tulangan beton bertulang yang ada di pasar diproduksi dengan panjang yang terbatas [2], [3]. Padahal dalam konstruksi, panjang tulangan yang diperlukan melebihi panjang yang tersedia. Masalah ini dapat diselesaikan melakukan penyambungan tulangan. Penyambungan tulangan memainkan peran penting dalam respons elemen dan struktur beton bertulang untuk mentransfer tegangan dari satu batang ke batang tulangan lainnya dalam beton bertulang [4]. Dalam proses pelaksanaannya, terdapat beberapa cara untuk menyambung baja tulangan yakni dengan cara penyaluran lewatan (*Lap Splice*), pengelasan (*welded splice*), dan penyambungan mekanis [5][6]. Sambungan lewatan adalah cara penyambungan yang dilakukan dengan memberikan lewatan (*overlapping*) batang tulangan yang sejajar dengan panjang tertentu [4]. Sambungan lewatan adalah jenis sambungan yang paling sederhana. Namun demikian, ada beberapa kekurangan dari sambungan tipe ini yaitu (i) terjadinya penumpukan jumlah tulangan di area yang disambung, (ii) mengurangi kapasitas kekuatan dan displesmen ketika ada sambungan di area yang memungkinkan terjadinya deformasi inelastik [7]. Tipe sambungan yang berikutnya adalah sambungan mekanis. Dalam sambungan mekanis, tulangan disatukan/disambungkan dengan menggunakan elemen penyambung (*coupler*). Salah satu jenis sambungan mekanis yang dapat digunakan adalah sambungan mekanis tipe *coupler*. Sambungan ini menggunakan konektor berupa *threaded coupler* untuk menyatukan dua ujung tulangan. Sambungan *threaded coupler* tidak memerlukan pekerja terampil khusus untuk pembuatannya, namun kualitas yang stabil dapat menjamin dan memiliki kekuatan pengikat yang sangat baik, oleh karena itu jenis sambungan ini digunakan secara luas di lapangan [8].

Penelitian ini berawal dari pertanyaan apakah sambungan baja tulangan tipe mekanis *coupler* bisa menggantikan sambungan lewatan yang saat ini umum digunakan dalam konstruksi. Penelitian sejenis belum banyak dilakukan. Padahal penggunaan sambungan mekanis berpotensi mengurangi penggunaan baja tulangan yang tentunya menguntungkan dari sisi ekonomi dan juga lingkungan [9]. Oleh karena itu, penelitian ini membandingkan kinerja lentur balok beton bertulang dimana tulangan yang digunakan disambung dengan metode sambungan lewatan (*Lap Splice*) dan sambungan mekanis tipe *threaded coupler*. Di samping itu, perfoma lentur balok beton bertulang tersebut juga akan dibandingkan dengan balok beton bertulangan yang tidak menggunakan sambungan tulangan.

1.1 Sambungan lewatan

Sambungan lewatan adalah metode penyambungan tulangan yang paling umum digunakan dalam konstruksi dibandingkan dengan metode lainnya karena efisiensi dan kesederhanaan dalam pengerjaannya [10]. Sambungan lewatan dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yakni kontak dan non-kontak (lihat Gambar 1). Pada sambungan lewatan tipe

kontak, tulangan yang disambung diletakkan berdampingan dan saling bersentuhan kemudian diikat dengan kawat bendrat. (lihat Gambar 1a). Pada sambungan sambungan lewatan tipe non-kontak, tulangan yang disambung diletakkan sejajar namun tidak saling bersentuhan (lihat Gambar 1b). Kinerja sambungan lewatan sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter yakni selimut beton, panjang lewatan, proporsi tulangan yang disambungkan, diameter tulangan, adanya tulangan transversal di area yang disambung, propertis beton yang digunakan serta posisi pengecoran [3], [11], [12]. Di Indonesia, ketentuan mengenai sambungan lewatan kontak dan non kontak diatur dalam SNI 2847:2019.



Gambar 1. Sambungan Lewatan (a) Kontak (b) Non-kontak [13]

Sistem penyambungan dikelompokkan kedalam dua kategori, yakni batang ulir dengan kawat ulir dan batang ulir dengan las. Untuk batang ulir kawat ulir, ℓ_d dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut sebagaimana diatur dalam [14]:

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

dengan:

C_b = jarak terkecil dari jarak pusat baja tulangan ke permukaan beton terdekat dan setengah spasi pusat ke pusat batang tulangan yang disalurkan.

d_b = diameter baja tulangan (mm)

ℓ_d = Panjang lewatan (mm)

f_y = Nilai kuat leleh tulangan (Mpa)

f'_c = Nilai Kuat tekan beton (Mpa)

dimana nilai $\left(\frac{C_b + K_{tr}}{d_b} \right)$ tidak boleh diambil lebih besar dari 2,5 dan

$$K_{tr} = \frac{40A_{tr}}{sn} \quad (2)$$

dengan n adalah jumlah tulangan yang disambung dengan sambungan lewatan. Nilai $K_{tr} = 0$ dapat digunakan untuk alasan penyederhanaan desain.

Sambungan lewatan pada kondisi tarik dapat diklasifikasi ke dalam dua kelas yakni kelas A atau kelas B sebagaimana diatur dalam SNI 2847:2019. Panjang sambungan lewatan pada kondisi tarik mengacu pada Tabel 1 [14].

Tabel 1. Panjang Sambungan Lewatan Batang Ulir dan Kawat Ulir Dalam Kondisi Tarik

$A_{s,r}/A_{s,p}$ Sepanjang Sambungan Lewatan	Maksimum persentase dari As lewatan dalam panjang lewatan yang diperlukan	Tipe sambungan lewatan		ℓ_{st}
≥ 2.0	50	Kelas A	Terbesar dari	$1,0 \ell_d$ dan 300 mm
	100	Kelas B		
< 2.0	Semua kelas	Kelas B	Terbesar dari	$1,3 \ell_d$ dan 300 mm

Sebagai catatan, sambungan lewatan hanya boleh diterapkan pada tulangan yang diameternya tidak lebih besar dari 36 mm karena kurangnya hasil pengujian laboratorium, kecuali kondisi khusus yang diatur lebih lanjut dalam pasal di SNI 2847:2019.

1.2 Sambungan Mekanis (*Coupler*)

Berdasarkan ACI 439.3R- 91 sambungan mekanis dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu kelompok tegangan tekan, tegangan tarik, serta gabungan dari tegangan tarik-tekan. Pada sambungan mekanis, penyambungan/penyatuan tulangan dilakukan dengan bantuan komponen penghubung (*coupler*). Artinya, tegangan tarik ditransfer dari satu batang ke batang yang lain melalui penggandeng dan komponennya: ulir, sekrup geser, batang berkepala, interlock ulir, gesekan permukaan-sekrup, bagian baja *male/female* di ujung batang, dan *ribs* batang [4]. Beberapa keuntungan sambungan mekanis adalah: pemasangan yang cepat, ramah lingkungan, dan performa yang dapat diterima [15]. Dalam penelitian ini, tipe sambungan mekanis yang digunakan adalah tipe *coupler* (lihat Gambar 2).



Gambar 2. Sambungan Baja tulangan menggunakan *Coupler*

1.3. Pengujian kuat desak beton dan Tarik Baja tulangan

Pengujian kuat desak beton dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tekan beton ($f'c$) aktual pada sampel balok beton bertulang yang dibuat. Benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat desak beton adalah beton silinder dengan ukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Sampel diuji setelah dilakukan perawatan (*curing*) di laboratorium. Demikian juga dengan pengujian tarik baja tulangan. Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat leleh (f_y) aktual dari baja tulangan yang digunakan dalam sampel balok beton bertulang. Nilai $f'c$ dan f_y ini kemudian digunakan untuk memprediksi nilai momen lentur nominal balok beton bertulang yang diuji.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan metode eksperimental laboratorium. Serangkaian pengujian laboratorium yang sistematis dilakukan terhadap sampel atau benda uji yang telah dibuat untuk mendapatkan parameter-parameter yang diperlukan seperti beban maksimum, lendutan maksimum, kuat leleh, kuat tarik, kuat desak, dan lain-lain. Pengujian dilakukan di Laboratorium Struktur dan Mekanika Rekayasa dan Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

2.1 Pembuatan Benda Uji

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah balok beton bertulang berukuran 200 x 300 x 2000 mm untuk lebar penampang, tinggi penampang, dan panjang balok. Jumlah benda uji yang disiapkan adalah 3 buah. Setiap benda uji dibedakan berdasarkan jenis sambungan tulangan yang diaplikasikan yakni tanpa sambungan (tulangan utuh), sambungan lewatan, dan sambungan mekanis tipe *coupler*. Kuat desak beton ($f'c$) yang direncanakan adalah 25 MPa. Kuat tarik leleh baja tulangan (f_y) yang direncanakan adalah 420 MPa untuk tulangan ulir diameter 13 mm dan 280 MPa untuk tulangan polos diameter 10 mm dan 8 mm. Tulangan ulir digunakan sebagai tulangan tarik sedangkan tulangan polos digunakan sebagai tulangan desak (P10) dan juga sengkang (P8). Untuk lebih jelasnya, variasi benda uji dapat dilihat pada dan ilustrasi benda uji dapat dilihat pada Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5.

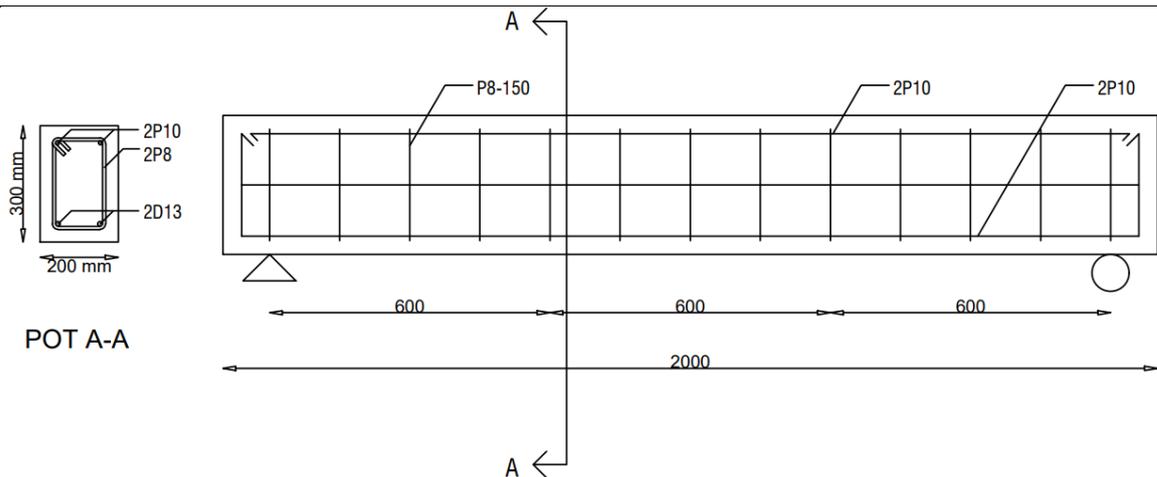
Pengujian silinder beton dilakukan juga dalam rangkaian penelitian ini. Untuk setiap benda uji balok yang dicetak, disiapkan satu silinder beton untuk pengujian desak. Tujuannya adalah untuk mengetahui nilai $f'c$ dari benda uji yang dibuat. Demikian juga untuk baja tulangan. Pada baja tulangan dilakukan pengujian tarik untuk mengetahui nilai f_y . Hal ini diperlukan untuk memperkirakan besaran Momen nominal (M_n) yang mampu dikerahkan berdasarkan rumus analitik.

Panjang sambungan lewatan dihitung berdasarkan persamaan (1) di atas. Panjang lewatan tulangan yang diperoleh berdasarkan hitungan adalah 346,667 mm. Nilai tersebut diperoleh dengan ketentuan sebagai berikut: (i) jenis beton yang digunakan adalah beton normal (bukan beton ringan) dengan perkiraan nilai $f'c$ 25 MPa; (ii) baja tulangan yang digunakan tidak dilapisi dengan epoksi; (iii) diameter tulangan yang disambung adalah 13 mm; (iv) nilai f_y tulangan diperkirakan 280 MPa. Nilai tersebut kemudian dibulatkan dan disesuaikan dengan pemasangan di lapangan sehingga panjang sambungan lewatan yang

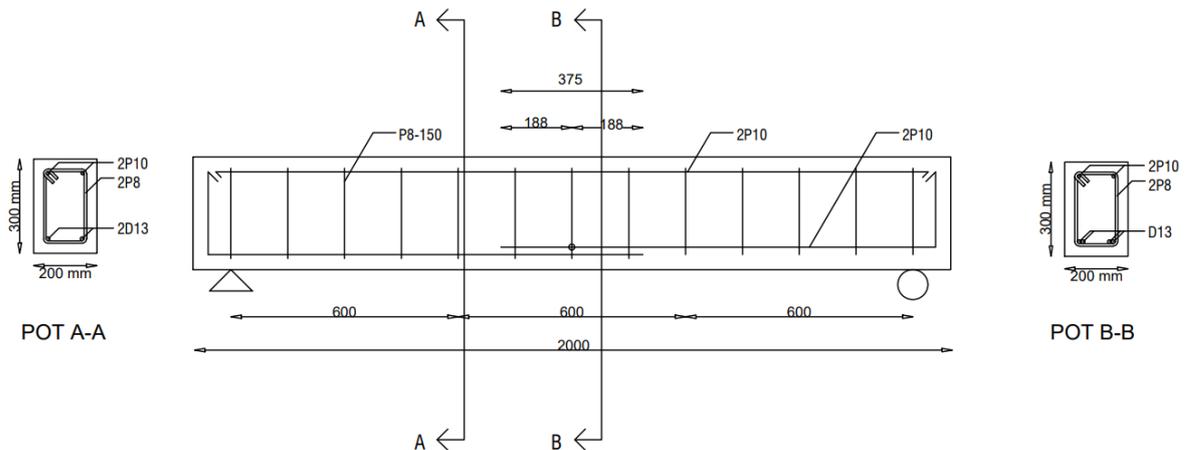
digunakan adalah 430 mm. Belakangan penulis menyadari bahwa seharusnya panjang sambungan lewatan yang dibutuhkan adalah 520 mm karena berdasarkan hasil pengujian tarik baja tulangan yang aktual, nilai f_y yang diperoleh adalah 464,646 MPa. Nilai ini menandakan bahwa besi tulangan yang digunakan masuk dalam kategori TS420, sedangkan dalam perencanaan awal, TS yang digunakan adalah TS280. Hal ini baru penulis sadari ketika seluruh sampel beton yang direncanakan sudah selesai dirakit dan dicor. Akhirnya dengan berbagai pertimbangan, penulis memutuskan untuk tetap melanjutkan penelitian ini dengan menjadikan hal ini sebagai batasan penelitian.

Tabel 2. Variasi Benda Uji Balok Beton Bertulang

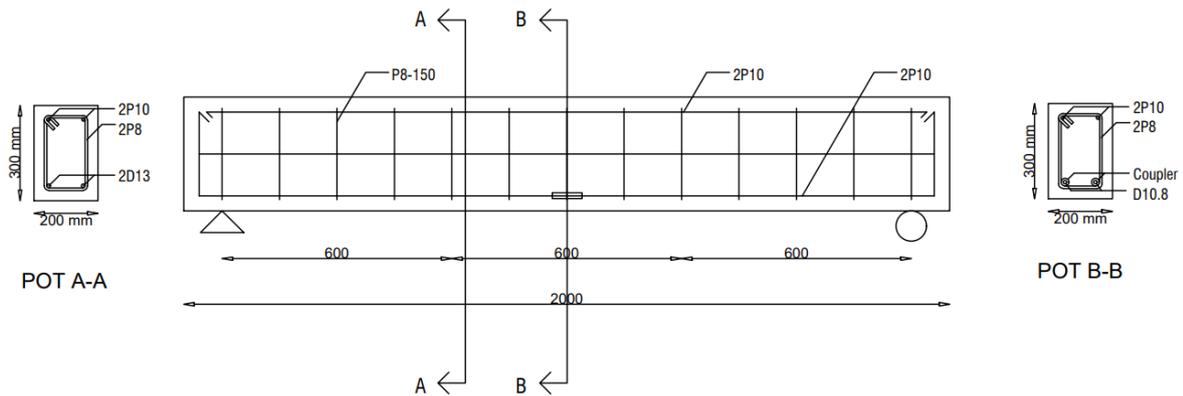
Sampel Balok	Penulangan		Sengkang	Jenis Sambungan
	Tulangan Longitudinal			
BU-1	Atas	2P10	P8-150	Normal (Tanpa Sambungan)
	Bawah	2D13		
BU-2	Atas	2P10	P8-150	Sambungan Lewatan (<i>Lap Splice</i>)
	Bawah	2D13		
BU-3	Atas	2P10	P8-150	Sambungan Mekanis Tipe <i>Coupler</i>
	Bawah	2D13		



Gambar 3. Ilustrasi Benda Uji dengan tulangan utuh (tanpa sambungan)



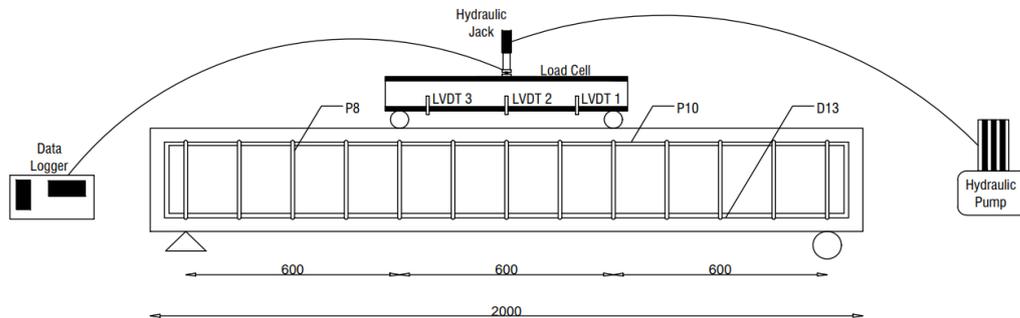
Gambar 4. Ilustrasi Benda Uji dengan Sambungan Lewatan (*Lap Splice*)



Gambar 5. Ilustrasi Benda Uji dengan Sambungan Mekanis Tipe Coupler

2.2 Setup Pengujian

Pada tahapan ini dilakukan pengujian kuat lentur terhadap balok beton bertulang. Tipe pembebanan yang dipilih dalam eksperimen laboratorium ini adalah pembebanan 2 titik. Beban secara konsisten sedikit demi sedikit ditambah dengan menggunakan pompa hidraulik. Selain itu, dilakukan juga pemasangan Linear Variable Differential Transformer (LVDT) pada 3 titik diantara kedua beban guna mengamati lendutan yang terjadi pada saat proses pengujian. Ilustrasi dan realisasi setup pengujian benda uji balok bertulang dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Dalam penelitian ini, ditambahkan bahan aditif DAMDEX untuk mempercepat pengerasan sehingga pengujian silinder dan juga pengujian balok beton bertulang dapat dilakukan di usia 14 hari.



Gambar 6. Ilustrasi Setup Pengujian Balok



Gambar 7. Realisasi Setup Pengujian Balok

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengujian Tarik Tulangan

Pengujian tarik tulangan dilakukan untuk mendapatkan nilai kuat tarik leleh baja tulangan dengan/tanpa sambungan. Pengujian ini dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran kekuatan baja tulangan sebelum digabungkan dengan beton. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, pada tulangan yang utuh (tidak disambung), nilai kuat leleh (f_y) dan nilai kuat tarik (f_u) yang diperoleh adalah 464,647 MPa dan 646,6334 MPa, berturut-turut. Pada tulangan yang disambung dengan *threaded coupler*, nilai kuat leleh (f_y) dan nilai kuat tarik (f_u) yang diperoleh adalah 471,177 MPa dan f_u sebesar 556,848 MPa, berturut-turut. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa nilai f_u dan f_y pada tulangan yang disambung dengan *threaded coupler* lebih besar dibandingkan dengan tulangan yang tidak disambung. Disamping itu, berdasarkan pengujian laboratorium juga dapat dilihat bahwa kerusakan pada tulangan yang disambung dengan menggunakan *threaded coupler* terletak pada bagian tulangan yang dibubut untuk keperluan penyambungan. Hal ini disebabkan bagian yang telah dibubut itu mengalami reduksi luas penampang sehingga luasan efektifnya menjadi lebih kecil dibandingkan bagian yang tidak dibubut. Akibatnya tegangan tarik terbesar saat pengujian tarik tulangan terdapat pada bagian tersebut sehingga kerusakan terjadi disana. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3. Kerusakan tulangan D13 dengan dan tanpa *coupler* pasca pengujian dapat dilihat pada Gambar 8 (a) dan (b).

Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Baja D13

Jenis Tulangan	f_y rencana (MPa)	f_y Pengujian (MPa)	f_u Pengujian (MPa)
Tanpa sambungan (Utuh)	420	464,647	646,633
Disambung dengan <i>Threaded Coupler</i>	420	471,177	556,846



(a) Tanpa *Coupler*



(b) Dengan *Coupler*

Gambar 8. Kerusakan Baja Tulangan Pasca Pengujian Tarik

3.2 Pengujian Desak Beton

Sejumlah 3 buah sampel silinder beton disiapkan untuk mewakili masing-masing balok beton bertulang. Setelah dikeluarkan dari cetakan, beton silinder dirawat dengan cara dibungkus dengan karung goni, kemudian disiram dengan air setiap hari. Pengujian desak dilaksanakan pada saat beton berumur 14 hari dengan bantuan alat mesin uji tekan beton (UTM). Dalam penelitian ini beton dimungkinkan untuk diuji diusia 14 hari karena dalam

pembuatannya ditambahkan DAMDEX untuk mempercepat tercapainya f'_c . Dari hasil pengujian desak silinder beton, didapatkan nilai kuat desak (f'_c) silinder beton sebesar 34,314 MPa untuk benda uji silinder (BUS-1), 32,6689 MPa untuk BUS-2, dan 25,9897 MPa untuk BUS-3. Nilai f'_c rencana adalah 25 Mpa. Hal tersebut menunjukkan bahwa proporsi campuran beton yang didapatkan dari *mix-design* dapat digunakan sebagai acuan untuk perhitungan momen lentur balok beton bertulang. Rekapitulasi hasil pengujian silinder beton dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pengujian Silinder Beton

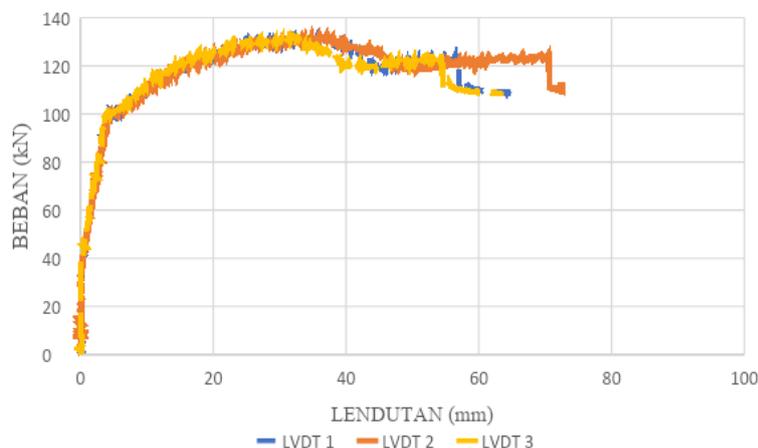
Sampel	Diameter Silinder (mm)	Tinggi Silinder (mm)	Luas penampang (mm ²)	Beban Maks. (kN)	f'_c (Mpa)
BUS-1	150,8	299,6	17860,45689	540	34,314
BUS-2	149,3	289,3	17506,9099	455	32,6689
BUS-3	149,7	299,4	17600,8435	575	25,9897

3.3 Pengujian Lentur Balok Beton Bertulang

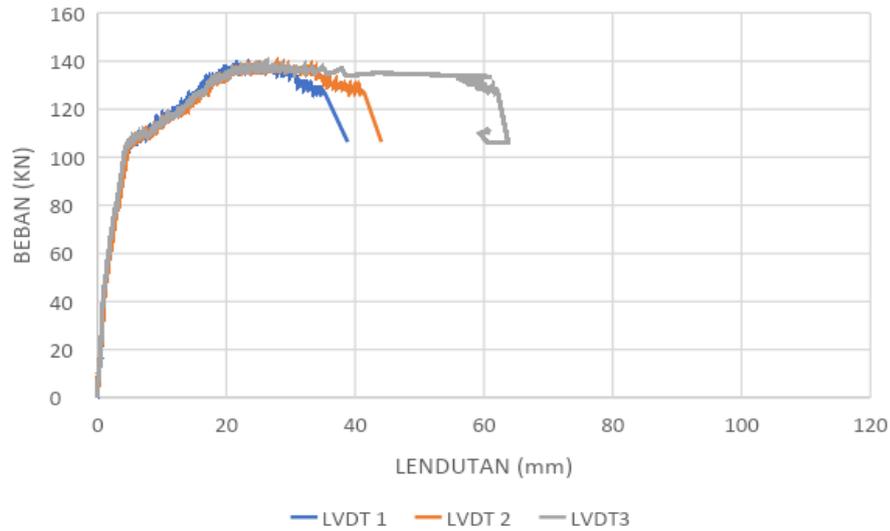
Pengujian kuat lentur dilakukan pada benda uji balok beton bertulang yang berumur 14 hari. Jumlah benda uji balok beton bertulang ada 3 buah yakni 1 buah balok normal (balok kontrol) dan 2 buah balok variasi. Hasil yang diperoleh dari pengujian lentur balok beton bertulang adalah beban maksimum dalam satuan kN serta defleksi dalam satuan mm yang diukur oleh LVDT. Disamping itu, dapat diamati juga pola retak yang terjadi seiring dengan penambahan beban oleh hydraulic jack. Beban maksimum dan lendutan dapat dilihat pada Tabel 5. Grafik hubungan antara beban dan lendutan dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.

Tabel 5. Nilai Beban Maksimum dan Lendutan

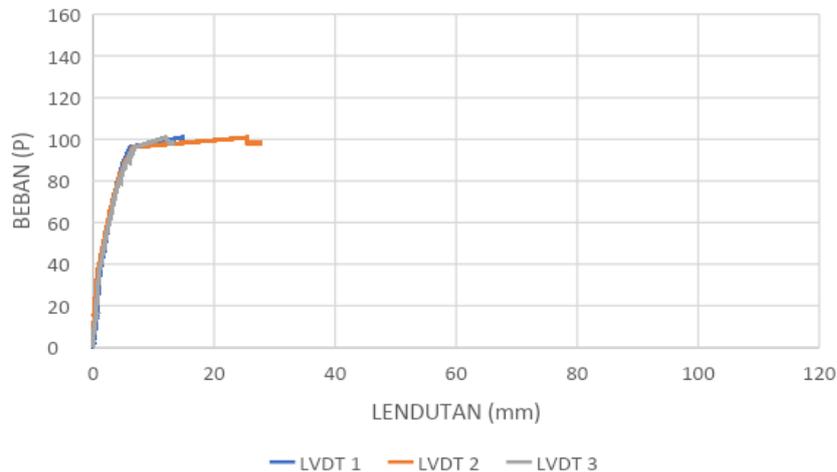
Sampel		Beban (kN)	Lendutan (mm)		
Kode	Keterangan		LVDT 1	LVDT 2	LVDT 3
BU-1	Tanpa Sambungan	132,55	66,284	72,6	65,76
BU-2	Sambungan Lewatan	138,85	38,844	44,07	63,76
BU-3	Sambungan Coupler	100,84	16,748	19,07	14,88



Gambar 9. Hubungan antara Beban dan Lendutan pada Balok BU-1



Gambar 10. Hubungan antara Beban dan Lendutan pada Balok BU-2



Gambar 11. Hubungan antara Beban dan Lendutan pada Balok BU-3

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat bahwa balok dengan sambungan lewatan (BU-2) memperoleh beban maksimum terbesar yakni 138,85 kN sedangkan balok dengan sambungan coupler (BU-3) memperoleh beban nilai beban maksimum terkecil yakni 100,84 kN. Ini merupakan salah satu indikasi bahwa performa balok beton bertulang dengan sambungan lewatan adalah yang terbaik dibandingkan dengan 2 balok lainnya. Namun demikian, apabila ditinjau dari aspek lendutan, secara umum balok tanpa sambungan (BU-1) memperoleh nilai lendutan yang paling besar sedangkan balok dengan sambungan *coupler* memperoleh nilai lendutan yang terkecil. Ini merupakan sebuah indikasi bahwa balok tanpa sambungan (tulangan utuh) memiliki daktilitas yang paling baik. Daktilitas sendiri didefinisikan sebagai kemampuan elemen struktur untuk mengalami deformasi yang besar tanpa mengalami keruntuhan secara tiba-tiba [16]. Daktilitas dapat juga diartikan sebagai rasio deformasi ultimit terhadap deformasi leleh [9]. Daktilitas sangat penting dalam pencegahan kegagalan struktur. Struktur yang daktil dapat memberikan peringatan (*early warning*) sebelum terjadinya kegagalan [17]. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium dapat diambil kesimpulan bahwa meskipun balok dengan

sambungan lewatan dapat menerima beban yang lebih besar namun balok tanpa sambungan memiliki daktilitas yang lebih baik. Adapun untuk balok dengan sambungan *coupler*, baik dari segi beban maksimum yang bisa ditahan dan juga daktilitas, performanya tidak lebih baik dari 2 variasi lainnya. Bahkan dari nilai lendutan, balok dengan sambungan *coupler* cenderung lebih getas.

Pada balok beton bertulang dengan sambungan *threaded coupler*, nilai lendutan yang diperoleh saat beban maksimum tercapai lebih kecil dibandingkan dengan lendutan pada balok beton bertulang dengan sambungan lewatan. Fenomena ini berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Cho dkk [18]. Dalam penelitian tersebut, lendutan pada balok dengan sambungan *coupler* lebih besar dibandingkan dengan nilai lendutan sambungan lewatan. Hal tersebut mungkin disebabkan oleh tidak dipasangnya sengkang pada bagian yang disambung dengan sambungan lewatan sehingga nilai lendutan yang diperoleh lebih kecil. Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian Cho dkk [18] dimana pada area penyambungan tulangan ditambahkan sengkang transversal. Hasilnya, pada balok dengan sambungan lewatan, nilai lendutan yang didapatkan lebih besar dibandingkan dengan nilai lendutan pada balok dengan sambungan mekanis tipe *threaded coupler*.

3.4 Momen Lentur Balok Beton Bertulang

Setelah dilakukan pengujian laboratorium dan didapatkan beban maksimum, maka momen lentur pengujian aktual dapat ditentukan. Momen lentur yang didapat dari pengujian laboratorium kemudian akan dibandingkan dengan momen lentur yang dihitung berdasarkan rumus analitik (teoritis).

3.4.1. Momen Lentur Pengujian Laboratorium

Balok beton bertulang diuji sesuai dengan set-up yang dijelaskan dalam metode penelitian. Balok beton ditumpu sederhana di kedua ujungnya kemudian beban titik diaplikasikan di bagian tengah balok. Dengan set-up seperti ini, momen maksimum diprediksi terjadi tepat di tengah bentang balok. Oleh karena itu, momen lentur yang dihitung adalah momen lentur di tengah bentang balok. Dari hasil perhitungan didapatkan nilai momen lentur nominal untuk BU-1, BU-2, dan BU-3 berturut-turut adalah 40.326 kNm, 42.231 kNm, dan 29.436 kNm. Momen lentur nominal tertinggi dari hasil pengujian laboratorium didapatkan pada balok beton bertulang dengan sambungan lewatan. Momen lentur nominal terendah dari hasil pengujian laboratorium didapatkan pada balok beton bertulang dengan sambungan *coupler*.

3.4.2. Momen Lentur Teoritis

Momen lentur teoritis dihitung berdasarkan data propertis material yang dimiliki. Data yang dimaksud adalah dimensi penampang balok, penulangan, nilai kuat desak beton ($f'c$), serta nilai kuat tarik tulangan (f_y). Ukuran penampang balok telah ditentukan di awal yakni 200x300 mm. Untuk tulangan tarik, baja tulangan yang digunakan adalah 2D13, sedangkan untuk tulangan desak, baja tulangan yang digunakan adalah 2P10. Sengkang yang digunakan adalah tulangan P8 yang dipasang setiap jarak 150 mm. Pengujian kuat desak beton dan kuat tarik tulangan juga telah dilakukan sehingga nilai $f'c$ dan f_y juga diketahui (lihat Tabel 3 dan Tabel 4). Setakah dilakukan perhitungan berdasarkan data

tersebut didapatkan nilai momen lentur nominal teoritis untuk BU-1, BU-2, dan BU-3 berturut-turut adalah 30.55 kNm, 30.02 kNm, dan 26.72 kNm.

3.4.3. Perbandingan Momen Lentur Pengujian Laboratorium dan Teoritis

Setelah dilakukan perhitungan momen nominal pengujian (M_n percobaan) dan momen nominal teoritis (M_n teoritis) didapatkan rekapitulasi perbandingan hasil sebagai berikut. (Lihat Tabel 6).

Tabel 6. Perbandingan M_n Percobaan dan M_n teoritis

Kode Balok	M_n percobaan (MPa)	M_n teoritis (MPa)	Rasio
Balok normal	40.326	30.55	1.32
Balok lewatan	42.231	30.02	1.41
Balok coupler	29.436	26.72	1.10

Berdasarkan Tabel 6 dapat dilihat bahwa nilai M_n percobaan pada balok tanpa penyambungan tulangan (normal), balok dengan penyambungan tulangan lewatan, dan balok dengan penyambungan mekanis *threaded coupler* memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan M_n teoritis. Hal ini disebabkan oleh beberapa penyederhanaan yang dilakukan dalam perhitungan M_n teoritis. Contohnya, dalam perhitungan M_n teoritis beton dianggap tidak berkontribusi dalam memberikan kuat tarik sehingga kuat tarik hanya didapatkan dari baja tulangan yang digunakan. Kenyataannya, beton sesungguhnya memiliki nilai kuat tarik walaupun nilainya relative kecil yakni hanya sekitar 9-15% dari kuat desaknya [19]. Selain itu, penyederhanaan lainnya adalah distribusi regangan beton bertulang dianggap linear menurut asas Bernouli, tidak ada gelincir antara beton dan baja tulangan, serta regangan maksimum beton diambil sebesar 0.003.

Berdasarkan Tabel 6 juga dapat disimpulkan bahwa balok dengan sambungan lewatan memiliki M_n yang lebih besar dibandingkan dengan balok *coupler* dengan nilai berturut-turut 42,56 MPa dan 29,76 MPa. Hal tersebut dapat terjadi karena pada balok dengan sambungan *coupler* terdapat bagian tulangan yang dibubut sehingga memiliki dimensi yang lebih kecil dan mengakibatkan nilai M_n yang lebih kecil. Pada sambungan lewatan terdapat dua tulangan yang disusun sejajar pada panjang penyaluran sehingga tidak ada pengurangan luasan penampang tulangan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Balok beton bertulang dengan sambungan lewatan mendapatkan nilai beban maksimum terbesar yakni 138,85 kN. Balok beton bertulang dengan sambungan coupler mendapatkan nilai beban maksimum terkecil yakni 100,84 kN.
2. Balok tanpa sambungan tulangan memperoleh nilai lendutan terbesar dibandingkan dengan balok dengan sambungan lewatan dan sambungan coupler dimana balok dengan sambungan coupler memperoleh nilai lendutan terkecil. Hal ini mengindikasikan bahwa balok dengan tanpa sambungan berperilaku lebih daktail

dibandingkan balok lainnya. Sedangkan balok dengan sambungan coupler adalah yang paling getas.

3. Momen nominal (M_n) yang didapatkan dari pengujian laboratorium lebih besar dibandingkan dengan M_n teoritis. Nilai momen nominal percobaan yang didapat pada balok normal (BU-1), balok dengan sambungan lewatan (BU-2), dan balok dengan sambungan coupler (BU-3) secara berturut-turut sebesar 40,326 MPa, 42,231 MPa, dan 29,436 MPa. Kemudian, untuk nilai M_n teoritis pada masing-masing balok secara berturut-turut sebesar 30,55 MPa, 30,02 MPa, dan 26,72 MPa.
4. Balok beton bertulang dengan sambungan lewatan memiliki nilai M_n percobaan yang terbesar dibandingkan dengan balok tanpa sambungan ataupun balok dengan sambungan coupler. Untuk balok dengan sambungan coupler, nilai M_n percobaannya adalah yang terkecil. Nilai lendutan yang dihasilkan oleh balok dengan sambungan *coupler* adalah yang paling kecil sedangkan balok tanpa sambungan memiliki nilai lendutan yang paling besar. Artinya, balok dengan sambungan *coupler* lebih getas (tidak daktail). Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa dari segi kapasitas lentur balok beton bertulang, sambungan *coupler* tidak dapat menggantikan sambungan lewatan.
5. Kegagalan sambungan *coupler* terjadi pada bagian tulangan yang dibubut untuk keperluan penyambungan. Untuk menghasilkan performa yang lebih baik, penelitian berikutnya perlu lebih berhati-hati dalam menyiapkan tulangan yang akan disambung dengan *coupler*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dapat terlaksana atas pendanaan yang telah diberikan melalui skema Hibah Penelitian Internal Jurusan Teknik Sipil FTSP UII yang tertera dalam surat No:120/Ka. Jur/20/TS/IX/2022.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. T. Dady, "Pengaruh kuat tekan terhadap kuat lentur balok beton bertulang," *urnal Sipil Statik*, vol. 3, no. 5, pp. 341–350, 2015.
- [2] A. M. Tarabia, Z. I. Mahmoud, M. S. Shoukry, and A. A. Abudina, "Performance of R.C. slabs with lap splices using headed bars," *Alexandria Eng. J.*, vol. 55, no. 3, pp. 2729–2740, 2016, doi: 10.1016/j.aej.2016.05.018.
- [3] R. T. S. Mabrouk and A. Mounir, "Behavior of RC beams with tension lap splices confined with transverse reinforcement using different types of concrete under pure bending," *Alexandria Eng. J.*, vol. 57, no. 3, pp. 1727–1740, 2018, doi: 10.1016/j.aej.2017.05.001.
- [4] H. Dabiri, A. Kheyroddin, and A. Dall'Asta, "Splice methods used for reinforcement steel bars: A state-of-the-art review," *Constr. Build. Mater.*, vol. 320, no. January, p. 126198, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.126198.

- [5] Sulastri, “Perbandingan perilaku balok tanpa sambungan lewatan dan balok dengan sambungan lewatan,” *J. Kalibr. - Karya Lintas Ilmu Bid. Rekayasa Arsitektur, Sipil, Ind.*, pp. 81–87, 2020.
- [6] M. F. Musyaffa and J. Jafar, “Perbandingan Kinerja Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Sambungan Lewatan Dan Sambungan Mekanis (Clamp),” *TAPAK (Teknologi Apl. Konstr. J. Progr. Stud. Tek. Sipil*, vol. 12, no. 1, p. 101, 2022, doi: 10.24127/tp.v12i1.2327.
- [7] D. Tarquini, J. P. de Almeida, and K. Beyer, “Experimental investigation on the deformation capacity of lap splices under cyclic loading,” *Bull. Earthq. Eng.*, vol. 17, no. 12, pp. 6645–6670, 2019, doi: 10.1007/s10518-019-00692-3.
- [8] J. H. Jeong, I. T. Kim, T. J. Kim, M. J. Lee, and J. H. Ahn, “Mechanical Performance Evaluation of Rolling Thread Steel Rebar Connection with Taper type Coupler,” *J. Korea Inst. Struct. Maint. Insp.*, vol. 19, no. 2, pp. 40–51, 2015.
- [9] A. Kheyroddin and H. Dabiri, “Cyclic performance of RC beam-column joints with mechanical or forging (GPW) splices; an experimental study,” *Structures*, vol. 28, no. November, pp. 2562–2571, 2020, doi: 10.1016/j.istruc.2020.10.071.
- [10] R. Alyousef, T. Topper, and A. Al-Mayah, “Crack growth modeling of tension lap spliced reinforced concrete beams strengthened with fibre reinforced polymer wrapping under fatigue loading,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 166, pp. 345–355, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.136.
- [11] H. Al-Quraishi, M. Al-Farttoosi, and R. AbdulKhudhur, “Tension Lap Splice Length of Reinforcing Bars Embedded in Reactive Powder Concrete (RPC),” *Structures*, vol. 19, no. January, pp. 362–368, 2019, doi: 10.1016/j.istruc.2018.12.011.
- [12] C. Goksu, H. Yilmaz, S. R. Chowdhury, K. Orakcal, and A. Ilki, “The Effect of Lap Splice Length on the Cyclic Lateral Load Behavior of RC Members with Low-Strength Concrete and Plain Bars,” *Adv. Struct. Eng.*, vol. 17, no. 5, pp. 639–658, May 2014, doi: 10.1260/1369-4332.17.5.639.
- [13] S. Fayed, W. Mansour, T. A. Tawfik, P. Sabol, and D. Katunsk, “Techniques Used for Bond Strengthening of Sub-Standard Splices in Concrete : A Review Study,” 2023.
- [14] B. S. Nasional, “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019),” *Persyaratan Bet. Strukt. untuk Bangunan Gedung*, no. 8, p. 695, 2019.
- [15] H. Dabiri, A. Kheyroddin, and A. Famararzi, “Predicting tensile strength of spliced and non-spliced steel bars using machine learning- and regression-based methods,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 325, no. January, p. 126835, 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126835.
- [16] S. W. Shin, H. Kang, J. M. Ahn, and D. W. Kim, “Flexural capacity of singly reinforced beam with 150 MPa ultra high-strength concrete,” *Indian J. Eng. Mater.*

- Sci.*, vol. 17, no. 6, pp. 414–426, 2010.
- [17] M. Mahalingam, R. P. N. Rao, and S. Kannan, “Ductility behavior fiber reinforced concrete beams strengthened with externally bonded glass fiber reinforced polymer laminates,” *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 107–111, 2013, doi: 10.3844/ajassp.2013.107.111.
- [18] S. Cho, M. Lim, and C. Lee, “Study on the bending and joint performances of reinforced concrete beams using high-strength rebars,” *Sustain.*, vol. 13, no. 6, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3390/su13063482.
- [19] F. J. Asmara, S. Suhendra, and A. Dwiretnani, “Analisis Perbandingan Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton Yang Menggunakan Pasir Sungai Batang Asai Dan Pasir Sungai Batanghari,” *J. Talent. Sipil*, vol. 4, no. 1, p. 1, 2021, doi: 10.33087/talentsipil.v4i1.42.