

KINERJA SAMBUNGAN MEKANIS JENIS *COUPLING SLEEVE* AKIBAT BEBAN MONOTONIK

Eko Riyanto^{1,2}, Nuroji², Yulita Arni Priastiwi²
¹Universitas Muhammadiyah Purworejo, Purworejo
²Universitas Diponegoro, Semarang
ekoriyantostmeng@students.undip.ac.id

ABSTRAK

Sambungan tulangan merupakan elemen penting dalam konstruksi bangunan beton bertulang. Salah satu alasan penggunaan sambungan tulangan adalah ketersediaan tulangan yang diproduksi memiliki keterbatasan panjang. Penyambungan tulangan dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu sambungan lewatan, sambungan las, dan sambungan mekanis. Penelitian ini diusulkan inovasi model sambungan mekanis berupa sistem *coupling sleeve* yaitu sambungan dua batang tulangan dengan selongsong berbentuk silinder yang mempunyai sayap terpisah berlubang dengan fungsi sebagai wadah untuk menancapkan baut pengencang. Penelitian bertujuan menganalisis inovasi model sambungan mekanis dengan tidak adanya eksentrisitas, serta meningkatkan efisiensi panjang sambungan, tanpa mengurangi luas penampang pada batang yang disambung. Metode penelitian pengujian sambungan mekanis berdasarkan ASTM A1034-10a yaitu metode uji tarik untuk mengevaluasi kinerja sambungan mekanis pada batang tulangan baja dengan memvariasikan panjang dan diameter coupler yang digunakan. Sebelum pengujian eksperimental di laboratorium, terlebih dahulu dilakukan simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk menentukan panjang sambungan mekanis yang optimum dalam menahan beban serta mengetahui konsentrasi tegangan yang terjadi pada benda uji. Hasil penelitian bahwa penggunaan *coupling sleeve* dengan panjang 200 mm memberikan kinerja yang paling optimal dibandingkan variasi panjang lainnya. Distribusi tegangan maksimum pada sistem sambungan terjadi pada daerah baut akibat pengaruh gaya tarik dan torsi pengencangan, sedangkan tegangan pada tulangan dan selongsong relatif lebih merata. Selain itu, hasil simulasi menunjukkan bahwa gaya penjepit dari baut mampu meningkatkan gaya cengkeram selongsong terhadap tulangan sehingga transfer gaya tarik dapat berlangsung secara efektif tanpa terjadi slip. Dengan demikian, sistem *coupling sleeve* yang dikembangkan berpotensi menjadi alternatif sambungan mekanis yang efisien dan aplikatif pada konstruksi beton bertulang.

Kata Kunci : sambungan mekanis, *coupling sleeve*, kuat tarik.

ABSTRACT

Reinforcement joints are an important element in reinforced concrete building construction. One reason for using reinforcement joints is that the availability of manufactured reinforcement has limited length. Reinforcement joints can be done in three ways, namely lap joints, welded joints, and mechanical joints. This study proposed an innovative mechanical connection model in the form of a coupling sleeve system, namely a connection of two reinforcement bars with a cylindrical sleeve that has a separate, perforated wing that functions as a container for inserting fastening bolts. The study aims to analyze the innovation of the mechanical connection model with no eccentricity, as well as increasing the efficiency of the connection length, without reducing the cross-sectional area of the connected bars. The research method for testing mechanical joints is based on ASTM A1034-10a, namely the tensile test method to evaluate the performance of mechanical joints on steel reinforcement bars by varying the length and diameter of the coupler used. Before experimental testing in the laboratory, a simulation was first carried out using ANSYS software to determine the optimum mechanical connection length in supporting the load and to determine the stress concentration that occurs in the test specimen. The results of the study showed that the use of a coupling sleeve with a length of 200 mm provided the most optimal performance compared to other length variations. The maximum stress distribution in the connection system occurs in the bolt area due to the influence of tensile force and tightening torque, while the stress in the reinforcement and sleeve is relatively more evenly distributed. Furthermore, the simulation results show that the clamping force of the bolt is able to increase the gripping force of the sleeve on the reinforcement so that the tensile force transfer can take place effectively without slipping. Thus, the developed coupling sleeve system has the potential to be an efficient and applicable alternative mechanical connection in reinforced concrete construction.

Keywords : mechanical connection, *coupling sleeve*, tensile strength

1. PENDAHULUAN

Sambungan baja tulangan merupakan elemen penting dalam konstruksi bangunan beton bertulang. Salah satu alasan penggunaan sambungan tulangan adalah ketersediaan tulangan yang diproduksi memiliki keterbatasan panjang (Muhammad et al., 2023). Batang tulangan yang diproduksi oleh pabrik dan yang tersedia di pasaran berkisar antara 11 hingga 12 meter. Namun, dalam proyek-proyek konstruksi skala besar atau pada elemen struktural dengan bentang panjang, kebutuhan tulangan dapat melebihi panjang tersebut. Selain karena faktor produksi, kebutuhan sambungan juga muncul akibat keterbatasan dalam proses transportasi, pengangkutan, dan pemasangan tulangan di lokasi proyek, terutama pada kondisi lapangan yang sempit atau memiliki akses terbatas. Dalam hal ini, sambungan tulangan berperan untuk menjaga kesinambungan transfer gaya tarik dalam elemen beton bertulang seperti balok, kolom, maupun pelat. Penyambungan tulangan dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu dengan cara sambungan lewatan (*lap splice*), sambungan las (*welded splice*) dan sambungan mekanis (*mechanical connections*) (Yulianto et al., 2024), (Hamad et al., 2021), (Zheng et al., 2026). Sambungan tumpang merupakan salah satu jenis sambungan tulangan yang umum digunakan pada struktur beton bertulang. Sambungan ini digunakan untuk menyambung dua tulangan menjadi satu kesatuan yang menopang struktur beton bertulang. Selain itu, sambungan tumpang dikenal mudah dilakukan namun tetap mampu menyalurkan tegangan yang mendekati tegangan tulangan utuh pada komponen struktur beton bertulang (El-azab et al., 2019), (Tang et al., 2023), (Di et al., 2025). Metode sambungan tumpang memiliki kekurangan: kepadatan tulangan dapat memengaruhi penguatan dan perataan beton. Semakin padat kepadatannya, semakin sulit untuk diratakan, yang dapat menurunkan kualitas beton dan meningkatkan beban mati akibat berat tulangan (Dabiri et al., 2022).

Sambungan mekanis dapat digunakan untuk mengatasi kekurangan sambungan tumpang. Sambungan tulangan mekanis melibatkan penggunaan elemen mekanis seperti baut, mur, atau pelat untuk menyambung tulangan beton bertulang. Beberapa sambungan mekanis yang sudah dikenal, termasuk kopler sekrap geser,

kopler tulangan berkepala, kopler berulir, ulir tirus, kopler selongsong beralur, dan sambungan kopler kombinasi. Di antara semua jenis sambungan mekanis yang tersedia, dimensi, panjang, dan jenis kopler secara signifikan memengaruhi kinerja (Dahal & Tazarv, 2020). Sambungan coupler secara efektif menyalurkan tegangan dengan baik antara dua batang tulangan yang terhubung. Kinerja sambungan coupler bersifat unik dan bervariasi tergantung pada jenis coupler yang digunakan (Moka & Rajendran, 2022). Penggunaan sambungan batang tulangan memiliki kelemahan: potensi pengurangan duktilitas pada sambungan, baik sambungan tumpang maupun sambungan mekanis (Kheyroddin dkk., 2020).

Telah dilakukan penelitian tentang penyambungan mekanis menggunakan sambungan ulir dengan *Parallel Threaded Coupler* (PTC) dan *Parallel Threaded Sleeve Coupler* (PTSC) dengan dua metode pembebanan yaitu monotonik dan siklik. Hasil pembebanan monotonik didapatkan regangan maksimum yang terjadi pada tulangan utuh dan tulangan dengan sambungan adalah sama. Namun pada pembebanan siklik terdapat perbedaan regangan yang terjadi antara tulangan utuh dan tulangan dengan sambungan (Chen et al., 2023).

Telah dilakukan pula uji tarik pada tulangan batang dengan kopler, dengan mutu tulangan yang digunakan sebesar 500 MPa dan mutu sambungan kopler sebesar 600 MPa. Berdasarkan hasil pengujian eksperimen, diperoleh kuat Tarik maksimum tulangan sambung sebesar 404 kN. Akan tetapi, hasil ini masih di bawah persyaratan yang ditetapkan oleh ACI 318, yakni standar minimum sebesar 125 persen dari kuat luluh tulangan. Kegagalan tulangan pada pengujian ini terjadi pada bagian ulir, karena terjadi pengurangan luas penampang dan pemusatan tegangan akibat pemotongan ulir. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa beban dan perpanjangan hampir sama untuk tulangan utuh, tetapi memiliki fase pengerasan regangan yang lebih pendek (Shokrzadeh et al., 2022), (Li & Li, 2025), (Xu et al., 2026).

Penggunaan sambungan kopler dengan memperbesar ujung tulangan sebelum pemasangan ulir menunjukkan kekuatan luluh yang dapat diterima yang dapat dipertahankan

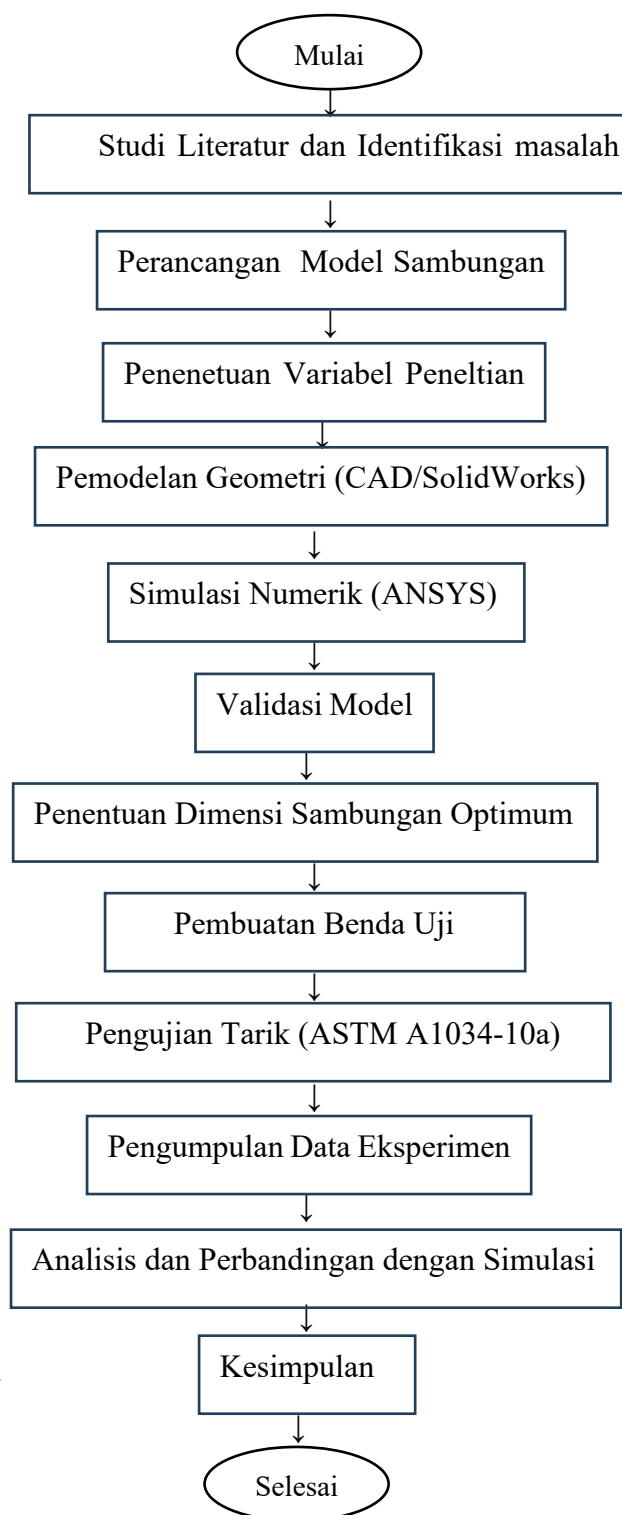
oleh tulangan utuh dan tulangan yang terhubung, yang cenderung relatif dekat. Namun, tulangan yang terhubung menunjukkan regangan tarik maksimum yang lebih tinggi pada tegangan maksimum daripada tulangan yang tidak terhubung (Kruavit et al., 2020), (Darma et al., 2024), (Edan & Abdulsahib, 2024). Telah dilakukan penelitian tentang sambungan mekanis menggunakan selongsong grouting. Setelah dilakukan pengujian, ditemukan dua jenis kegagalan pada kedua spesimen. Pada spesimen WBS, kegagalan terjadi dalam bentuk terlepasnya tulangan yang disambung dari material grouting atau slip. Pada spesimen THS, kegagalan terjadi karena putusannya tulangan di luar lokasi sambungan grouting (Tarun et al., 2022). Untuk sambungan kopler pada struktur yang mengalami beban seismik, kegagalan harus terjadi di luar area kopler, dan Panjang kopler yang digunakan harus kurang dari 15 kali diameter tulangan yang disambung. Penempatan sambungan kopler pada struktur akan sangat mempengaruhi kinerja struktur, sehingga perlu dilakukan perincian pada struktur tersebut, (Gu et al., 2022), (Lei et al., 2025).

Penelitian ini mengusulkan inovasi sambungan mekanis tulangan berupa *coupling sleeve* berbahan pelat baja dengan sistem penjepitan baut eksternal tanpa modifikasi pada ujung batang tulangan. Berbeda dengan coupler konvensional yang umumnya menggunakan ulir atau grouting dan sering mengurangi luas penampang tulangan, model yang dikembangkan dirancang tanpa eksentrisitas serta menyalurkan gaya tarik melalui mekanisme penjepitan langsung. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan selongsong pelat baja dengan sayap berlubang sebagai wadah baut pengencang yang memungkinkan transfer gaya secara efektif tanpa adanya gaya eksentrisitas, efisiensi panjang sambungan, serta kemudahan aplikasi di lapangan. Kinerja sambungan dievaluasi melalui simulasi numerik dan pengujian tarik eksperimental berdasarkan standar ASTM A1034-10a.

2. METODE

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja sambungan mekanis tulangan menggunakan sistem *coupling sleeve* terhadap

beban tarik monotonik. Adapun diagram alir penelitian seperti pada Gambar 1.

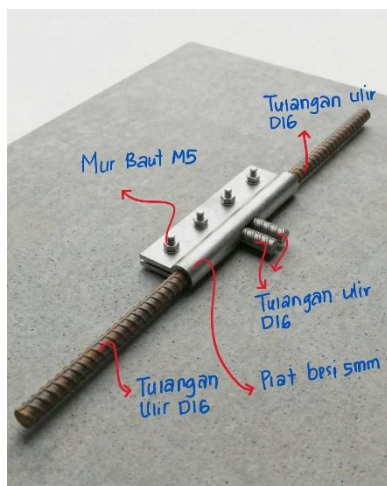


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian dilakukan melalui pendekatan numerik dan eksperimental, yang meliputi pemodelan, simulasi, pembuatan benda uji, serta pengujian tarik di laboratorium. Baja Tulangan yang digunakan pada penelitian ini

adalah tipe sirip tulang ikan (*fish bone*) dengan kelas baja tulangan BJT 420B. Untuk selongsong menggunakan pelat baja mutu tinggi dengan ketebalan 5 mm serta baut yang digunakan baut mutu tinggi yang memenuhi standar DIN/EN-ISO (standart DIN yang sudah diadopsi oleh ISO) *grade 8.8 size M10* dengan diameter baut 10 mm. Grade 8.8 memiliki minimum *tensile strength* 800 N/mm² atau setara 116 ksi (116,030 lbf/in²) dengan *proof stress* 640 MPa, *hardness* 22-23 HRC dan *elongation after fracture minimum* 12 %. (Tavio, 2015). Pengencangan (*pre-tensioning*) baut menggunakan kunci torsi merek *BRITTOOL* kapasitas 7 - 35 kg.m. Kunci ini digunakan untuk mengatur kekencangan baut saat dipasang, sehingga kekuatannya dapat terukur, menghindari dari kurang atau terlalu kencang pada saat dilakukan pengencangan, dengan demikian kerusakan baut maupun mur pada saat pengencangan dapat dihindari (Nugroho, 2012).

Pemodelan benda uji sambungan mekanis inovasi jenis *coupling sleeve* menggunakan *AUTOCAD* dan *solidworks*, serta simulasi *pullout test* dilakukan pada *software* ANSYS. Seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model inovasi sambungan mekanis

Sebelum dilakukan simulasi *pullout test*, diperlukan validasi pemodelan dengan benda uji yang hampir sama. Validasi pemodelan yang digunakan adalah hasil eksperimen *pullout test* 1 tulangan. Jika hasil simulasi *pullout test* dengan ANSYS kurang dari 10% maka dapat dikatakan bahwa pemodelan sudah valid dan dapat melanjutkan ke tahapan berikutnya (Wijaya et al., 2023). Selanjutnya dilakukan

penginputan material properties yang sudah didapatkan dari referensi jurnal dan percobaan laboratorium, dilanjutkan dengan pengumpulan material properties dari setiap material yang dibutuhkan dari referensi jurnal dan percobaan laboratorium, penginputan material properties dan proses input geometri dengan format (IGES). Lalu *settings* bagian *meshing* pilih *meshing element* 2 mm dengan dan *noncontact bonded* dengan nilai input *friction* f: 0,25, *bold Pretension* F_p: 28 kN T: 56 N.m.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Benda uji dalam penelitian berupa batang baja tulangan ulir dengan diameter D16 mm percobaan pengujian diawali dengan simulasi uji batang sambungan tarik dengan bantuan *software* ANSYS baik untuk benda uji yang dengan sambungan mekanis maupun yang tanpa sambungan atau uji tarik batang tulangan saja. Adapun data spesifikasi baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi baja tulangan

Diameter baja tulangan	Yield strength (MPa)	Tensile ultimate strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)
D16	400	540	200.000

Tabel 2. Spesifikasi baut dan mur

Diameter baut	Yield strength (MPa)	Tensile ultimate strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)
Grade 8.8	640	800	200.000

Pengujian properties baja dilakukan untuk mendapatkan data karakteristik material baja yang digunakan baik untuk batang yang akan disambung maupun material selongsongnya. Adapun dokumentasi pengujiannya seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Dokumen pengujian propertis material baja

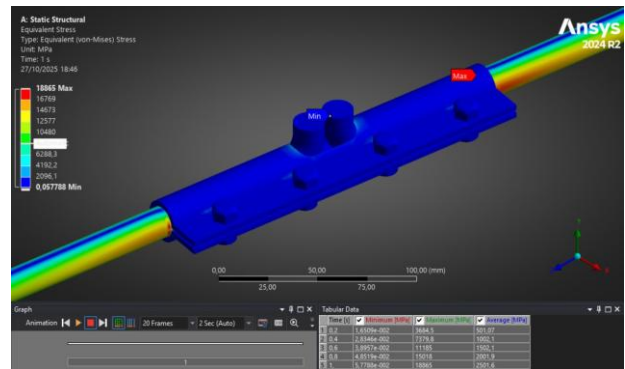
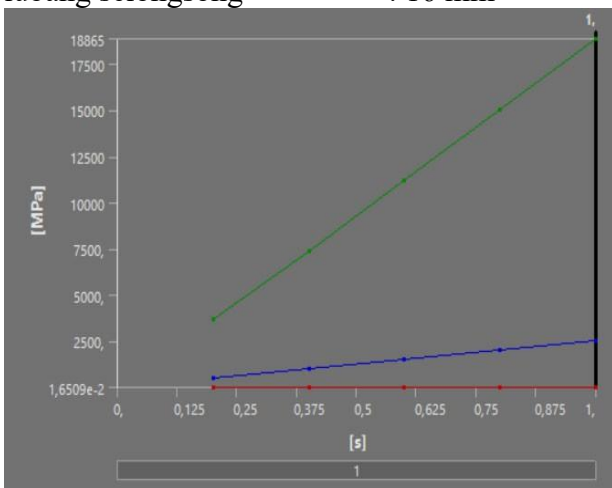
Data Geometri:

Panjang Selongsong/ sambungan mekanis : 200 mm

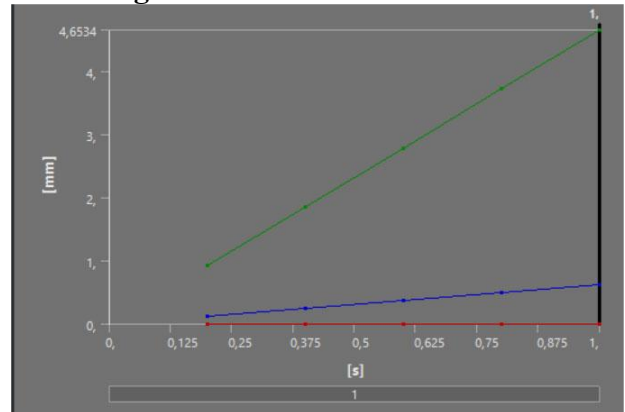
Panjang total tulangan : 600 mm

Ketebalan selongsong : 5 mm

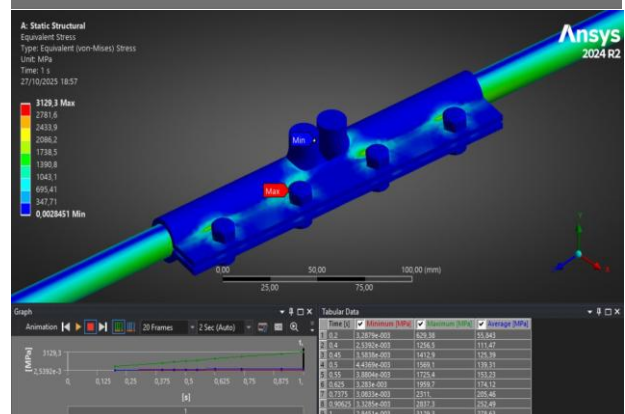
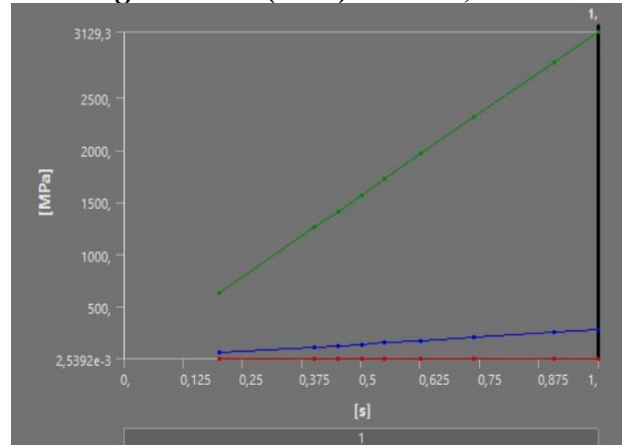
Diameter lubang selongsong : 16 mm



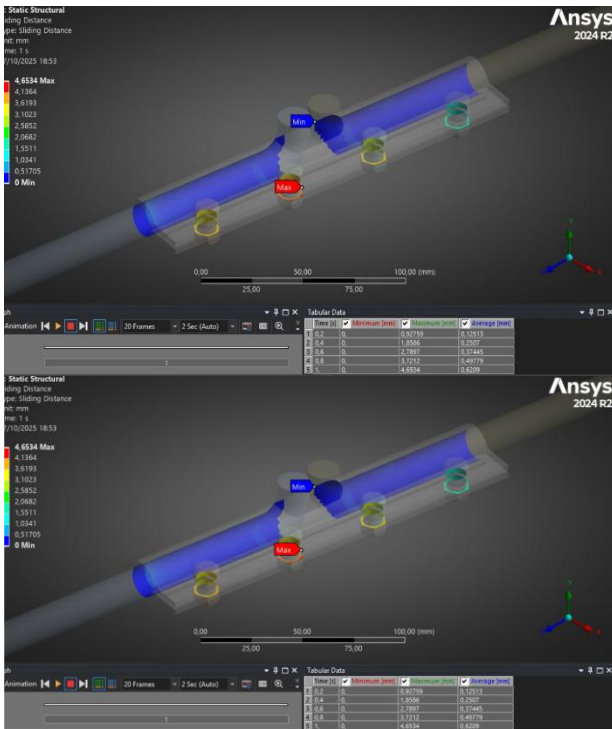
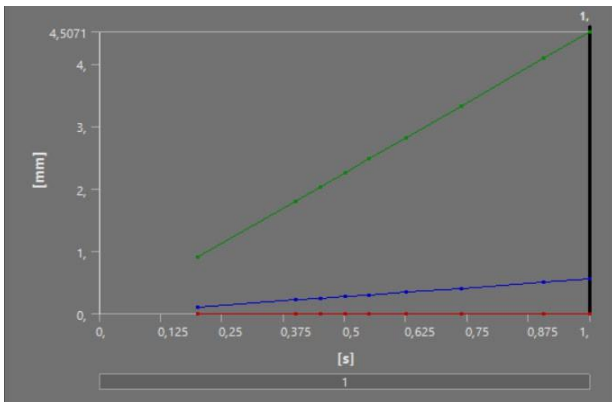
Gambar 4. Hasil simulasi pada sambungan dengan kuat tarik sebesar 100 kN.



Gambar 5. Hasil simulasi dengan nilai Sliding Distance (Max) $ds1 := 4,6534$ mm

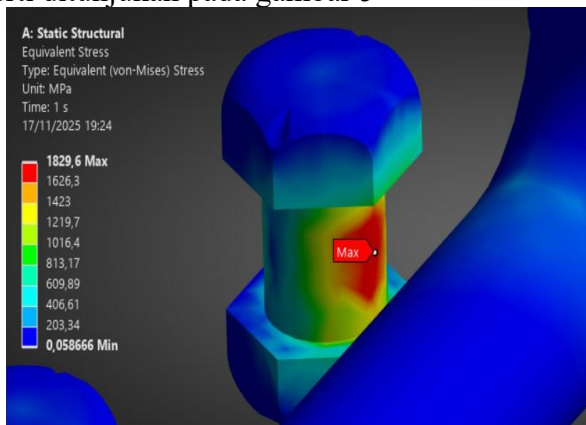


Gambar 6. Hasil simulasi pada sambungan dengan kuat tarik sebesar 10 kN.



Gambar 7. Hasil simulasi dengan nilai Sliding Distance (Max) $ds2 := 4,5071$ mm

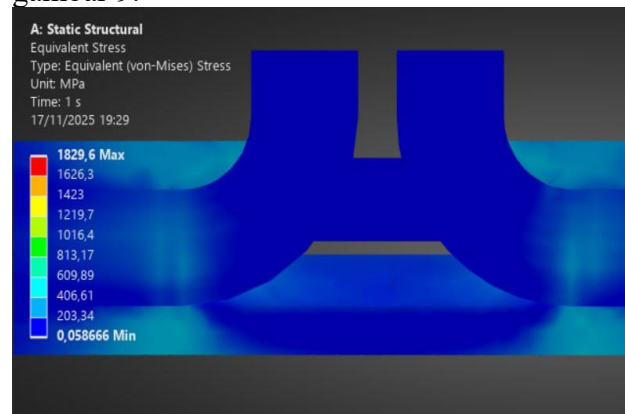
Tegangan maksimum sebesar 1.829,6 MPa terjadi pada daerah baut, yang disebabkan oleh efek torsi yang bekerja pada baut tersebut seperti ditunjukkan pada gambar 5



Gambar 8. Hasil simulasi pada bagian baut

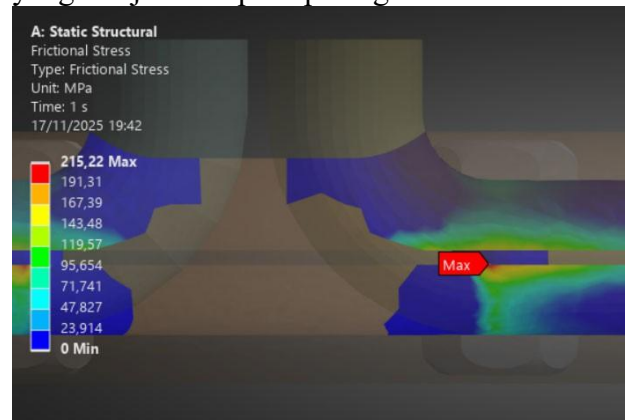
Tegangan pada tulangan dan selongsong yang terjadi pada tulangan dan selongsong

berada pada kisaran 0,3886 s/d 1.219,27 MPa, sesuai dengan parameter yang ditampilkan pada gambar 9.



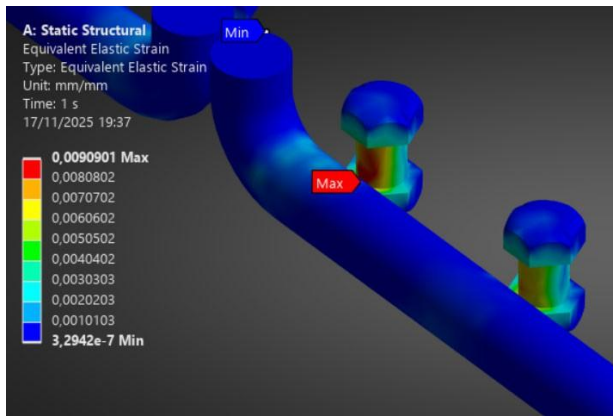
Gambar 9. Hasil simulasi tegangan yang terjadi pada sambungan selongsong pelat baja.

Tegangan kontak pada tulangan dan selongsong maksimum didapat sebesar 215,22 MPa terjadi pada area selongsong yang mana dipengaruhi oleh gaya baut yang memperbesar gaya cengkraman selongsong terhadap tulangan yang ditujukan seperti pada gambar 10.



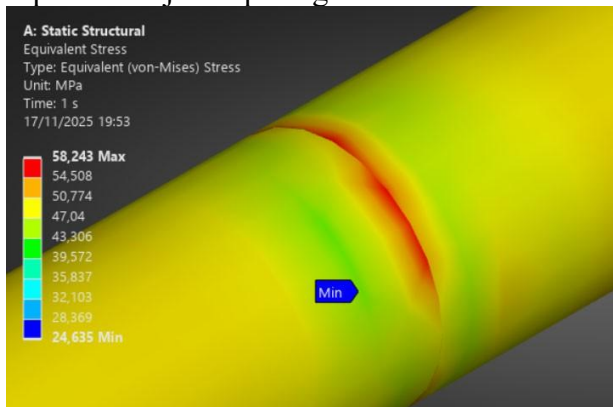
Gambar 10. Tegangan kontak pada tulangan dan selongsong.

Regangan Maksimum yang terjadi sebesar 0,0090901 terjadi pada daerah baut juga yang disebabkan oleh efek torsi yang bekerja pada baut tersebut Sedangkan pada tulangan dan selongsong terjadi regangan maksimum sebesar 0,0070702 seperti pada gambar 11.



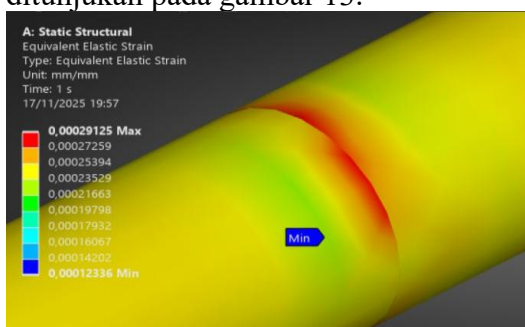
Gambar 11. Regangan kontak pada tulangan dan selongsong.

Tegangan maksimum pada simulasi tulangan tanpa sambungan. Tegangan pada simulasi tulangan saja terjadi pada area Tengah saat penarikan dengan nilai sebesar 58,243 MPa, seperti ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 12. Tegangan yang terjadi pada tulangan tanpa sambungan.

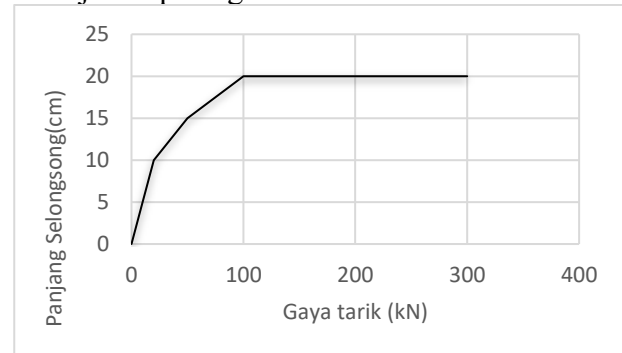
Regangan pada simulasi tulangan saja terjadi pada area Tengah saat penarikan dengan nilai regangan sebesar 0,00029125, yang ditunjukkan pada gambar 13.



Gambar 13. Regangan yang terjadi pada tulangan tanpa sambungan.

Berdasarkan hasil variasi panjang selongsong pada simulasi, diperoleh bahwa panjang coupling sleeve sebesar 200 mm merupakan ukuran yang paling efektif dalam menahan beban tarik. Panjang ini mampu memberikan distribusi tegangan yang lebih

merata serta mengurangi konsentrasi tegangan yang berlebihan pada daerah sambungan, seperti ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14. Grafik hubungan Panjang selongsong dengan beban Tarik.

Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak ANSYS menunjukkan bahwa distribusi tegangan maksimum terjadi pada daerah baut. Tegangan maksimum yang terjadi pada baut disebabkan oleh efek torsi akibat proses pengencangan baut serta gaya tarik yang bekerja pada sistem sambungan. Pada simulasi sambungan mekanis, nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada sistem tulangan dan selongsong lebih tinggi dibandingkan dengan simulasi tulangan tanpa sambungan. Hal ini disebabkan oleh konfigurasi model sambungan yang lebih kompleks serta adanya interaksi kontak antara beberapa komponen seperti tulangan, selongsong, dan baut, karena gaya atau torsi yang diberikan pada baut lebih besar dibandingkan gaya tarik yang diterapkan. Validasi hasil pemodelan dilakukan pengujian eksperimental di Laboratorium material dan struktur Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Adapaun dokumentasi pengujiannya seperti ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar 15. Saat proses pengujian tarik



Gambar 16. Setelah selesai proses uji tarik

Benda uji dalam penelitian ini berupa batang baja tulangan ulir diameter D16 mm yang disambung menggunakan sistem coupling sleeve dengan mekanisme penjepitan baut eksternal. Analisis dilakukan melalui simulasi numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS dan divalidasi melalui pengujian tarik eksperimental.

Distribusi Tegangan dan Mekanisme Transfer Gaya menunjukkan distribusi tegangan pada sistem sambungan akibat pembebanan tarik sebesar 100 kN. Terlihat bahwa tegangan maksimum terkonsentrasi pada area baut pengencang. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme utama transfer gaya dari tulangan ke selongsong terjadi melalui gaya jepit baut yang menghasilkan tekanan kontak dan gaya gesek pada permukaan tulangan.

Konsentrasi tegangan pada baut mengindikasikan bahwa baut berfungsi sebagai elemen kunci dalam sistem sambungan. Tegangan maksimum sebesar 1.829,6 MPa terjadi akibat kombinasi gaya tarik aksial dan torsi pengencangan baut. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas baut menjadi faktor penentu dalam kinerja keseluruhan sambungan.

Distribusi tegangan pada tulangan dan selongsong yang ditunjukkan pada Gambar 9 berada pada kisaran 0,3886 hingga 1.219,27 MPa dan relatif lebih merata dibandingkan pada baut. Hal ini menandakan bahwa selongsong mampu mendistribusikan gaya secara efektif dari satu batang tulangan ke batang lainnya tanpa terjadi konsentrasi tegangan yang berlebihan pada batang.

Tegangan kontak maksimum antara tulangan dan selongsong sebesar 215,22 MPa

(Gambar 10) menunjukkan bahwa gaya penjepit baut berhasil meningkatkan tekanan normal pada permukaan kontak, sehingga memperbesar gaya gesek yang menahan slip. Dengan demikian, sistem sambungan bekerja berdasarkan kombinasi gaya jepit, gaya gesek, dan interaksi kontak antar komponen.

Analisis Slip dan Deformasi Gambar 3 dan Gambar 7 menunjukkan distribusi Sliding Distance maksimum masing-masing sebesar 4,6354 mm pada beban 100 kN dan 4,5071 mm pada beban 10 kN. Nilai slip yang relatif tidak jauh berbeda antara kedua kondisi pembebanan menunjukkan bahwa slip awal lebih dipengaruhi oleh kondisi kontak dan kekencangan baut dibandingkan oleh besarnya beban tarik.

Hal ini mengindikasikan bahwa sebelum gaya gesek maksimum tercapai, terjadi pergeseran mikro pada permukaan kontak. Setelah gaya jepit bekerja secara optimal, sistem mampu menahan tambahan beban tanpa peningkatan slip yang signifikan. Regangan maksimum sebesar 0,0090901 terjadi pada area baut (Gambar 11), sedangkan pada tulangan dan selongsong sebesar 0,0070702. Distribusi regangan ini menunjukkan bahwa deformasi plastis cenderung terjadi pada baut, sementara tulangan tetap berada pada kondisi elastis hingga mendekati batas kapasitasnya.

Pengaruh Panjang Selongsong menunjukkan hubungan antara panjang selongsong dan kapasitas beban tarik. Panjang selongsong 200 mm memberikan kinerja paling optimal dengan distribusi tegangan yang lebih merata dan konsentrasi tegangan yang lebih rendah pada daerah sambungan.

Panjang yang terlalu pendek menyebabkan transfer gaya tidak efektif karena luas kontak terbatas, sedangkan panjang yang terlalu besar tidak memberikan peningkatan kapasitas yang signifikan sehingga kurang efisien secara material dan konstruksi.

Pengaruh panjang selongsong menunjukkan hubungan antara panjang selongsong dan kapasitas beban tarik. Panjang selongsong 200 mm memberikan kinerja paling optimal dengan distribusi tegangan yang lebih merata dan konsentrasi tegangan yang lebih rendah pada daerah sambungan. Panjang yang terlalu pendek menyebabkan transfer gaya tidak efektif karena luas kontak terbatas, sedangkan panjang yang terlalu besar tidak memberikan peningkatan

kapasitas yang signifikan sehingga kurang efisien secara material dan konstruksi.

Validasi eksperimental dan pola kegagalan hasil simulasi divalidasi melalui pengujian tarik di laboratorium (Gambar 15 dan Gambar 16). Pengamatan setelah pengujian menunjukkan bahwa deformasi terbesar terjadi pada area sambungan, khususnya pada baut, sementara batang tulangan tidak mengalami kegagalan.

Pola kegagalan ini konsisten dengan hasil simulasi numerik yang menunjukkan konsentrasi tegangan terbesar berada pada baut. Hal ini menegaskan bahwa sistem sambungan mampu mempertahankan kapasitas tulangan tanpa mengurangi luas penampangnya.

Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu Jika dibandingkan dengan sambungan berulir yang diteliti Bumpa & Elghazouli (2018), penelitian ini menunjukkan perbedaan mekanisme transfer gaya. Pada sambungan berulir, gaya ditransfer melalui interlocking ulir yang relatif merata, sedangkan pada coupling sleeve dengan penjepitan baut, gaya ditransfer melalui friksi akibat tekanan kontak. Oleh karena itu, regangan pada sistem sambungan dalam penelitian ini lebih besar dibandingkan tulangan utuh.

Penelitian (Shokrzadeh et al., 2022)(Croccolo et al., 2023)(Mou et al., 2024)(H. Qiu et al., 2024)(F. Qiu et al., 2023)(C. Zhang, Sun, & Yin, 2025)(C. Zhang, Sun, Yin, et al., 2025) melaporkan bahwa kegagalan pada coupler berulir sering terjadi pada daerah ulir akibat pengurangan luas penampang. Dalam penelitian ini, ujung tulangan tidak dimodifikasi sehingga luas penampang tetap utuh, dan kegagalan tidak terjadi pada tulangan melainkan pada baut.

Temuan ini sejalan dengan(Kruavit et al., 2020) (Cho & Lim, 2021) (Jiang et al., 2026) (Wu et al., 2024) yang menyatakan bahwa sambungan tanpa pengurangan penampang dapat mempertahankan kekuatan luluh tulangan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tulangan tetap mempertahankan integritasnya setelah disambung.

Dibandingkan dengan sambungan grouting sleeve yang diteliti Hua et al. (2016), (Flentri, 2012)(Ma et al., 2025), (Xiao & Huang, 2023),(X. Zhang et al., 2022), (Wang et al., 2022),(Fu et al., 2022), (Qu et al., 2023) (Min et al., 2026) mekanisme kegagalan pada penelitian

ini berbeda. Pada grouting sleeve, kegagalan umumnya berupa slip tulangan dari material grouting atau putusnya tulangan di luar sambungan, sedangkan pada coupling sleeve ini kegagalan cenderung diawali pada baut akibat tegangan tarik dan torsi.

Penelitian Dahal & Tazarv (2020), (Dadian & Rahnama, 2021), (G. Zhang, 2023) (Duan et al., 2024), (Agung et al., 2025) menegaskan bahwa dimensi dan panjang kopler sangat memengaruhi kinerja sambungan mekanis. Temuan bahwa panjang 200 mm merupakan ukuran optimal dalam penelitian ini mendukung kesimpulan tersebut.

Selain itu, Tazarv & Saiidi (2016), (Kang et al., 2026), (Huang et al., 2026) menyatakan bahwa pada struktur tahan gempa, kegagalan sebaiknya terjadi di luar area sambungan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tulangan tetap utuh sementara deformasi terlokalisasi pada baut, yang menunjukkan potensi penggunaan sistem ini pada aplikasi struktural, meskipun diperlukan penelitian lanjutan untuk pembebanan siklik.

4. PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik dan pengujian eksperimental yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sambungan mekanis jenis coupling sleeve mampu bekerja secara efektif sebagai sistem sambungan tulangan pada struktur beton bertulang. Distribusi tegangan maksimum pada sistem sambungan terjadi pada daerah baut akibat pengaruh torsi dan gaya tarik yang bekerja pada sambungan. Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan coupling sleeve dengan panjang 200 mm memberikan kinerja yang paling optimal dalam menahan beban tarik. Model sambungan yang diusulkan dalam penelitian ini berpotensi menjadi alternatif sambungan mekanis yang efektif karena mampu menyalurkan gaya tarik tanpa mengurangi luas penampang tulangan yang disambung

4.2. Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengkaji lebih lanjut kinerja sambungan coupling sleeve pada elemen struktur beton bertulang secara komposit dengan beton. Selain itu, perlu dilakukan analisis terkait efisiensi biaya serta kemudahan aplikasi di lapangan

sehingga sambungan ini dapat diterapkan secara lebih luas dalam praktik konstruksi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Agung, R., Abdurrohman, K., Gilang, M., Putra, P., Ari, F., Akbar, R., Ardiansyah, R., Hidayat, R., Satrio, T., & Suari, R. (2025). Experimental and numerical investigation of single lap , joggle lap , and filler-enhanced joggle lap bonded joints in CFRP Composites. *Materials Letters*, 384(January), 138074. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2025.138074>
- Chen, J., Wang, Y., Zhu, Q., Guo, M., & Fan, B. (2023). Mechanical properties and reinforcement technology of deep joints under static and fatigue loads. *Structures*, 47(September 2022), 1182–1195. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.11.124>
- Cho, S., & Lim, M. (2021). *Study on the Bending and Joint Performances of Reinforced Concrete Beams Using High-Strength Rebars*. 1–17.
- Croccolo, D., Agostinis, M. De, Fini, S., Scapocchi, C., Hassaan, M., Tariq, B., Mele, M., & Olmi, G. (2023). *Failure of Threaded Connections : A Literature Review*.
- Dabiri, H., Kheyroddin, A., & Dall, A. (2022). *Splice methods used for reinforcement steel bars : A state-of-the-art review*. 320(January).
- Dadian, A., & Rahnama, S. (2021). International Journal of Adhesion and Adhesives Experimental and numerical study of optimum functionally graded Aluminum / GFRP adhesive lap shear joints using Epoxy / CTBN. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 107(March), 102854. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2021.102854>
- 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>
- Darma, E., Nuranto, J. M., & Prihesnanto, F. (2024). *Comparative Investigation of the Tensile Strength of Steel Bars With and Without Couplers*. 03007.
- Di, J., Huang, X., Liao, X., Wu, M., Zhao, Y., & Guo, N. (2025). Study of the flexural performance of steel – concrete composite semirigid joints with embedded reinforcement in bamboo scrimber extension beams. *Structures*, 75(March), 108769. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.108769>
- Duan, L., Liang, W., Hou, Y., Wang, D., Cui, J., & Li, G. (2024). Thin-Walled Structures Investigation on shear and fatigue performance of CFRP / aluminum alloy single-lap adhesive joint. *Thin-Walled Structures*, 196(November 2023), 111421. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2023.111421>
- Edan, A. S., & Abdulsahib, W. S. (2024). *The impact of using prestressed CFRP bars on the development of fl exural strength*.
- El-azab, A., Mohamed, H. M., El-azab, A., & Mohamed, H. M. (2019). Effect of tension lap splice on the behavior of high strength concrete (HSC) beams Effect of tension lap splice on the behavior of high strength concrete (HSC) beams. *HBRC Journal*, 10(3), 287–297. <https://doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.01.002>
- Flenri, W. (2012). *Crop Circle Phenomena and 2012*. 1(March), 126–144.
- Fu, T., Ren, X., Li, Y., Wang, K., & Zhu, Z. (2022). Case Studies in Construction Materials Experimental study on the mechanical behavior of HTRB600E steel sleeve grouting based on UHPC. *Case Studies in Construction Materials*, 17(October), e01656. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01656>
- Gu, Q., Wu, R., Ren, J., Tan, Y., Tian, S., & Wen, S. (2022). Effect of position of non-contact lap splices on in-plane force transmission performance of horizontal joints in precast concrete double-face superposed shear wall structures. *Journal of Building Engineering*, 51(February), 104197. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104197>

- Hamad, H., Abdul, H., Sulong, N. H. R., Hung, K., Abutaha, F., & Gordan, M. (2021). Performance of mechanical steel bar splices using grouted couplers under uniaxial tension. *Journal of Building Engineering*, 34(September 2020), 101892. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101892>
- Huang, X., Li, S., Xu, Y., Xiao, H., & Wang, L. (2026). Seismic behavior and numerical simulation of damaged beam-column joints retrofitted with viscoelastic steel-enveloped elements. *Journal of Engineering Research*, 14(1), 160–175. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2025.09.016>
- Jiang, Z., Wang, C., Pang, S., Ji, S., Xu, D., & Chen, Y. (2026). *Experimental Study and Mechanical Performance Analysis of Reinforcement and Strengthening of Grouted Sleeve Connection Joints*. 1–31.
- Kang, D., Shin, S., Woo, J., Lee, K., & Shin, J. (2026). Effectiveness of an external steel frame retrofit system for nonductile reinforced concrete school buildings. *Engineering Structures*, 354(September 2025), 122417. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2026.122417>
- Kruavit, P., Ruangrassamee, A., & Hussain, Q. (2020). *Experimental and Analytical Study on Reinforcing Steels with Threaded Mechanical Couplers under Monotonic and Cyclic Loadings*. 24(3), 61–70. <https://doi.org/10.4186/ej.2020.24.3.61>
- Lei, Y., Guo, Q., Yu, Y., & Zhang, J. (2025). Hysteretic behavior of steel-plate concrete wall-reinforced concrete slab joint based on mechanical splicing and welded splicing connections. *Engineering Structures*, 326(December 2024), 119570. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.119570>
- Li, B., & Li, Q. (2025). *Coupled FEM-DEM modeling of permeability evolution in rough fractured shale during shearing under varying confining pressures*. xxx. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2025.03.017>
- Ma, G., Zhang, Y., Hwang, H., & Kim, D. (2025). Mechanical properties of half grouted sleeve connections with insufficient grouting and bar eccentricity defects. *Structures*, 75(February), 108852. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2025.108852>
- Min, W., Wen-hui, X., Run-bo, H., Yu-long, Z., Wei, J., & Zi-gang, X. (2026). Analysis of connection performance and restraint mechanism of BFRP bar grouting sleeves. *Structures*, 86(February), 111301. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2026.111301>
- Mou, Y., Xie, Y., Wei, F., Zhao, H., & Han, L. (2024). *Research on Thread Seal Failure Mechanism of Casing Hanger*.
- Muhammad, H., Saputra, A., & Triwiyono, A. (2023). Experimental Study on the Performance of Mechanical Coupler Splice Made of Rebar Under Monotonic Loading. *Semesta Teknika*, 2, 168–180.
- Nugroho, J. A. (2012). *Perilaku sambungan mekanis jenis clamping terhadap panjang lewatan*. 1–15.
- Qiu, F., Qian, H., Wang, H., Gao, Y., Jin, X., Wang, G., Zhao, L., & Fan, F. (2023). Study on the tensile performance degradation of bolt-ball joints after bolt-thread corrosion. *Structures*, 58(May), 105627. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105627>
- Qiu, H., Xu, Y., Tang, B., Su, L., Li, Y., Yang, D., & Ullah, M. (2024). *Interpretable Landslide Susceptibility Evaluation Based on Model Optimization*. 1–19.
- Qu, X., Xie, Y., Sun, Y., Sun, G., Deng, Y., & Qin, C. (2023). *Study of mechanical properties of grouting defective sleeve*. 48(January), 1128–1140.
- Shokrzadeh, M. R., Nateghi-e, F., & Javadi, P. (2022). *Failure area evaluation of the coupler with threaded bar : Experimental and Failure area evaluation of the coupler with threaded bar : Experimental and Numerical study*. January. <https://doi.org/10.1007/IJASE.2022.692294>
- Tang, R., Nie, X., Ding, R., Sun, Y., & Fan, J. (2023). Tensile behaviour of transverse reinforcement with different connection methods in single steel-plate concrete composite structures. *Structures*, 51(November 2022), 936–949.

- <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.03.028>
- Tarun, V., Moka, K., & Chidambaram, S. (2022). Materials Today: Proceedings Role of coupler in structural behavior of RC elements. *Materials Today: Proceedings*, 64, 1035–1042. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.05.097>
- Tavio, P. (2015). Inovasi Sambungan Mekanis Menggunakan Clamp Baja Untuk Tulangan Beton. *EMARA Indonesia Journal*, 1.
- Wang, T., Zhou, Z., Yuan, K., Jiang, R., Ma, X., & Li, L. (2022). Case Studies in Construction Materials Evaluation of common defects of grouted sleeve connectors. *Case Studies in Construction Materials*, 17(October), e01605. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01605>
- Wijaya, B. S., Rosyidah, A., & Edistria, E. (2023). Simulasi Model Sambungan Mekanis dengan Menggunakan Coupler Untuk Beton Pracetak. 29(1), 141–150. <https://doi.org/10.14710/mkts.v29i1>.
- Wu, X., Li, F., & Zhao, J. (2024). Corrosion damage characteristics of steel bars through new-old concrete interfacial zone connected by pre-compression. *Construction and Building Materials*, 414(November 2023), 135057. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.135057>
- Xiao, H., & Huang, Y. (2023). Detection of grout sleeve defects based on the time domain dimensionless indicators of component signals. *Journal of Building Engineering*, 65(November 2022), 105795. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.105795>
- Xu, J., Zhou, T., Chen, Z., Zhang, Y., & Zhao, O. (2026). Experimental and numerical study of CFST with internal defects under eccentric compression. *Journal of Constructional Steel Research*, 237(PB), 110157. <https://doi.org/10.1016/j.jcsr.2025.110157>
- Yulianto, H., Ambarwati, Zaneta, Musyaffa, & Firzaki, M. (2024). *Experimental Study on Flexural Performance of lap-spliced and mechanical-spliced (clamp type) rebars in RC Beams*. October 2023, 6–10. <https://doi.org/10.56748/ejse.24537>
- Zhang, C., Sun, R., & Yin, J. (2025). Failure behaviours of steel / aluminium threaded connections under impact fatigue ☆. *Engineering Failure Analysis*, 174(February), 109473. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.109473>
- Zhang, C., Sun, R., Yin, J., Zhao, F., & Dou, Q. (2025). Thin-Walled Structures Mechanical behaviour and failure mechanism of 7075 Aluminium alloy threaded connections under wide loading rate. *Thin-Walled Structures*, 215(PB), 113555. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2025.113555>
- Zhang, G. (2023). Study on Assembly and Tensile Performance of Circumferential Anchor Joint for Shield Tunnel Considering Roughness and Size of Structure. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 27(5), 2263–2274. <https://doi.org/10.1007/s12205-023-1761-x>
- Zhang, X., Zhao, Y., Guo, Y., & Li, Z. (2022). Equivalent stress-strain model of half grouted sleeve connection under monotonic and repeated loads : Experiment and preliminary application. *Engineering Structures*, 260(April), 114247. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114247>
- Zheng, Y., Sun, Z., Yao, L., Wang, X., Wei, Y., & Ge, H. (2026). Behavior and evaluation of the lap splice for steel-FRP composite bars embedded in concrete beams. *Engineering Structures*, 353(PA), 122240. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2026.122240>