



Analisis Metode Split Tensile Test Komposit Laminat Jute Terhadap Kekuatan Tarik Belah Beton Kolom Silinder

Analysis of the Split Tensile Test Method of Laminated Jute Composites on the Split Tensile Strength of Cylindrical Column Concrete.

Nurul Hidayat¹, A. J. Zulfikar^{1*}, Iswandi¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Sumatera Utara, Indonesia

*Corresponding author: zulfikar@staff.uma.ac.id

Diterima: 25-08-2022

Disetujui: 25-09-2022

Dipublikasikan: 30-09-2022

IRAJTMA is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.



Abstrak

Bahan komposit telah mengalami perkembangan yang cukup pesat sebagai bahan baru alternatif pengganti bahan-bahan logam. Struktur beton merupakan struktur utama dari suatu bangunan dan akan mengalami penurunan kekuatan mekaniknya seiring dengan waktu pakainya. Dalam studi ini, bahan komposit laminat dari kain jute anyaman akan digunakan sebagai penguat struktur beton. Tujuan penelitian ini ialah mendapatkan kekuatan tarik beton kolom silinder (BKS) yang diperkuat komposit laminat jute (KLJ) dengan metode split tensile test, analisis validitas data hasil uji dengan metode data terdistribusi normal (DTN), dan analisis kekuatan tarik BKS yang diperkuat KLJ berdasarkan hasil uji metode split tensile test. Pengujian tarik belah menggunakan standar ASTM C496 dengan variasi lapisan dari 1 lapis hingga 4 lapis KLJ. Pada masing-masing variasi dilakukan 3 kali pengujian. Pencetakan selubung KLJ pada BKS menggunakan metode Vacuum Bagging. Sebagai perbandingan, dipersiapkan 3 buah spesimen tanpa selubung KLJ sebagai control specimen. Hasil penyelidikan memperlihatkan bahwa pemberian selubung KLJ pada BKS mengakibatkan peningkatan kekuatan tarik belah BKS pada 1, 2, 3, dan 4 selubung KLJ sebesar 62 %, 166 %, 200 %, dan 330 % secara berturut-turut. Dengan demikian, pemberian selubung KLJ berpotensi sebagai bahan penguat struktur BKS.

Kata Kunci: Komposit laminat jute, beton kolom silinder, kekuatan tarik belah, data terdistribusi normal.

Abstract

Composite materials have experienced quite rapid development as new alternative materials to replace metal materials. The concrete structure is the main structure of a building and will experience a decrease in its mechanical strength over time. In this study, laminated composite materials from woven jute fabrics will be used as reinforcement for concrete structures. The purpose of this study was to obtain the tensile strength of cylindrical column concrete (BKS) reinforced by laminated jute composite (KLJ) using the split tensile test method, to analyze the validity of the test results using the normally distributed data method (DTN), and to analyze the tensile strength of BKS reinforced KLJ based on test results of the split tensile test method. The split tensile test uses the ASTM C496 standard with a variety of layers from 1 layer to 4 layers of KLJ. Each variation was tested 3 times. KLJ casing printing on BKS uses the Vacuum Bagging method. As a comparison, 3 specimens without KLJ casing were prepared as control specimens. The results of the investigation showed that the application of the KLJ sheath to the BKS resulted in an increase in the split tensile strength of the BKS at 1, 2, 3, and 4 KLJ sheaths by 62%, 166%, 200%, and 330% respectively. Thus, the provision of a KLJ sheath has the potential to strengthen the BKS structure.

Keywords: Jute laminate composite, cylindrical column concrete, split tensile strength, data normally distributed

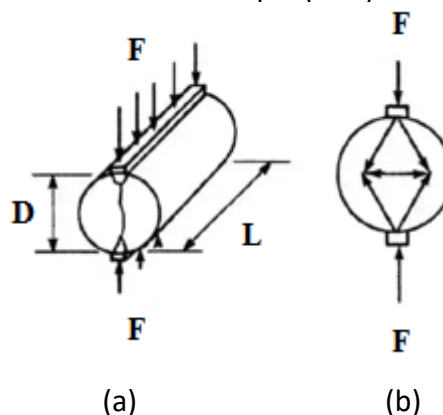
1. Pendahuluan

Dunia konstruksi sedang berkembang saat ini dan berbagai inovasi dilakukan dengan prinsip berkelanjutan dan ramah lingkungan. Salah satu inovasi beton yang ramah lingkungan namun tetap kuat yaitu dengan menggunakan bahan material komposit yang berasal dari bahan alami. Metode yang digunakan beragam, salah satunya dengan cara melapisinya dengan serat atau bahan komposit tertentu untuk meningkatkan sifat mekanik konstruksi beton tersebut (Das et al. 2021; Alamsyah, Zulfikar, and Siahaan 2022; Hidayat, Zulfikar, and Siahaan 2022).

Komposit ialah material yang terbentuk dari campuran dua atau lebih material yang akan menghasilkan sifat mekanik dan karakteristik yang baru yang berbeda dari material sebelumnya. Komposit memiliki beberapa jenis yaitu komposisi serat, laminat dan partikel. Dalam penelitian ini menggunakan komposisi laminat. Bahan penguat yang akan digunakan untuk melapisi beton tersebut ialah kain jute (Khasim, Shikkeri, and Rajanikanth 2020; Muzakir, Zulfikar, and Siahaan 2022).

Lembaran kain jute anyaman merupakan bahan dasar yang digunakan untuk kain burlap. Bahan ini diperoleh dari kulit batang pohon tanaman jute yang memiliki tekstur yang kasar. Bahan ini memiliki keunggulan dibandingkan serat sintesis antara lain bersifat renewable, bisa didaur ulang (recyclable), tidak berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan, memiliki sifat mekanis lebih baik, tidak menyebabkan abrasi pada alat, dan harganya lebih murah serta densitas yang lebih rendah. Akan tetapi, bahan ini memiliki kelemahan antara lain ukuran serat yang tidak seragam dan kekuatan serat sangat dipengaruhi oleh usia (Hamdan et al. 2020; Yuhazri, Zulfikar, and Ginting 2020).

Kuat tarik belah merupakan kemampuan balok beton silinder yang di letakkan pada dua perletakan secara horizontal untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji yang di berikan sampai benda uji retak dan terbelah (Huang et al. 2019). Bahan yang akan diuji diambil sampelnya lalu sampel tersebut dikompresi/ditekan sampai sampel tersebut retak dengan posisi melintang penampangnya. Oleh karena beban tekan pada ujung sampel dikondisikan terjadi pada satu titik, maka beban selanjutnya menyebar dalam sampel dan menyebabkan terjadinya beban tarik menarik disepanjang diameter penampang sampel. Dengan demikian, keretakan pada penampang sampel sebenarnya terjadi akibat beban tarik (Akinpelu et al. 2019). Kondisi ini diperlihatkan pada gambar 1. Kekuatan tarik belah (S_{tb}) dihitung dengan menggunakan persamaan (1), dimana F adalah beban tekan (N), L adalah panjang sampel (mm) dan D adalah diameter sampel (mm).



Gambar 1. Ilustrasi uji tarik belah, (a) kondisi pembebanan dalam bentuk 3 dimensi, dan (b) kondisi beban pada penampang spesimen

$$S_{tb} = \frac{2F}{\pi LD} \quad (1)$$

Probability Density Function (PDF) atau kepadatan dari suatu variabel acak kontinu adalah fungsi yang menggambarkan kemungkinan relatif untuk variabel acak ini untuk mengambil nilai yang diberikan (D. Montgomery 2017). Probabilitas distribusi data dari variabel

acak dapat ditentukan secara matematis dengan menggunakan suatu fungsi $f(x)$ yang disebut dengan fungsi kerapatan probabilitas. Fungsi kerapatan dapat digunakan dalam bidang ilmu rekayasa untuk menjelaskan suatu sistim fisik (Jawad et al. 2019). Rumus fungsi kerapatan pada suatu variabel acak X diperlihatkan pada persamaan (2).

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi s}} e^{\frac{-(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (2)$$

Beberapa studi tentang perbaikan struktur beton kolom telah dikerjakan. Perbaikan struktur beton kolom menggunakan sangkar baja telah dikerjakan dan menghasilkan struktur beton yang lebih kuat dari sebelumnya (Mosallam, Allam, and Salama 2019). Studi yang lain ialah perbaikan beton telah dilakukan dengan menggunakan metode steel jacketing. Hasilnya diperoleh struktur beton kolom yang kuat dan mampu menambah umur pakainya (Fakharifar et al. 2016). Lebih lanjut, sebuah studi dalam memperbaiki struktur beton kolom yang rusak dengan menerapkan metode composite jacketing yang menghasilkan struktur beton baru yang lebih kokoh dan bentuk yang lebih baik (Mohammed et al. 2019). Metode-metode yang diterapkan tersebut mampu meningkatkan kembali kekuatan beton kolom. Akan tetapi, metode-metode ini memiliki kelemahan dalam pengoperasiannya antara lain: waktu perbaikan yang cukup lama dan penambahan berat struktur baru yang dihasilkan.

Beberapa studi tentang kuat tarik belah pada struktur beton telah juga dikerjakan dan dilaporkan. Studi tentang aplikasi variasi agregat kasar dan agregat halus untuk meningkatkan kekuatan tarik belah telah dikerjakan dan Hasilnya menunjukkan kekuatan tarik belah maksimum diperoleh 3,4 MPa untuk beton agregat kasar dan 2,6 MPa untuk agregat halus (Supit, Pandaleke, and Dapas 2016). Studi lain ialah dengan penambahan serat rami yang membantu atau menghambat laju retakan. Penambahan serat rami paling optimum terjadi pada penambahan serat rami sebesar 0,5% dari berat semen dimana pada umur 28 hari memiliki kuat tarik belah sebesar 3,268 MPa (Nagaraj, Mishra, and Reddy 2020). Lebih lanjut, studi tentang penerapan serat jute pada beton dengan perlakuan pengeringan 7, 28, dan 90 hari telah dilakukan dan hasilnya diperoleh dari analisis faktorial menunjukkan bahwa panjang dan volume serat memberikan pengaruh positif terhadap sifat beton yang diperkeras pada umur perawatan awal dan umur perawatan diperpanjang. Akhirnya, sebuah studi yang berhubungan dengan aplikasi bahan komposit laminat hibrid jute e-glass sebagai penguat beton juga telah dilaporkan. Hasilnya diperoleh peningkatan kekuatan tekan hingga 100 % (rata-rata 15 MPa) dari spesimen tanpa komposit laminat (Siregar and Zulfikar 2022).

Berdasarkan hasil-hasil studi tersebut di atas, topik studi ini ialah tentang penyelidikan kekuatan tarik belah beton kolom silinder (BKS) dengan pemberian penguat bahan komposit laminat dari bahan kain jute anyaman. Tujuan penelitian ini ialah mengetahui kekuatan tarik BKS yang diperkuat komposit laminat jute (KLJ) dengan metode split tensile test, analisis validitas data hasil uji dengan metode PDF, dan analisis kekuatan tarik BKS yang diperkuat KLJ berdasarkan hasil uji metode split tensile test.

2. Metode

Spesimen uji tarik belah mengikuti standar uji ASTM C496. Pemantauan penurunan berat spesimen menggunakan timbangan digital model SF-400 dengan kapasitas maksimum 10 kg dan presisi 1 g. Pengujian kekuatan tarik belah menggunakan alat uji UTM jenis Hydraulic UTM model WEW-300D kapasitas 300 kN.

Kain jute anyaman (Gambar 2) dalam penelitian ini berfungsi sebagai penguat dengan cara menyelubungi struktur BKS dengan metode Vacuum Bagging. Resin epoxy dan pengerasnya dalam penelitian ini adalah dari jenis Bisphenol A-Epichlorohydrin. Semen yang dipergunakan dalam penelitian ini ialah dari jenis semen Portland Komposit SNI 7064 2014. Agregat beton terdiri dari semen, pasir, kerikil, dan air yang mengalami perlakuan 28 hari perendaman dalam air bersih dan 28 hari pengeringan di udara terbuka.



Gambar 2. Kain jute anyaman

Prosedur pelapisan KLJ ialah sebagai berikut: (1) pembersihan permukaan spesimen dengan menggunakan kertas pasir (amplas) dan kain lap, (2) pencampuran resin epoxy dan hardener-nya dengan perbandingan komposisi 1:1 (campuran ini diberi kode C1), (3) mengoleskan permukaan spesimen dengan C1 secara keseluruhan, (4) menempelkan kain jute ke permukaan spesimen sehingga seluruh permukaannya tertutupi, (5) mengoleskan kembali C1 ke permukaan kain jute hingga merata, (6) persiapan pompa vakum dan wadah vakum-nya, (7) mengoleskan bagian dalam permukaan wadah vakum dengan minyak pelumas untuk memudahkan pemisahan spesimen dan wadah ketika proses pembongkaran, (8) masukkan spesimen yang telah dilapisi dengan kain jute ke wadah vakum, (9) tutup rapat wadah vakum dengan menggunakan isolasi untuk mendapatkan kondisi vakum udara, (10) menghidupkan pompa vakum untuk menarik udara keluar dari wadah vakum, dan (11) setelah kondisi wadah dalam keadaan vakum yang ditunjukkan oleh tekanan pada alat ukur manometer pompa 0 bar, maka ikat wadah vakum dengan rapat dan lepaskan pompa vakum (Gambar 3). Dalam penelitian ini, jumlah variasi KLJ yang diberikan ialah untuk 1, 2, 3, dan 4 lapis selubung kain jute. Sebagai perbandingan, dipersiapkan juga 3 buah spesimen BKS tanpa selubung kain jute.



Gambar 3. Vacuum bagging

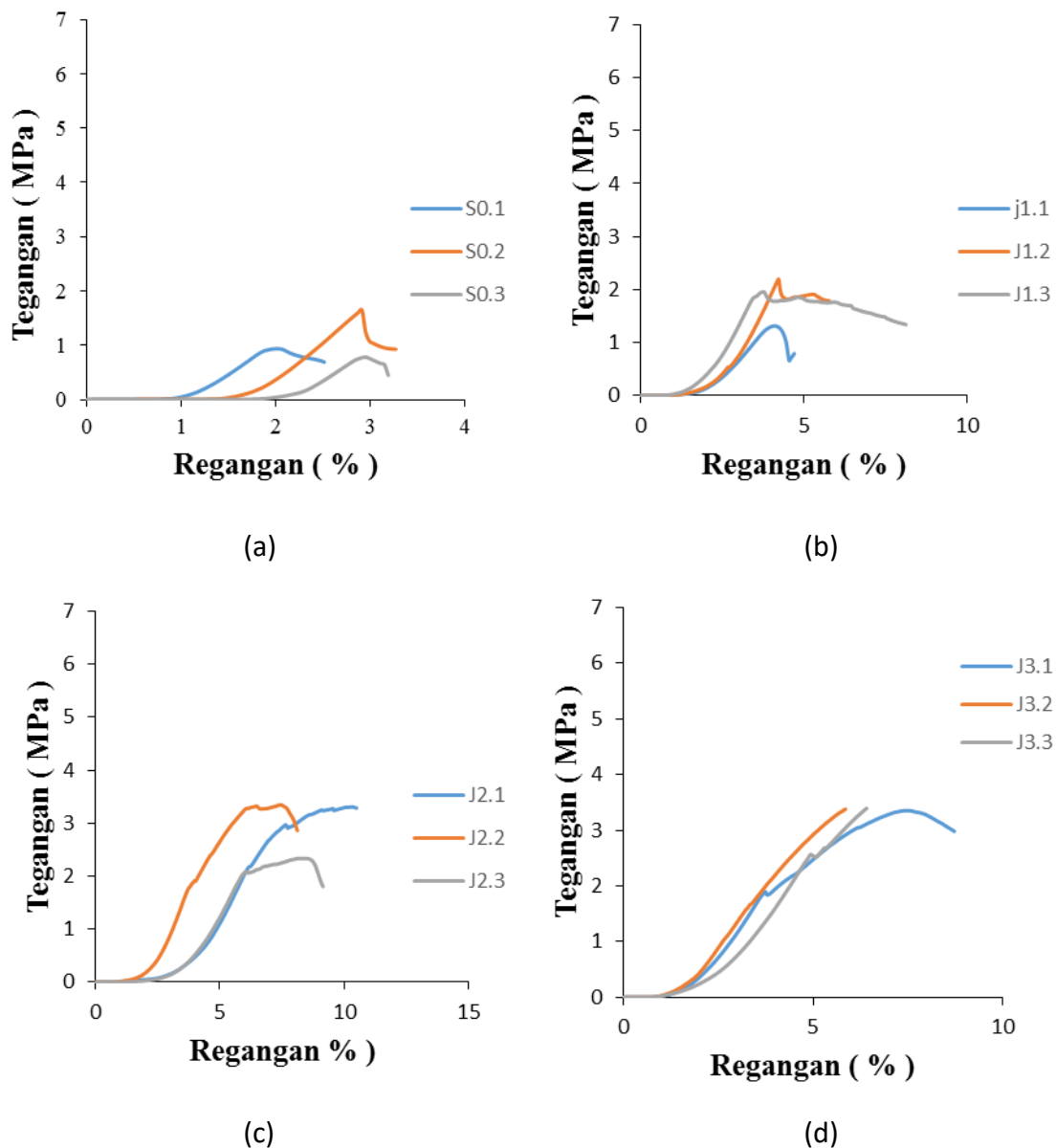
Prosedur perhitungan fungsi PDF terhadap variasi data untuk menentukan distribusi data analisis kekuatan tekan spesimen BKS yang diberi penguat dari selubung KLJ, sebagai berikut: (a) mengurutkan data-data hasil uji dari nilai terendah hingga ke nilai tertinggi, (b) menghitung nilai rata-rata keseluruhan data, (c) menghitung nilai standar deviasi keseluruhan data, (d) menghitung fungsi PDF variasi data pada masing-masing data uji dengan menggunakan persamaan (2), (e) menggambarkan grafik fungsi kerapatan tersebut menggunakan software Ms. Excel sehingga diperoleh kondisi distribusi variasi data

Prosedur perhitungan untuk analisis kekuatan tarik belah spesimen BKS yang diberi penguat dari selubung KLJ, sebagai berikut: (a) Input data-data numerik hasil pengujian ke dalam spread sheet Ms. Excel. Input data uji berdasarkan variasi dan jumlah pengulangan pada tiap variasinya, (b) perhitungan kekuatan tarik belah dengan menggunakan persamaan (1),(c)

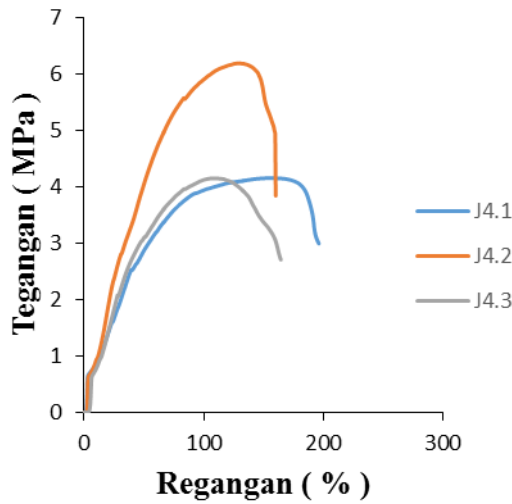
pembuatan grafik kekuatan tarik belah dan regangan, dan (d) menentukan nilai maksimum kekuatan tarik pada masing-masing perlakuan berdasarkan grafik yang diperoleh.

3. Hasil dan Pembahasan

Grafik hasil pengujian kekuatan tarik belah spesimen BKS dengan variasi KLJ untuk 1, 2, 3, dan 4 lapis diperlihatkan pada gambar 4 (b), (c), (d), dan (e) secara berturut-turut. Sedangkan untuk spesimen kontrol, grafik hasil pengujiannya diperlihatkan pada gambar 4 (a). Berdasarkan grafik tersebut, kekuatan tarik belah untuk variasi tanpa laminat jute diperoleh nilai 0,936 MPa, 1,650 MPa, dan 0,784 MPa, dengan rata-rata 1,123 MPa. Kekuatan tarik belah untuk variasi satu lapisan laminat jute diperoleh nilai 1,315 MPa, 2,194 MPa, dan 1,957 MPa, dengan rata-rata 1,822 MPa. Kekuatan tarik belah untuk variasi dua lapisan laminat jute diperoleh nilai 3,303 MPa, 3,344 MPa, dan 2,335 MPa, dengan rata-rata 2,994 MPa. Kekuatan tarik belah untuk variasi tiga lapisan laminat jute diperoleh nilai 3,352 MPa, 3,382 MPa, dan 3,394 MPa, dengan rata-rata 3,376 MPa. Akhirnya, kekuatan tarik belah untuk variasi empat lapisan laminat jute diperoleh nilai 4,155 MPa, 6,189 MPa, dan 4,149 MPa, dengan nilai rata-rata 4,831 MPa.



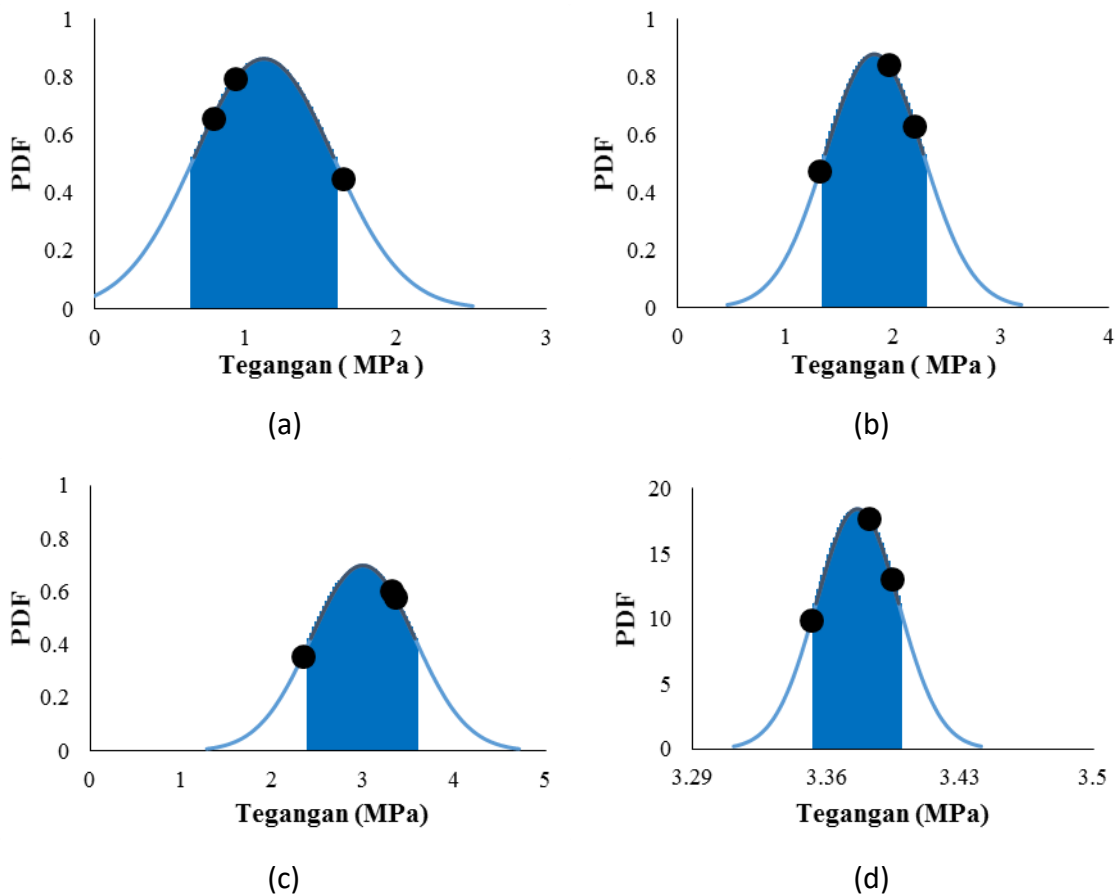
Gambar 4. Grafik kekuatan tarik belah berdasarkan variasi (a) S0, (b) J1, (c) J2, (d) J3, (e) J4



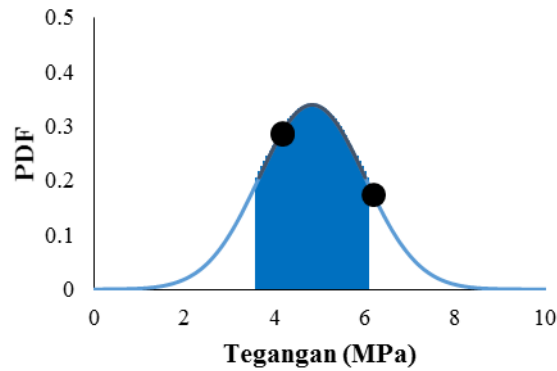
(e)

Gambar 5. Grafik kekuatan tarik belah berdasarkan variasi (a) S0, (b) J1, (c) J2, (d) J3, (e) J4 (lanjutan)

Uji validitas data menggunakan metode Probability Density Function (PDF) untuk variasi-variasi data hasil uji kekuatan tarik belah tersebut diperlihatkan pada gambar 5. Berdasarkan masing-masing grafik PDF tersebut, data-data hasil pengujian terbukti berada dalam jangkauan $\mu - \sigma < X < \mu + \sigma$. Data-data tersebut tersebar mendekati nilai rata-ratanya. Dengan demikian, data-data hasil pengujian tersebut dalam kondisi terdistribusi normal dan dapat dianggal mewakili sampel.



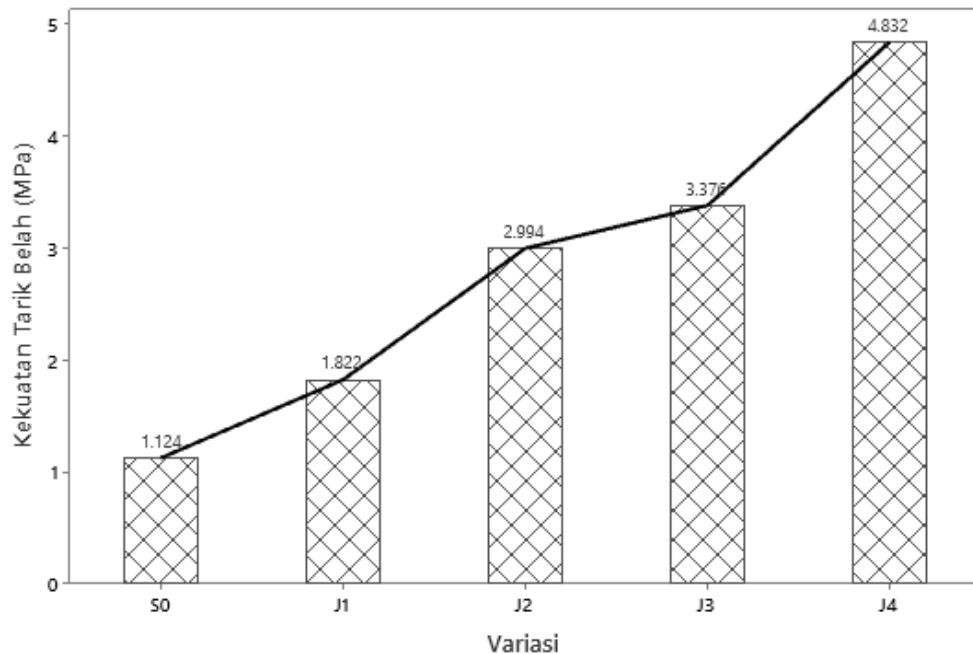
Gambar 6. Grafik PDF berdasarkan variasi (a) S0, (b) J1, (c) J2, (d) J3, dan (e) J4



(e)

Gambar 7. Grafik PDF berdasarkan variasi (a) S0, (b) J1, (c) J2, (d) J3, dan (e) J4 (lanjutan)

Grafik kekuatan tarik rata-rata pada masing-masing variasi KLJ diperlihatkan pada gambar 6. Berdasarkan grafik tersebut, kekuatan rata rata untuk variasi jumlah KLJ satu lapis mengalami peningkatan hingga 62% dibandingkan dengan spesimen tanpa KLJ. Lebih lanjut, kekuatan rata rata untuk variasi jumlah KLJ dua lapis mengalami peningkatan hingga 166%. Kekuatan rata-rata untuk variasi jumlah KLJ tiga lapis mengalami peningkatan hingga 200%. Akhirnya, kekuatan rata rata untuk variasi jumlah KLJ empat lapis mengalami peningkatan hingga 330%. Dengan demikian, pemberian KLJ pada spesimen BKS terbukti secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik belah spesimen tersebut.



Gambar 8. Grafik kekuatan tarik belah rata-rata

Hasil studi ini mendukung hasil penyelidikan yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya bahwa pemberian penguat tambahan dari bahan-bahan alami akan mampu meningkatkan kekuatan mekanik struktur BKS (Mosallam, Allam, and Salama 2019; Fakharifar et al. 2016; Mohammed et al. 2019; Supit, Pandaleke, and Dapas 2016; Nagaraj, Mishra, and Reddy 2020). Dengan demikian, pemberian penguat dari bahan kain jute anyaman dalam bentuk bahan komposit laminat memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi penguat struktur BKS.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data-data hasil eksperimental yang telah dikerjakan, maka diperoleh kesimpulan bahwa kekuatan tarik belah maksimum rata-rata diperoleh pada jumlah laminat sebanyak 4 lapis, yaitu 4,832 MPa atau mengalami peningkatan kekuatan tarik rata-rata hingga 330 % terhadap spesimen tanpa laminat. Sementara spesimen dengan laminat 1 lapis tidak jauh berbeda dengan kekuatan tarik belah rata-rata pada spesimen tanpa laminat. Lebih lanjut, hasil analisis terhadap fungsi kerapatan variasi terhadap seluruh data uji menunjukkan bahwa data-data hasil eksperimental tersebut adalah terdistribusi secara normal. Artinya ialah data-data tersebut berada pada populasi yang terbaik, dimana data-data hasil uji masih sangat dekat dengan nilai rata-rata keseluruhannya. Dengan kata lain, hasil pengujian tersebut dapat mewakili populasi kekuatan tarik belah spesimen beton diperkuat dengan laminat jute. Akhirnya, berdasarkan analisis kekuatan tarik BKS yang diperkuat KLJ dengan metode split tensile test, pemberian komposit laminat jute terbukti dapat meningkatkan kekuatan tarik belah spesimen tersebut, walaupun lapisan 1 tidak terlalu signifikan. Dengan demikian, komposit laminat jute baru bisa memberikan peningkatan kekuatan yang signifikan pada jumlah laminat lebih dari 1 lapis.

Ucapan Terima Kasih

Penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Universitas Medan Area yang telah mendukung penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Akinpelu, Mutiu A, Samson O Odeyemi, Oladipupo S Olafusi, and Fatimah Z Muhammed. 2019. "Evaluation of Splitting Tensile and Compressive Strength Relationship of Self-Compacting Concrete." *Journal of King Saud University - Engineering Sciences* 31 (1): 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2017.01.002>.
- Alamsyah, Diko, Achmad Jusuf Zulfikar, and M Yusuf Rahmansyah Siahaan. 2022. "Optimasi Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Selubung Komposit Laminat Jute Dengan Metode Anova." *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)* 6 (1): 30–36.
- D. Montgomery, and G. Runger. 2017. *Applied Statistics and Probability for Engineers Third Edition Yuliarman*. 6th ed. New York.
- Das, Subrata C., Debasree Paul, Sotirios A. Grammatikos, Md A.B. Siddiquee, Styliani Papatzani, Panagiota Koralli, Jahid M.M. Islam, et al. 2021. "Effect of Stacking Sequence on the Performance of Hybrid Natural/Synthetic Fiber Reinforced Polymer Composite Laminates." *Composite Structures* 276 (August): 114525. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2021.114525>.
- Fakharifar, Mostafa, Genda Chen, Chenglin Wu, Anoosh Shamsabadi, Mohamed A Elgawady, and Ahmad Dalvand. 2016. "Rapid Repair of Earthquake-Damaged RC Columns with Prestressed Steel Jackets." *Bridge Engineering*, 1–15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)BE.1943-5592.0000840](https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000840).
- Hamdan, M H M, J P Siregar, M R Ahmad, A Asghar, C Tezara, J Jamiluddin, and M Zalinawati. 2020. "Characterisation of the Woven Fabric of Jute , Ramie and Roselle for Reinforcement Material for Polymer Composite." *Materials Today: Proceedings*, no. xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.372>.
- Hidayat, Nurul, Achmad Jusuf Zulfikar, and M. Yusuf R Siahaan. 2022. "Analisis Kekuatan Tekan Struktur Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Laminat Hibrid Jute E-Glass Epoksi Eksperimental Dan ANOVA." *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)* 6 (1): 37–44.

- Huang, Hua, Yujie Yuan, Wei Zhang, and Zichen Gao. 2019. "Bond Behavior between Lightweight Aggregate Concrete and Normal Weight Concrete Based on Splitting-Tensile Test." *Construction and Building Materials* 209: 306–14. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.125>.
- Jawad, Fayaz, C Y Adarsha, T Raghavendra, B C Udayashankar, and K Natarajan. 2019. "Structural Behavior of Concrete Beams and Columns Reinforced with Waste Plastic Incorporated GFRP (WPGFRP) Rebars." *Journal of Building Engineering* 23 (August 2018): 172–84. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.01.030>.
- Khasim, S K, Shankarlinga B Shikkeri, and K Rajanikanth. 2020. "Mechanical Characterization of Jute / Banana / Epoxy Reinforced Laminate Composite." *Materials Today: Proceedings Journal*, no. xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.12.379>.
- Mohammed, Ali A, Allan C Manalo, Gingham B Maranan, Majid Muttashar, Yan Zhuge, P V Vijay, and John Pettigrew. 2019. "Effectiveness of a Novel Composite Jacket in Repairing Damaged Reinforced Concrete Structures Subject to Flexural Loads." *Composite Structures*, 111634. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111634>.
- Mosallam, Ayman, Khaled Allam, and Mohamed Salama. 2019. "Analytical and Numerical Modeling of RC Beam-Column Joints Retrofitted with FRP Laminates and Hybrid Composite Connectors." *Composite Structures* 214 (October 2018): 486–503. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.032>.
- Muzakir, Aji Tyas, Achmad Jusuf Zulfikar, and M. Yusuf Rahmansyah Siahaan. 2022. "Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute E-Glass Epoksi." *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)* 6 (1): 12–19.
- Nagaraj, Chetty, Debashis Mishra, and J. Durga Prasad Reddy. 2020. "Estimation of Tensile Properties of Fabricated Multi Layered Natural Jute Fiber Reinforced E-Glass Composite Material." *Materials Today: Proceedings* 27 (8): 1443–48. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.864>.
- Siregar, Doni Alfiah, and Achmad Jusuf Zulfikar. 2022. "Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-Glass Pada Beton Kolom Silinder Dengan Metode Vacuum Bagging." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 5 (1): 20–25.
- Supit, Fransiska Verent, Ronny Pandaleke, and Servie O Dapas. 2016. "Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Variasi Agregat Yang Berasal Dari Beberapa Tempat Di Sulawesi Utara." *Jurnal Ilmiah Media Engineering* 6 (2): 476–84.
- Yuhazri, M. Y., A. J. Zulfikar, and A. Ginting. 2020. "Fiber Reinforced Polymer Composite as a Strengthening of Concrete Structures: A Review." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1003 (1): 1–12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012135>.