



Analisis Metode Split Tensile Test Komposit Laminat Hybrid Jute E-Glass Akibat Beban Tarik Beton Kolom Silinder

Analysis of Split Tensile Test Method for Composite Laminate Hybrid Jute E-Glass Due to Tensile Load of Cylindrical Column Concrete

M. I. Tambusay¹, 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: 30-08-2022

Disetujui: 25-09-2022

Dipublikasikan: 30-09-2022

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



Abstrak

Dalam studi ini, penguatan struktur beton dikerjakan dengan melapisinya dengan bahan komposit laminat dari kombinasi penguat dari bahan alami (lembar kain jute anyaman) dan bahan sintetik (lembar serat kaca e-glass anyaman). Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kekuatan tarik belah beton kolom silinder (BKS) dengan metode uji tarik belah (split tensile test) akibat pemberian selubung komposit laminat hibrid jute e-glass (KLHJG), analisis validitas data dengan metode data terdistribusi normal (DTN) terhadap hasil uji kekuatan geser selubung KLHJG sebagai penguat BKS, dan analisa pengaruh pemberian selubung KLHJG terhadap kekuatan tarik BKS. Spesimen dicetak berdasarkan standar uji ASTM C496 dengan perlakuan perendaman dalam air bersih selama 28 hari dan pengeringan di udara terbuka selama 28 hari. Variasi KLHJG terdiri dari JGJ, JJG, JJJG, JGJG, dan GJGJ. Tiap variasi terdiri dari 3 kali perulangan pengujian. Proses pemberian selubung KLHJG pada BKS menggunakan metode Vacuum Bagging. Validitas data menggunakan metode fungsi kerapatan probabilitas. Hasil studi memperlihatkan bahwa pemberian KLHJG mampu meningkatkan kekuatan tarik belah hingga 800 %. Dengan demikian, aplikasi KLHJG berpotensi diterapkan sebagai penguat BKS.

Kata Kunci: KLHJG, BKS, kekuatan tarik belah, Fungsi Kerapatan Probabilitas

Abstract

In this study, reinforcement of the concrete structure was done by coating it with a laminate composite material from a combination of reinforcement from natural materials (woven jute cloth sheets) and synthetic materials (woven e-glass fiber sheets). The purpose of this study was to determine the split tensile strength of cylindrical column concrete (BKS) using the split tensile test method due to the application of e-glass laminate hybrid composite sheath (KLHJG), to analyze the validity of the data using the normally distributed data method (DTN), on the results of the shear strength test of the KLHJG sheath as reinforcement for BKS, and analysis of the effect of applying KLHJG's sheath on the tensile strength of BKS. Specimens were printed based on the ASTM C496 test standard by immersion in clean water for 28 days and drying in the open air for 28 days. The KLHJG variation consists of JGJ, JJG, JJJG, JGJG, and GJGJ. Each variation consists of 3 repetitions of the test. The process of providing KLHJG casings to BKS uses the Vacuum Bagging method. Data validity uses the probability density function method. The results of the study show that the provision of KLHJG can increase the split tensile strength by up to 800%. Thus, the KLHJG application has the potential to be applied as a BKS booster.

Keywords: KLHJG, BKS, Splitting Tensile Strength, Probability Density Function

1. Pendahuluan

Sejak ribuan tahun yang lalu, beton sudah dikenal dan digunakan sebagai material konstruksi utama pada bangunan. Pada masa ini, beton berpenguat telah banyak diteliti untuk meningkatkan kekuatan dan umur pakainya. Beton merupakan suatu bahan konstruksi yang banyak digunakan pada pekerjaan struktur bangunan di Indonesia karena banyak keuntungan yang diberikan, antara lain bahan pembentuknya yang relatif mudah diperoleh, mudah dibentuk, mampu memikul beban berat, relatif tahan terhadap temperature yang tinggi, serta biaya pemeliharaan yang kecil dibanding umur pemakaiannya (Alexander and Beushausen 2019). Beton dibentuk dari campuran agregat halus, agregat kasar, semen dan air dengan perbandingan tertentu. Beton pada dasarnya lemah terhadap tegangan tarik dan kuat terhadap tegangan tekan. Beton yang lemah terhadap kuat tarik dapat ditingkatkan kekuatannya dengan menambahkan bahan penguat lain seperti bahan serbuk, serat, serpihan, dan lembaran, dll (Yuhazri, Zulfikar, and Ginting 2020). Oleh karena itu, bahan komposit menjadi pilihan terbaik untuk diaplikasikan pada struktur beton (Alamsyah, Zulfikar, and Siahaan 2022).

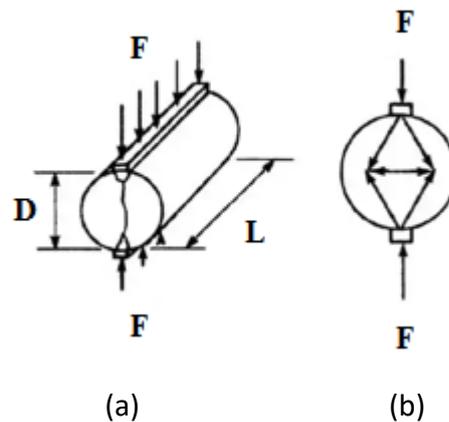
Komposit ialah material yang terbentuk dari campuran dua atau lebih material yang akan menghasilkan sifat mekanik dan karakteristik yang baru yang berbeda dari material sebelumnya. Komposit memiliki beberapa jenis yaitu komposisi serat, laminat dan partikel. Dalam penelitian ini menggunakan komposisi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

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 (Yuhazri, Zulfikar, and Ginting 2020; Hamdan et al. 2020).

Salah satu jenis serat kaca yang paling banyak diproduksi dan digunakan adalah jenis E-glass. E-glass adalah tipe serat yang relatif murah dan memiliki kinerja mekanik yang baik. E-glass memberikan sifat kekuatan yang baik dengan biaya yang terjangkau, serta memiliki kekuatan tarik dan tekan yang baik (Siregar and Zulfikar 2022). E glass adalah bahan yang tidak mudah terbakar dan biasanya digunakan sebagai penguat matrik jenis polymer (Chethan, Nagesh, and Sunith Babu 2019). Komposisi kimia e glass sebagian besar adalah SiO₂ dan sisanya adalah oksida oksida alumunium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan unsur unsur lainnya (Reddy and Miravete 2018).

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 sample 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 (Stb)

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

$$S_{tb} = \frac{2F}{\pi LD} \tag{1}$$

Kepadatan variabel acak kontinu, juga dikenal sebagai fungsi kepadatan probabilitas (PDF), adalah fungsi yang menyatakan kemungkinan bahwa variabel acak akan mengambil nilai tertentu (D. Montgomery 2017). Fungsi kepadatan probabilitas, atau $f(x)$, adalah fungsi matematika yang dapat digunakan untuk menghitung kemungkinan distribusi data dari variabel acak. Rekayasa dapat memanfaatkan fungsi kepadatan untuk mengkarakterisasi sistem fisik (Jawad et al. 2019). Persamaan (2) memberikan rumus fungsi kepadatan untuk variabel acak X.

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

Ada banyak penelitian tentang bagaimana membuat konstruksi beton berbentuk kolom lebih baik (Mosallam, Allam, and Salama 2019). Modifikasi sangkar baja telah dilakukan pada struktur beton kolom sehingga lebih kuat dari sebelumnya. Penggunaan selubung baja untuk perbaikan beton adalah subjek penelitian lain. Sebuah konstruksi kolumnar beton yang kokoh dan mampu memperpanjang umur layanannya adalah hasil akhirnya (Fakharifar et al. 2016). Selain itu, kajian penggunaan teknologi jaket komposit untuk memperbaiki struktur kolom beton yang rusak menghasilkan struktur beton baru yang lebih kuat dan memiliki bentuk yang lebih baik. Teknik yang digunakan dapat membuat beton yang digunakan untuk kolom menjadi lebih kuat. Teknik-teknik ini memang memiliki beberapa keterbatasan, seperti periode perbaikan yang panjang dan bobot tambahan dari konstruksi yang dibangun kembali (Mohammed et al. 2019).

Selain itu, banyak penelitian tentang kuat tarik belah struktur beton telah dilakukan dan dipublikasikan. Kekuatan tarik belah maksimum untuk beton yang dibuat dengan agregat kasar adalah 3,4 MPa dan untuk beton yang dibuat dengan agregat halus adalah 2,6 MPa, sesuai dengan studi tentang penerapan berbagai jenis agregat kasar dan agregat halus untuk meningkatkan kekuatan tarik belah (Supit, Pandaleke, and Dapas 2016). Investigasi lain mengamati bagaimana penambahan serat rami memengaruhi atau mencegah keretakan. Cara terbaik untuk memasukkan serat rami ke dalam beton adalah dengan menambahkan 0,5% beratnya ke semen, yang, setelah 28 hari, memiliki kuat tarik belah sebesar 3,268 MPa (Nagaraj, Mishra, and Reddy 2020). Hasil analisis faktorial pada penelitian penerapan serat rami

pada beton dengan perlakuan pengeringan 7, 28, dan 90 hari menunjukkan bahwa panjang dan volume serat memiliki pengaruh yang menguntungkan terhadap sifat beton keras baik pada umur perawatan awal maupun perpanjangan. menyembuhkan hidup. Penggunaan material komposit laminasi hybrid jute e-glass sebagai penguat beton juga telah didokumentasikan, menurut sebuah penelitian di bidang ini. Akibatnya, kekuatan tekan spesimen dibandingkan dengan yang tanpa komposit laminasi meningkat hingga 100% (rata-rata 15 MPa) (Siregar and Zulfikar 2022).

Berdasarkan hasil-hasil studi tersebut di atas, topik studi ini ialah tentang penyelidikan kekuatan tarik belah beton kolom silinder dengan pemberian penguat bahan komposit laminat dari bahan kain jute dan serat e-glass anyaman (Hibrid). Tujuan penelitian ini ialah mengetahui kekuatan tarik belah beton kolom silinder (BKS) dengan metode uji tarik belah (split tensile test) akibat pemberian selubung komposit laminat hibrid jute e-glass (KLHJG), analisis validitas data dengan metode data terdistribusi normal (DTN) terhadap hasil uji kekuatan geser selubung KLHJG sebagai penguat BKS, dan analisa pengaruh pemberian selubung KLHJG terhadap kekuatan tarik BKS.

2. Metode

Dalam studi ini, spesimen uji tarik belah mengikuti standar uji ASTM C496. Pengukuran 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 dan serat kaca 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. 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. Semen yang dipergunakan dalam penelitian ini ialah dari jenis semen Portland Komposit SNI 7064 2014.



Gambar 2. Bahan utama KLHJG: (a) kain jute anyaman, dan (b) lembaran serat kaca e-glass

Prosedur pelapisan KLHJG 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, variasi KLHJG terdiri dari JGJ, JJG, JJJG, GJGJ, dan JGJG dimana J untuk kain jute anyaman dan G untuk lembar serat kaca e-glass. Sebagai perbandingan, dipersiapkan juga 3 buah spesimen BKS tanpa selubung kain jute yang diberi kode S0.



Gambar 3. Vacuum bagging

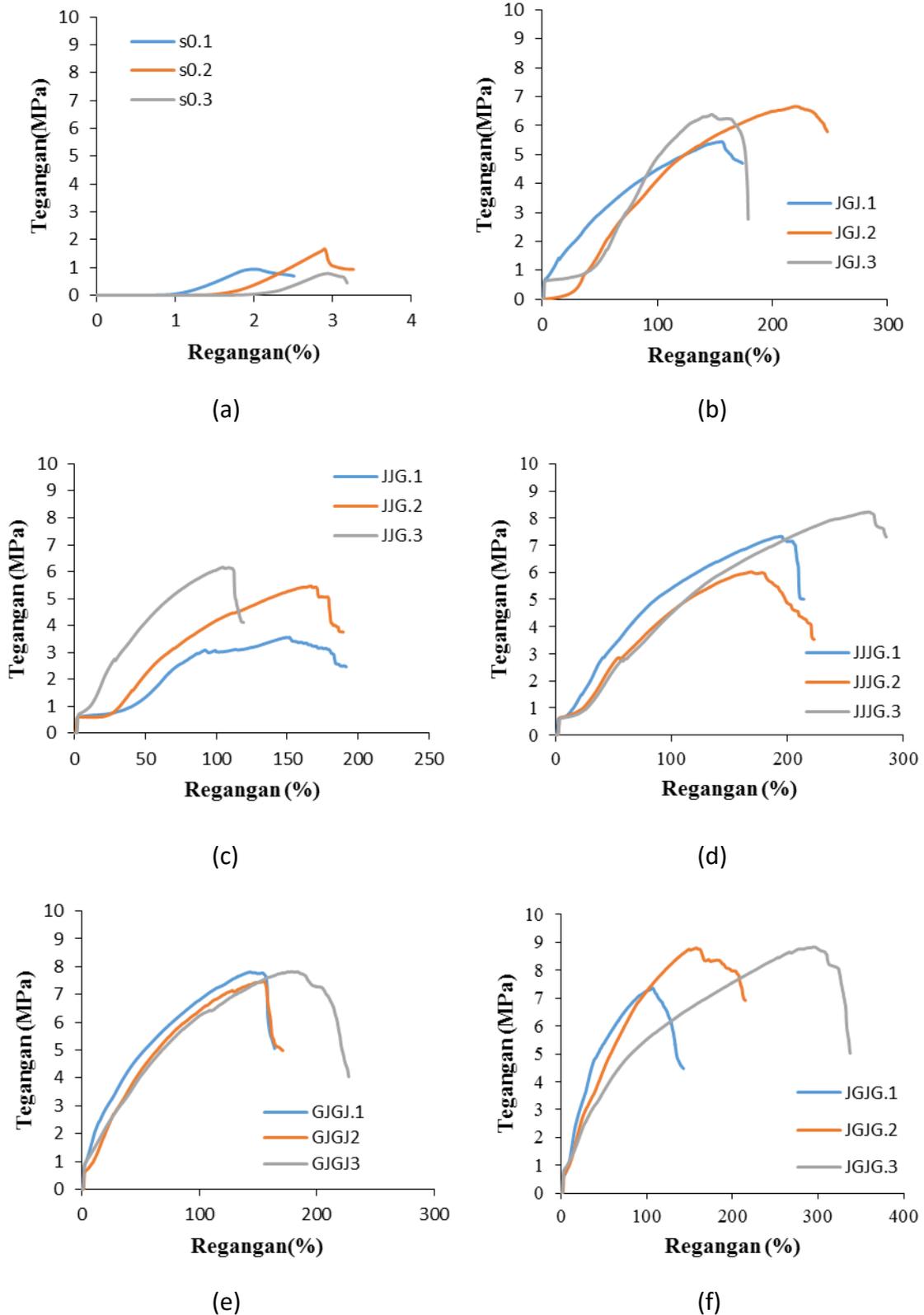
Prosedur perhitungan fungsi PDF terhadap variasi data untuk menentukan distribusi data analisis kekuatan tekan spesimen BKS yang diberi penguat dari selubung KLHJG, sebagai berikut: (a) mengurutkan data-data hasil uji dari nilai terendah hingga ke nilai tertinggi, (b) menghitung nilai rata-rata keseluruhan 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 KLHJG, 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.

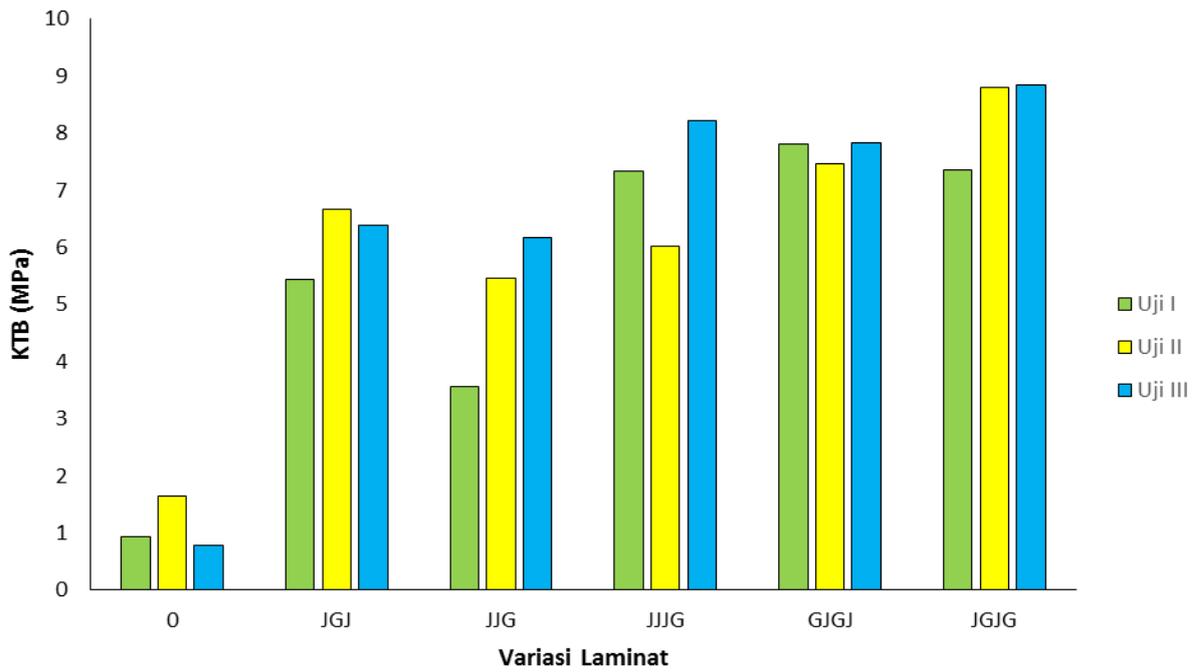
3. Hasil dan Pembahasan

Grafik hasil pengujian tarik belah spesimen BKS yang dilapisi dengan KLHJG dengan variasi S0, JGJ, JJG, JJJG, GJGJ, JGJG diperlihatkan pada gambar 4. Pada masing-masing variasi dilakukan perulangan 3 kali. Pada pengujian variasi S0 (tanpa selubung KLHJG), kekuatan tarik belah pada 3 kali perulangan ialah 0,936 MPa, 1,650 MPa, dan 0,784 MPa dengan nilai rata-rata 1,124 MPa. Selanjutnya untuk variasi JGJ pada 3 kali perulangan diperoleh 5,447 MPa, 6,665 MPa, dan 6,387 MPa dengan nilai rata-rata 6,166 MPa. Pada variasi JJG diperoleh 3,568 MPa, 5,468 MPa, dan 6,166 MPa dengan nilai rata-rata 5,067 MPa. Pada variasi JJJG diperoleh 7,329 MPa, 6,019 MPa, dan 8,221 MPa dengan nilai rata-rata 7,190. Pada variasi GJGJ diperoleh 7,811 MPa, 7,466 MPa, 7,823 MPa dengan nilai rata-rata 7,700 MPa. Akhirnya, pada variasi JGJG diperoleh 7,361 MPa, 8,803 MPa, dan 8,835 MPa dengan nilai rata-rata 8,333 MPa.

Berdasarkan hasil studi tersebut terlihat bahwa pemberian selubung KLHJG mampu meningkatkan kekuatan tarik belah BKS. Semakin meningkat jumlah lapisannya, maka semakin meningkat kekuatannya. Hal ini diperlihatkan pada grafik kekuatan rata-rata yang terdapat pada gambar 5.

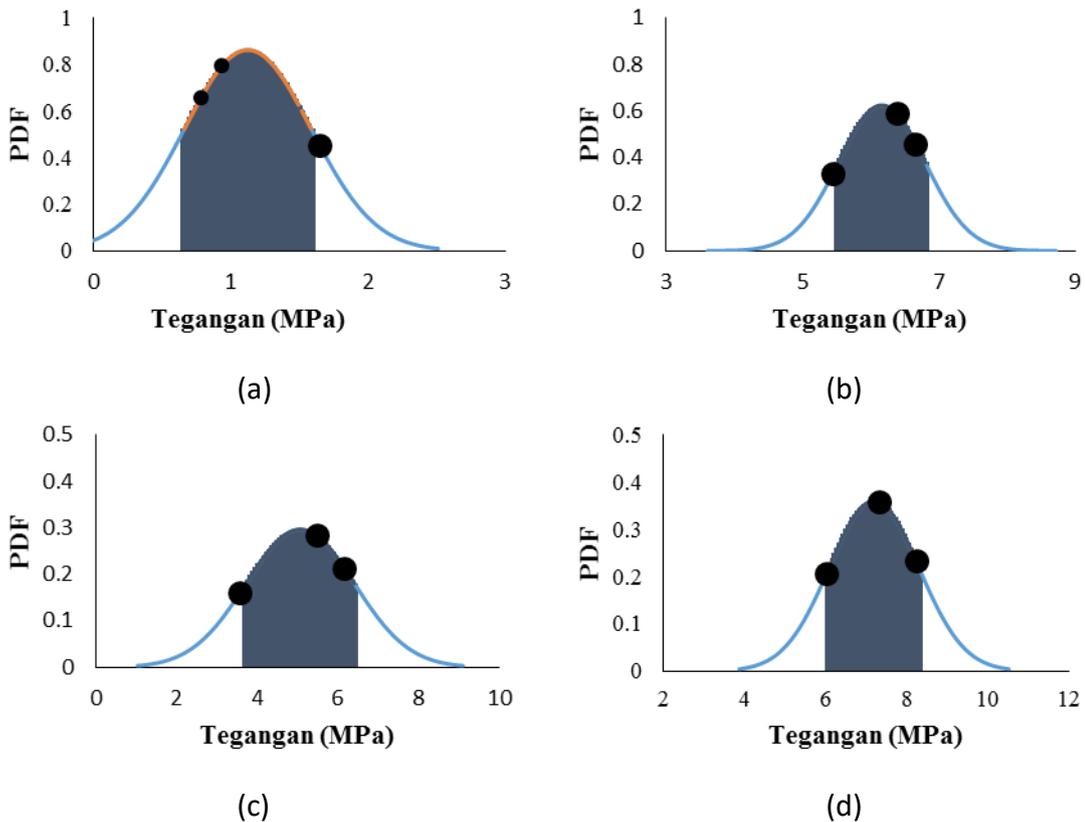


Gambar 4. Grafik kekuatan tarik belah untuk variasi: (a) S0, (b) JGJ, (c) JJG, (d) JJJG, (e) GJGJ, (f) JGJG

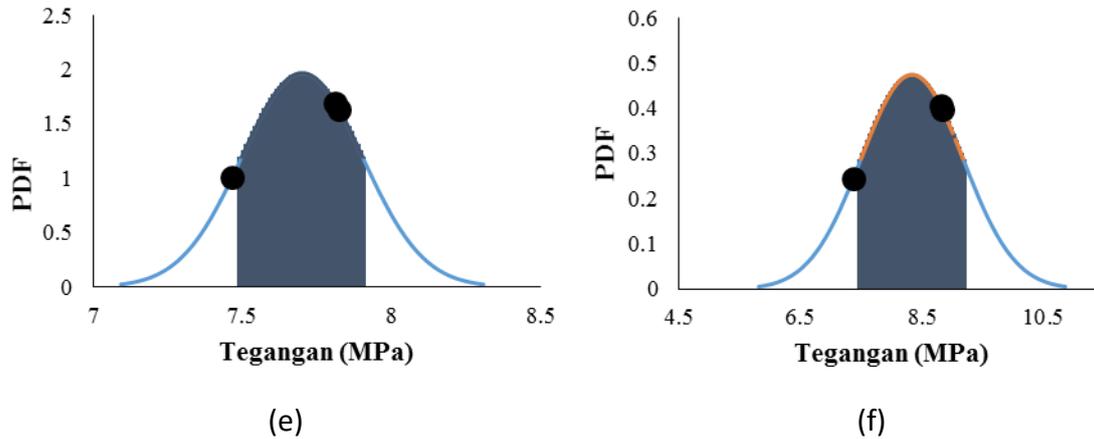


Gambar 5. Kekutan tarik belah (KTB) komposit

Hasil uji validitas data menggunakan persamaan (2) untuk masing-masing variasi diperlihatkan pada gambar 6. Pada uji validitas data menggunakan metode PDF dari semua grafik uji kerapatan probabilitas yang diperlihatkan pada gambar 6 terlihat bahwa semua data uji tersebar tidak terlalu jauh dari nilai rata-ratanya. Dengan demikian, data-data tersebut dapat dikatakan terdistribusi secara normal dan dianggap mewakili sample.



Gambar 6. Grafik distribusi data metode PDF: (a) S0, (b) JGJ, (c) JGG, (d) JJJG, (e) GJGJ, dan (f) JGJG



Gambar 7. Grafik distribusi data metode PDF: (a) S0, (b) JGJ, (c) JJG, (d) JJJG, (e) GJGJ, dan (f) JGJG (lanjutan)

Berdasarkan hasil studi, pada variasi JGJ terjadi peningkatan kekuatan tarik belah sebesar 449 % dibandingkan dengan S0. Pada variasi JJG terjadi peningkatan kekuatan tarik belah sebesar 400 % terhadap S0. Kemudian, pada variasi JJJG terjadi peningkatan kekuatan tarik belah sebesar 540 %. Akhirnya, pada variasi GJGJ dan JGJG terjadi peningkatan kekuatan tarik belah sebesar 585 % dan 642 % secara berturut-turut. Dengan demikian, pemberian KLHJG pada spesimen BKS terbukti secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik belahnya. Hal ini terjadi terutama pada variasi 4 lapis hibrid yaitu JJJG, GJGJ, dan JGJG.

Hasil studi ini mendukung hasil penyelidikan yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya bahwa pemberian penguat tambahan dari bahan-bahan alami pada struktur beton 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 dan serat kaca jenis e-glass anyaman dalam bentuk bahan komposit laminat hibrid memiliki potensi besar untuk dikembangkan menjadi penguat struktur BKS.

4. Kesimpulan

Kekuatan tarik belah rata-rata pada variasi JGJ, JJG, JJJG, JGJG, dan GJGJ ialah 6,166 MPa, 5,067 MPa, 7,183 MPa, 7,430 MPa, dan 8,333 MPa secara berturut-turut. Pada uji validitas data menggunakan metode kerapatan probabilitas, dari semua grafik uji kerapatan probabilitas bahwa semua data uji KLHJG dapat dikatakan terdistribusi normal karena data tersebut tidak terlalu jauh dari data rata-rata. Berdasarkan analisis kekuatan tarik BKS yang diperkuat KLHJG dengan metode split tensile test. Pada variasi tanpa laminat hibrid nilai rata-rata dari tiga spesimen pengulangan yaitu 1,123 MPa. Kemudian untuk nilai rata-rata dari variasi dengan laminat hibrid JGJ yaitu 6,166 Mpa meningkat sebesar 449%. Kekuatan tarik belah untuk variasi JJG ialah rata-rata 5,607 MPa mengalami peningkatan sebesar 400 %. Kekuatan tarik belah rata-rata untuk variasi JJJG ialah 7,190 MPa mengalami peningkatan sebesar 540 %. Kekuatan tarik belah rata-rata variasi GJGJ ialah 7,700 MPa mengalami peningkatan sebesar 585 %. Akhirnya, kekuatan tarik belah rata-rata variasi JGJG ialah 8,333 MPa mengalami peningkatan sebesar 642 %. Peningkatan kekuatan tarik belah ini didasarkan pada kekuatan spesimen tanpa selubung komposit laminat hibrid.

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.
- Alexander, Mark, and Hans Beushausen. 2019. "Cement and Concrete Research Durability , Service Life Prediction , and Modelling for Reinforced Concrete Structures – Review and Critique." *Cement and Concrete Research* 122 (February): 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2019.04.018>.
- Chethan, N., S. N. Nagesh, and L. Sunith Babu. 2019. "Mechanical Behaviour of Kenaf-Jute-E-Glass Reinforced Hybrid Polymer Composites." *Materials Today: Proceedings* 46 (11): 4454–59. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.679>.
- D. Montgomery, and G. Runger. 2017. *Applied Statistics and Probability for Engineers Third Edition Yuliarman*. 6th ed. New York.
- 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>.
- 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.jobe.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>.
- Reddy, J. N., and Antonio Miravete. 2018. *Practical Analysis of Composite Laminates. Practical Analysis of Composite Laminates*. <https://doi.org/10.1201/9780203742594>.
- 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." In *Materials Science and Engineering*, 13. Medan: IOP Conference Series. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1003/1/012135>.
- Zulfikar, Achmad Jusuf. 2020. "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards Made from Banana Stems." *Budapest International Research in Exact Sciences (BirEx) Journal* 2 (3): 334–40.