

Analisis Kekuatan Komposit Laminat Hybrid Jute E-Glass Berdasarkan Pola Kerusakan dengan Metode Split Tensile Test

Analysis of the Composite Strength of Laminate Hybrid Jute E-Glass Based on Damage Patterns by the Method of Split Tensile Test

Rizal Afandi Purba¹, Achmad Jusuf Zulfikar^{1*}, Iswandi¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area, Jl. Kolam No. 1 Medan Estate, Kodya Medan, Indonesia

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

Diterima: 04-01-2023

Disetujui: 11-01-2023

Dipublikasikan: 14-01-2023

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



Abstrak

Modifikasi yang diterapkan yaitu menambahkan saringan bahan sebelum masuk ke mesin. kemudian baru dilakukan uji kinerja selama 1 minggu dan data hasil modifikasi dibandingkan dengan data awal sebelum modifikasi. Penyelidikan pada bahan komposit terus mengalami perkembangan yang signifikan sejalan dengan kebutuhan manusia akan produk yang lebih ringan, kuat, mudah bentuk, ramah lingkungan, dan berbiaya murah. Bahan alternatif yang bersumber dari bahan alami seperti tanaman Jute yang digabungkan dengan bahan sintetik e-glass menjadi prioritas utama untuk mencapai target bahan yang kuat namun ramah lingkungan. Dalam studi ini, penyelidikan bertujuan untuk analisis pengaruh pemberian bahan komposit laminat hibrid lembar serat jute anyaman dan e-glass (KLHJG) pada beton kolom berbentuk silinder dengan cara menghitung persentase pola retak (PPR) yang terjadi dan selanjutnya dibandingkan dengan kekuatan tarik belahnya (KTB) untuk mendapatkan fenomena yang terjadi. Spesimen dicetak dengan menggunakan standar ASTM D496 untuk pengujian kekuatan tarik belah. PPR dihitung dengan menggunakan metode Histogram dengan bantuan software Adobe Photoshop. Hasil yang diperoleh ialah pemberian KLHJG pada beton kolom silinder mampu meredam PPR hingga dibawah 20%. Akan tetapi, pada komposisi JGJG diperoleh PPR yang lebih besar dari 30% yang mengindikasikan bahwa pada komposisi ini tidak begitu efektif melindungi struktur beton terhadap beban eksternal yang dikenainya.

Kata Kunci: KLHJG, Persentase Pola Kerusakan, Split Tensile Test, KTB

Abstract

Research on composite materials continues to experience significant development in line with human needs for products that are lighter, stronger, easier to form, environmentally friendly, and low cost. Alternative materials sourced from natural materials such as the Jute plant combined with synthetic e-glass materials are a top priority to achieve the target of materials that are strong but environmentally friendly. In this study, the investigation aimed to analyze the effect of applying hybrid laminated composite materials of woven jute fiber sheets and e-glass (KLHJG) to cylindrical column concrete by calculating the percentage of the crack pattern (PPR) that occurs and then comparing it to the split tensile strength (KTB).) to get the phenomenon that occurs. Specimens were printed using the ASTM D496 standard for splitting tensile strength testing. PPR is calculated using the Histogram method with the help of Adobe Photoshop software. The result obtained is that the provision of KLHJG on cylindrical column concrete can reduce PPR to below 20%. However, the JGJG composition obtained a PPR greater than 30% which indicates that this composition is not very effective in protecting the concrete structure against the external load it is subjected to.

Keywords: KLHJG, Percentage of Damage Patterns, Split Tensile Test, KTB

1. Pendahuluan

Beton merupakan bahan konstruksi yang banyak digunakan pada pekerjaan struktur bangunan karena memiliki banyak keuntungan yang diberikan, antara lain bahan pembentuknya yang relatif mudah diperoleh, mudah dibentuk, mampu memikul beban berat, relatif tahan terhadap suhu yang tinggi, biaya pemeliharaan yang kecil, dan umur pemakaiannya yang cukup lama (Yazdani, Aljaafreh, and Beneberu 2020; Hidayat, Zulfikar, and Siahaan 2022). Beton adalah bahan sejenis batu buatan yang pada dasarnya merupakan campuran agregat kasar (kerikil atau batu pecah), agregat halus (pasir), semen, udara, dan air (Singh and Rai 2018). Saat ini beton sudah banyak diperbaharui untuk meningkatkan kekuatannya, salah satu inovasi beton yang ramah lingkungan namun tetap kuat yaitu dengan menggunakan bahan material komposit yang berasal dari bahan alami dengan ketersediaan bahan baku yang melimpah (Chaturvedi and Chittappa 2021; Yuhazri, Zulfikar, and Ginting 2020). Pada umumnya jika berhubungan dengan mutu beton, maka akan dilihat dari hasil kuat tekan maupun kuat tarik belah betonnya. Sifat beton yang sangat umum yaitu kuat terhadap tekan dan lemah terhadap tarik (Ding et al. 2022; Siregar and Zulfikar 2022). Spesifikasi dan komposisi bahan pembuat beton akan mempengaruhi mutu beton yang terjadi, seperti pasir yang digunakan sebaiknya menggunakan pasir dengan kandungan lumpur $< 5\%$ (Shah, Mackechnie, and Scott 2022; Zulfikar et al. 2022). Salah satu cara untuk meningkatkan kuat tarik belah yaitu dengan cara melapisinya dengan serat atau bahan komposit tertentu (C et al. 2022; Zulfikar and Iswandi 2022).

Komposit termasuk salah satu jenis material teknik. Material ini dibuat dengan penggabungan dua macam bahan atau lebih yang mempunyai fasa yang berbeda menjadi satu material baru dengan sifat mekanik yang berbeda dengan material-material penyusunnya (Lopes, Sampaio, and Pontes 2022; Zulfikar 2020). Salah satu keuntungan material komposit adalah kemampuan material tersebut untuk diarahkan sesuai arah seratnya sehingga kekuatannya dapat diatur sedemikian rupa mengikuti arah tertentu yang dikehendaki. Sifat mekanik ini dinamakan "tailoring properties" (Li et al. 2022; Alamsyah, Zulfikar, and Siahaan 2022). Lebih lanjut, bahan komposit memiliki beberapa sifat istimewa, antara lain ringan, kuat, tidak terpengaruh korosi, tahan air, dan insulator listrik yang baik (Alarifi 2022; Muzakir, Zulfikar, and Siahaan 2022). Komposit memiliki beberapa jenis yang umum dijumpai yaitu komposit serat, laminat, dan partikel (Verma, Chauhan, and Dwivedi 2022). Dalam studi ini, objek yang digunakan ialah material komposisi laminat dengan penguat dari material hibrid kain jute anyaman dan serat e-glass.

Lembaran kain jute (jut) anyaman memiliki tekstur yang kasar dan merupakan serat yang banyak digunakan setelah kapas (Carvalho et al. 2022). Bahan kain ini ditemukan sebagai bahan kain burlap karena memiliki kekuatan yang cukup baik sebagai media pembungkus. Lebih lanjut, serat jute ini diperoleh dari kulit batang pohon tanaman jute yang dalam bahasa latin disebut dengan *Corchorus Capsularis* (Hamdan et al. 2020). Serat jute telah dikenal sejak pada zaman Mesir kuno, dan diperkirakan berasal dari daerah sekitar laut tengah yang kemudian meluas di Asia. Kain jute pertamakali diekspor ke Inggris oleh India pada akhir abad ke-18 (Townsend 2020). Tanaman jute banyak ditemukan di belahan dunia yang memiliki iklim tropis dan sub tropis namun pusat keberagaman tanaman ini terdapat di benua Afrika. Kain jute yang terbuat dari tanaman jute di tenun menggunakan bahan dasar serat yang tebal sehingga tidak mudah putus (Chandekar, Chaudhari, and Waigaonkar 2020).

Salah satu jenis serat kaca yang paling banyak diproduksi dan digunakan adalah jenis E-glass. E-glass adalah jenis serat kaca yang relatif murah dan memiliki kinerja mekanik yang baik khususnya pada kekuatan tarik dan tekannya (Sunarintyas et al. 2022). Sifat fisik serat

E-glass antara lain bahan yang tidak mudah terbakar, bahan insulator listrik yang baik, kekakuan yang tinggi, dan kekuatan tinggi (Shakery and Alizadeh 2021). Serat jenis ini biasanya dijumpai sebagai bahan penguat untuk material komposit dengan matrik jenis polymer. Komposisi kimia e glass sebagian besar adalah SiO_2 dan sisanya adalah oksida alumunium (Al), kalsium (Ca), magnesium (Mg), natrium (Na), dan unsur unsur lainnya (Alizadeh, Shakery, and Salahinejad 2019).

Beberapa penelitian sebelumnya telah dikerjakan dan dilaporkan. Anas dkk. (2022) telah melakukan penyelidikan terhadap dampak beton kolom yang dilapisi dengan komposit laminat diperkuat lembar serat karbon dengan variasi terhadap ketebalannya (Anas and Alam 2022). Wang dkk. (2019) telah melakukan penyelidikan terhadap pola kerusakan pada beton kolom yang dilapisi dengan komposit laminat diperkuat basal (Wang et al. 2019). Alam dkk. (2021) telah melakukan penyelidikan terhadap dampak kerusakan pada beton kolom yang diperkuat dengan komposit laminat dari bahan lembar serat kenaf anyaman (Alam, Riyami, and Bakkar 2021).

Dalam studi ini, beton kolom berbentuk silinder akan diperkuat dengan memberikan lapisan komposit laminat dari hibrid lembaran serat jute anyaman dan e-glass. Tujuan dari penelitian ini adalah analisis pengaruh pemberian bahan komposit laminat hibrid lembar serat jute anyaman dan e-glass pada beton kolom berbentuk silinder dengan menghitung pesentase pola retak (PPR) yang terjadi dan selanjutnya dibandingkan dengan kekuatan tarik belahnya (KTB).

2. Metode

Dalam studi ini, kegiatan penyelidikan dilaksanakan di Laboratorium Material Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Medan Area. Pengujian spesimen dilaksanakan di Laboratorium Penelitian Terpadu, Universitas Sumatera Utara. Bahan jute anyaman dibeli dari toko bahan bangunan yang berlokasi di kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia. Serat e-glass anyaman dibeli di toko bahan kimia yang berlokasi di kota Binjai, Sumatera Utara, Indonesia. Semen yang digunakan menggunakan standar SNI 7064 2014 dari jenis semen Portland Komposit yang dibeli di toko bahan bangunan di Kota Medan, Sumatera Utara, Indonesia. Pasir dan Kerikil dibeli di toko galian C yang berlokasi di Kota Binjai, Sumatera Utara, Indonesia. Pencetakan beton kolom silinder menggunakan standar ASTM C496 (pengujian split tensile) dengan ukuran diameter 50 mm dan tinggi 150 mm. Proses ini melalui beberapa tahap perlakuan spesimen, antara lain proses perendaman selama 28 hari dan pengerasan di udara terbuka selama 28 hari. Pemberian lapisan komposit laminat hibrid jute e-glass dikerjakan melalui proses pencetakan metode Vacuum Baging. Komposisi spesimen diperlihatkan pada Tabel 1.

Tahapan pencetakan spesimen mengikut langkah-langkah sebagai berikut: pencampuran agregat beton dengan komposisi semen, pasir, dan krikil ialah 1:2:3, pengadukan hingga seluruh agregat tercampur dengan merata, agregat yang telah tercampur merata selanjutnya dituangkan ke dalam cetakan. Proses selanjutnya ialah pengerasan spesimen hingga 7 hari dan dilanjutkan dengan pembongkaran cetakan. Spesimen yang dihasilkan selanjutnya direndam ke dalam air bersih selama 28 hari dan setelah itu dilanjutkan proses pengeringan di udara terbuka selama 28 hari. Akhirnya, melapisi permukaan spesimen dengan selubung komposit hibrid laminat jute e-glass dengan menggunakan metode Vacuum Baging. Spesimen diuji dengan metode uji tarik belah berdasarkan standar uji ASTM C496. Proses perhitungan persentase pola kerusakan (PPR) spesimen dilakukan dengan tahapan sebagai berikut: membuka tampilan software Adobe Photoshop, membuka gambar spesimen yang

telah diuji di software Adobe Photoshop, memotong (crop) gambar yang akan di analisa pola kerusakannya, klik image size pada menu bar photoshop dan tentukan size agar resolusi gambar bagus, klik new layer, klik eyedropper tool untuk menyesuaikan warna, klik pen tool dan ikuti alur pola kerusakan yang akan di analisis, klik fill path untuk menampilkan warna pola kerusakan, dan simpan yang sudah digambar sketsa pola kerusakannya. Perhitungan PPR menggunakan metode Histogram.

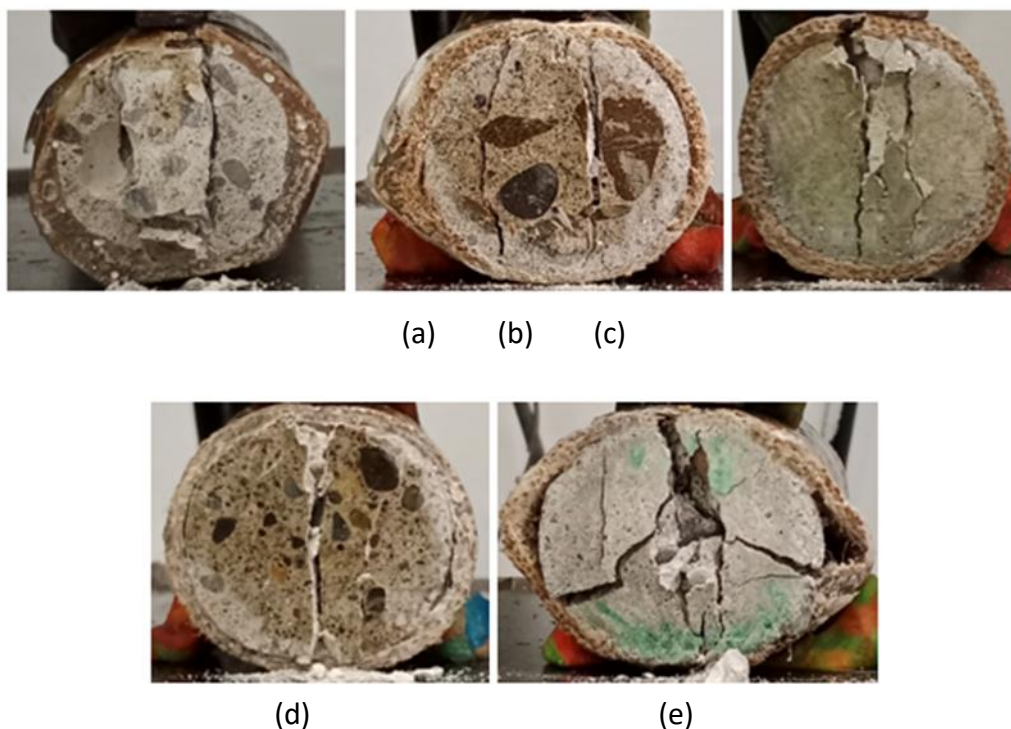
Tabel 1. Variasi spesimen uji

No.	Variasi	Jumlah
1.	JGJ	3
2.	JJG	3
3.	JJGJ	3
4.	GJGJ	3
5.	JGJG	3
Total:		15

* J = Jute; G = e-glass

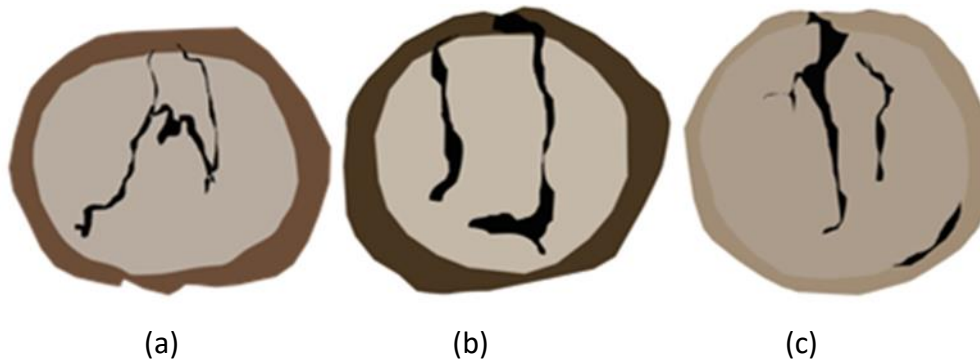
3. Hasil dan Pembahasan

Pola kerusakan pada permukaan spesimen diperlihatkan pada Gambar 1. Berdasarkan pola kerusakan tersebut terlihat bahwa arah retakan pada spesimen hasil uji tegak lurus terhadap penampang sepsimen. Hal ini menunjukkan bahwa beban yang diberikan benar-benar terpusat pada bagian ujung atas dan bawah spesimen. Lebih lanjut, pola kerusakan pada variasi JGJ, JJG, JJGJ, dan GJGJ terlihat memiliki kemiripan dimana kerusakan terpusat pada bagian diagonal tengah arah vertikal permukaan spesimen (Gambar 1.a, b, c, dan d). Akan tetapi, pada variasi JGJG terlihat bahwa pola kerusakan menyebar ke arah sisi kanan dan kiri permukaan spesimen (Gambar 1.e), meskipun pada kenyataan di lapangan pola kerusakan diawali dari bagian tengah arah vertikal pada permukaan spesimen.

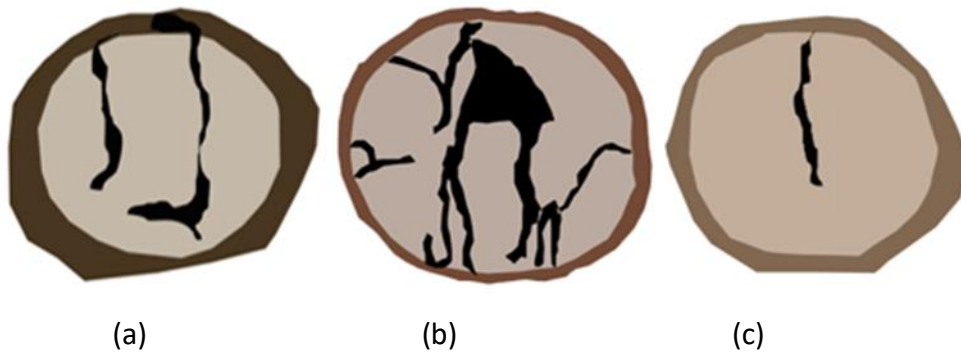


Gambar 1. Pola retak spesimen pada variasi: (a) JGJ, (b) JJG, (c) JJGJ, (d) GJGJ, dan (e) JGJG

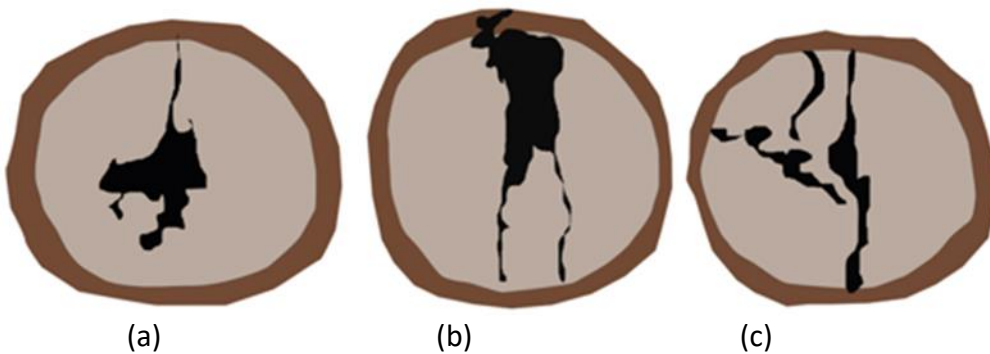
Sketsa pola kerusakan pada permukaan spesimen diperlihatkan pada Gambar 2 sampai dengan 6. Sketsa ini digambarkan dengan menggunakan bantuan software Adobe Photoshop. Pada software ini, permukaan spesimen dan pola retak yang dihasilkan digambarkan dengan warna yang berbeda. Lebih lanjut, persentasi pola retak (PPR) pada permukaan spesimen dihitung dengan menggunakan fitur Histogram. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 7.



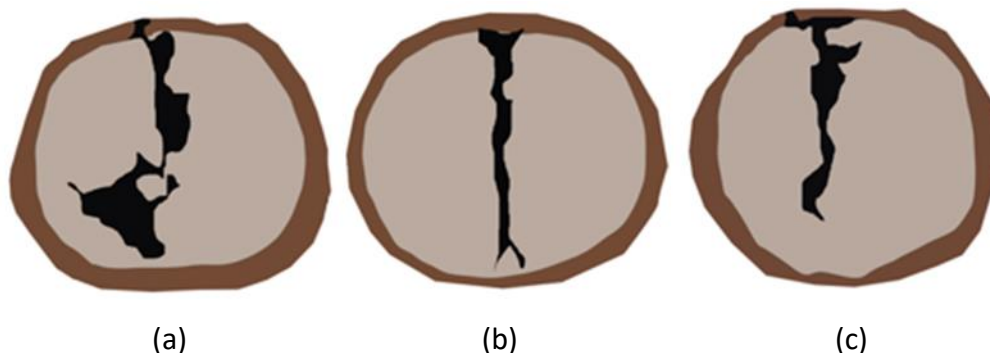
Gambar 2. Sketsa pola retak spesimen variasi JGJ: (a) Uji ke-1, (b) Uji ke-2, dan (c) Uji ke-3.



Gambar 3. Sketsa pola retak spesimen variasi JJG: (a) Uji ke-1, (b) Uji ke-2, dan (c) Uji ke-3.

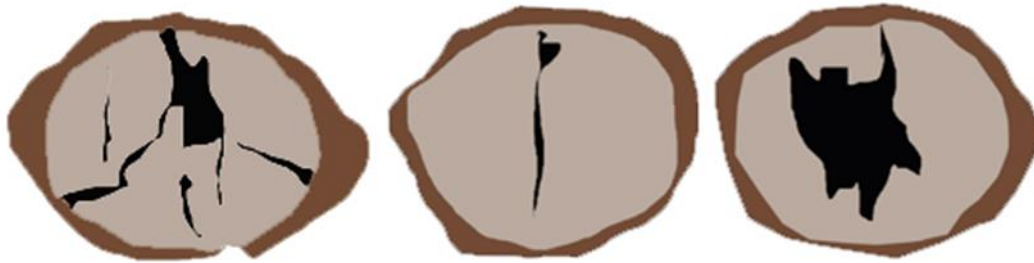


Gambar 4. Sketsa pola retak spesimen variasi JJG: (a) Uji ke-1, (b) Uji ke-2, dan (c) Uji ke-3.



Gambar 5. Sketsa pola retak spesimen variasi GJGJ: (a) Uji ke-1, (b) Uji ke-2, dan (c) Uji ke-3.

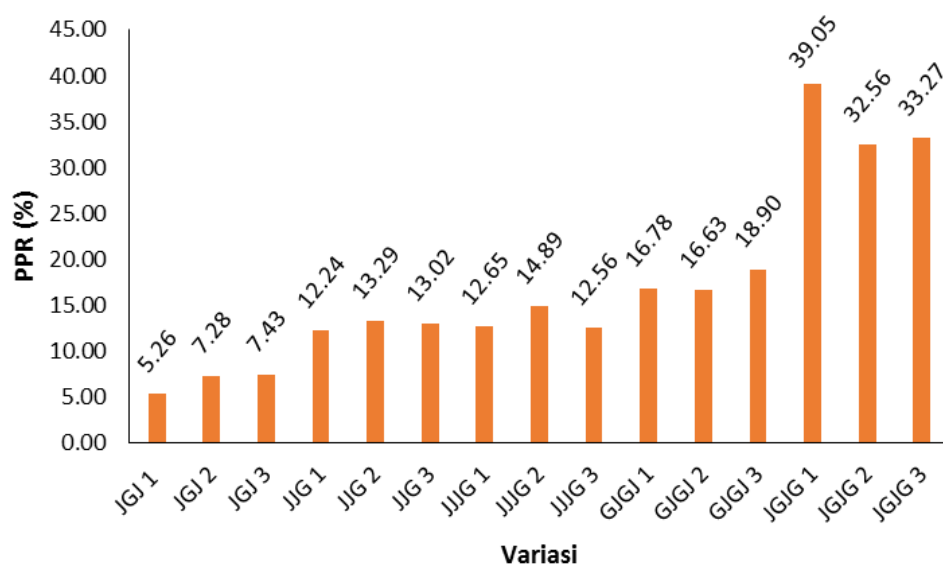
Berdasarkan gambar sketsa (Gambar 2 hingga 6), terlihat bahwa pola kerusakan pada variasi JGJ, JIG, JJJG, dan GJGJ cenderung memiliki kemiripan bentuk. Sebaliknya pada variasi JGJG pola kerusakannya terlihat lebih menyebar ke seluruh permukaan spesimen. Sketsa ini mendukung hasil pengamatan secara visual terhadap pola kerusakan permukaan spesimen. Hasil ini juga didukung dengan hasil perhitungan PPR dengan metode Histogram seperti diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 6. Sketsa pola retak spesimen variasi JGJG: (a) Uji ke-1, (b) Uji ke-2, dan (c) Uji ke-3.

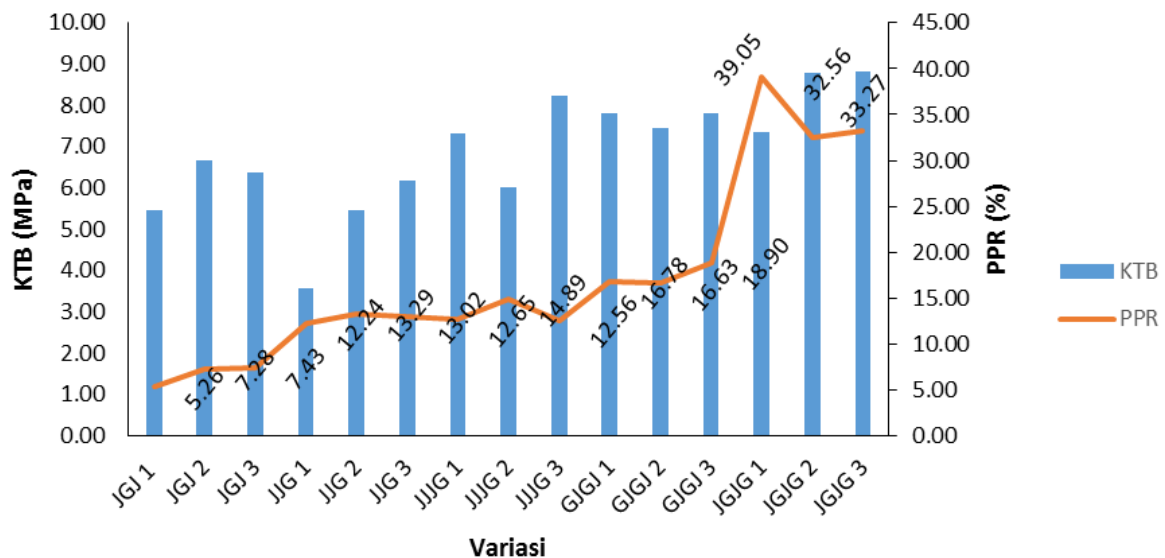
Berdasarkan Gambar 7, persentase pola kerusakan pada spesimen mengalami peningkatan dengan penambahan jumlah lapisan kompositnya. Pada variasi JGJG terjadi peningkatan kerusakan yang cukup signifikan. Apabila dibandingkan dengan kekuatan tarik belahnya (KTB) yang diperlihatkan pada Gambar 8, terlihat bahwa pada KTB yang relatif hampir sama dengan variasi GJGJ dan juga JJJG, persentase pola kerusakan pada variasi ini terlihat cukup besar. Hal mengindikasikan bahwa variasi ini cukup rentan untuk diaplikasikan pada beton kolom silinder. Perpaduan hibrid pada variasi JGJG ini tidak efektif dalam meredam kerusakan yang terjadi.

Berdasarkan Gambar 8, variasi lapisan-lapisan jute sebagai lapisan pembungkus beton kolom silinder terlihat mampu menahan beban yang diberikan sehingga PPR pada variasi-variasi seperti JGJ, JIG, dan JJJG terlihat kecil yaitu dibawah 20% dari seluruh permukaan spesimen. Oleh karena itu, pemberian lapisan lembaran jute anyamana menjadi disarankan untuk tujuan menurunkan kerusakan yang terjadi pada beton kolom silinder akibat beban tarik belah.



Gambar 7. Persentase PPR pada masing-masing variasi

Hasil penyelidikan ini mendukung hasil-hasil studi yang telah dilakukan oleh Anas dkk. (2022), Wang dkk. (2019), dan Alam dkk. (2021). Berdasarkan ketiga studi tersebut, pemberian penguat dari bahan komposit laminat mampu meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan akibat beban eksternal yang diberikan pada permukaan beton kolom (Anas and Alam 2022; Wang et al. 2019; Alam, Riyami, and Bakkar 2021). Pemberian selubung komposit laminat mampu mengurangi kerusakan dan inisiasi retak pada beton kolom sehingga mampu meningkatkan umur pakainya. Dengan demikian, teknologi ini berpotensi untuk dikembangkan lebih lanjut sehingga dapat digunakan secara luas pada struktur bangunan atau konstruksi mesin.



Gambar 8. Grafik perbandingan KTB vs PPR

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan diperoleh bahwa pemberian selubung komposit laminat hibrid jute e-glass (KLHJG) mampu menurunkan kerusakan pada permukaan beton kolom silinder hingga 20%. Pola kerusakan yang diperoleh dari hasil pengujian tarik belah pada spesimen menunjukkan bahwa pola retakan terjadi pada arah vertikal dan bagian tengah spesimen seperti diperlihatkan pada Gambar 2 sampai dengan 6 untuk variasi JGJ, JJG, JJJG, JGJG, dan GJGJ secara berturut-turut. Nilai PPR rata-rata pada variasi JGJ ialah 6,66%, JJG ialah 12,85%, JJJG ialah 13,37%, JGJG ialah 17,44%, dan GJGJ ialah 34,96%. Berdasarkan gambar 8, nilai PPR yang dibandingkan dengan KTB terlihat bahwa pemberian KLHJG dari bahan yang mengandung jute memiliki PPR yang cukup rendah (dibawah 20%). Akan tetapi, nilai PPR pada komposisi JGJG yang diperoleh lebih besar dari 20%. Hal ini mengindikasikan bahwa pada komposit KLHJG komposisi ini kurang mampu menahan kerusakan yang terjadi pada beton kolom silinder meskipun dengan KTB yang hampir sama.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Material Teknik, Universitas Medan Area dan Laboratorium Penelitian Terpadu, Universitas Sumatera Utara yang telah mendukung dan memberikan fasilitas dalam kegiatan studi ini.

Daftar Pustaka

- Alam, Md. Ashraful, Khalid Al Riyami, and Suliman Bakkar. 2021. "Optimization of Kenaf Fibre Reinforced Polymer Laminate for Shear Strengthening of RC Beams Using Embedded Connector." *Engineering Structures* 232 (1): 34–45.
- 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.
- Alarifi, Ibrahim M. 2022. "A Performance Evaluation Study of 3d Printed Nylon/Glass Fiber and Nylon/Carbon Fiber Composite Materials." *Journal of Materials Research and Technology* 21 (3): 884–92.
- Alizadeh, Morteza, Andisheh Shakery, and Erfan Salahinejad. 2019. "Aluminum-Matrix Composites Reinforced with E-Glass Fibers by Cross Accumulative Roll Bonding Process." *Journal of Alloys and Compounds* 804 (1): 450–56.
- Anas, S.M., and Mehtab Alam. 2022. "Performance of Brick-Filled Reinforced Concrete Composite Wall Strengthened with C-FRP Laminate(s) under Blast Loading." In *Materials Today*, 1–11.
- C, Sudha, Aakash K. Sambasivan, Kannan Rajkumar P.R., and Jegan M. 2022. "Investigation on the Performance of Reinforced Concrete Columns Jacketed by Conventional Concrete and Geopolymer Concrete." *Engineering Science and Technology, an International Journal* 36 (2): 12–23.
- Carvalho, Juliana Peixoto Rufino Gazem de, Felipe Perissé Duarte Lopes, Noan Tonini Simonassi, Anna Carolina Cerqueira Neves, and Eduardo Atem de Carvalho. 2022. "Methodological Analysis of Composites Green Polyurethane Resin Reinforced with Jute Fabric." *Case Studies in Construction Materials* 17 (2): 105–11.
- Chandekar, Harichandra, Vikas Chaudhari, and Sachin Waigaonkar. 2020. "A Review of Jute Fiber Reinforced Polymer Composites." *Materials Today: Proceedings* 26 (7): 2079–82. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.449>.
- Chaturvedi, K. C., and H. C. Chittappa. 2021. "Study of Tensile Nature of Jute Hybrid Composite by the Variation of S-Glass Fibers- an Outlook from Experimental Perspective." In *Materials Today: Proceedings*, 46:2783–86. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.593>.
- Ding, Yi, Zhen Zhou, Huiwen Tian, and Zhen Peng. 2022. "Compressive Behavior of Concrete-Filled Ultra-High Performance Concrete Tube with FRP Stirrups." *Structures* 46 (1): 611–24.
- 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* 78 (1): 46–57. <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.
- Li, Yanxing, Lin Wang, Lei Zhu, Ying Li, and Zhiwei Yan. 2022. "Investigation of Interfacial Structure and Dynamic Mechanical Behavior of Titanium Alloy Laminated Composites." *Journal of Materials Research and Technology* 21 (3): 5111–20.
- Lopes, A.C., A.M. Sampaio, and A.J. Pontes. 2022. "Composite Materials with MWCNT Processed by Selective Laser Sintering for Electrostatic Discharge Applications." *Polymer Testing* 114 (2): 77–89.

- 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.
- Shah, Vineet, James Mackechnie, and Allan Scott. 2022. "Determination of Carbonation Resistance of Concrete through a Combination of Cement Content and Tortuosity." *Journal of Building Engineering* 60 (1): 10–22.
- Shakery, Andisheh, and Morteza Alizadeh. 2021. "Mechanical Properties and Strength Prediction of Al/E-Glass Fiber Composites Fabricated by Cross Accumulative Roll Bonding Process." *Journal of Manufacturing Processes* 69 (1): 165–72.
- Singh, Niraj Kumar, and Baboo Rai. 2018. "A Review Of Fiber Synergy In Hybrid Fiber Reinforced Concrete" 8 (2): 41–50. <https://doi.org/10.2478/jaes-2018-0017>.
- 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.
- Sunarintyas, Siti, Widowati Siswomihardjo, James K.H. Tsoi, and Jukka P. Matinlinna. 2022. "Biocompatibility and Mechanical Properties of an Experimental E-Glass Fiber-Reinforced Composite for Dentistry." *Heliyon* 8 (6): 109–25.
- Townsend, Terry. 2020. *World Natural Fibre Production and Employment. Handbook of Natural Fibres*. Houston: Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818398-4.00002-5>.
- Verma, Abhishek, Shailendra Singh Chauhan, and Shashi Prakash Dwivedi. 2022. "Review Paper on Thermal Expansion and Tribological Behavior of Composite Materials." In *Materials Today*, 73–85.
- Wang, Xin, Zheqi Peng, Zhishen Wu, and Shenpeng Sun. 2019. "High-Performance Composite Bridge Deck with Prestressed Basalt Fiber-Reinforced Polymer Shell and Concrete." *Engineering Structures* 201 (1): 16–30.
- Yazdani, Nur, Tariq Aljaafreh, and Eyosias Beneberu. 2020. "Concrete Beam Fl Exural Strengthening with Anchored Pre-Saturated CFRP Laminates." *Composite Structures* 235 (November 2019): 111733. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111733>.
- 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*, 1–12. 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.
- Zulfikar, Achmad Jusuf, and Iswandi Iswandi. 2022. "Analisis Kekuatan Tarik Belah Komposit Laminat Jute Sebagai Penguat Beton Kolom Silinder Berdasarkan Metode Penyerapan Energi Bahan." *IRA Jurnal Teknik Mesin Dan Aplikasinya (IRAJTMA)* 1 (2): 55–64.
- Zulfikar, Achmad Jusuf, M. Yusuf R. Siahaan, Ade Irwan, Fadly A. Kurniawan Nasution, and Din Aswan A. Ritonga. 2022. "Analisis Kekuatan Mekanik Pipa Air Dari Bahan Komposit Serbuk Kulit Kerang." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 5 (2): 83–93.