

## **Analisis Kekuatan Tarik Belah Komposit Laminat Jute sebagai Penguat Beton Kolom Silinder Berdasarkan Metode Penyerapan Energi Bahan**

### ***Analysis of the Split Tensile Strength of Laminate Jute Composites as Reinforcement for Cylindrical Column Concrete Based on the Material Energy Absorption Method***

P. A. T. Lubis<sup>1</sup>, A. J. Zulfikar<sup>1\*</sup>, Iswandi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area, Sumatera Utara, Indonesia

\*Corresponding author: [zulfikar@staff.uma.ac.id](mailto:zulfikar@staff.uma.ac.id)

Diterima: 30-08-2022

Disetujui: 27-09-2022

Dipublikasikan: 30-09-2022

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



#### **Abstrak**

Tujuan studi ini ialah menghitung jumlah energi yang mampu diserap (ketangguhan) bahan berdasarkan grafik hasil uji tarik belah spesimen beton kolom silinder (BKS) diperkuat komposit laminat jute (KLJ) dan analisis terhadap perbandingan antara kekuatan tarik belah (KTB) dan ketangguhan bahan dari hasil uji tarik belah spesimen BKS diperkuat KLJ. Spesimen uji dicetak berdasarkan standar uji ASTM C496 dengan metode Vacuum Bagging. Variasi spesimen terdiri dari 1 hingga 4 lapis KLJ dan satu variasi tanpa selubung KLJ sebagai spesimen kontrol. Pengujian tarik belah menggunakan alat uji UTM dengan masing-masing variasi dilakukan 3 kali pengulangan. Perhitungan Energi Ketangguhan Bahan (EKB) menggunakan metode Integrasi Numerik jenis Trapezoidal. Hasil studi memperlihatkan bahwa pemberian penguat KLJ pada BKS mampu meningkatkan EKB hingga mencapai lebih dari 1000% mulai jumlah selubung 2 lapis. Dengan demikian pemberian KLJ pada BKS dapat direkomendasikan sebagai bahan penguat struktur kolom beton.

**Kata Kunci:** Komposit laminat jute, beton kolom silinder, kekuatan tarik belah, energi ketangguhan bahan.

#### **Abstract**

*The purpose of this study is to calculate the amount of energy that can be absorbed (toughness) of the material based on the graph of the results of the split tensile test of cylinder column concrete specimens (BKS) reinforced with laminated jute composite (KLJ) and analysis of the comparison between split tensile strength (KTB) and material toughness from the results split tensile test of BKS specimen reinforced by KLJ. The test specimens were printed based on the ASTM C496 test standard using the Vacuum Bagging method. Specimen variations consist of 1 to 4 layers of KLJ and one variation without KLJ sheath as a control specimen. The split tensile test used the UTM test tool with each variation being carried out with 3 repetitions. Calculation of Material Toughness Energy (EKB) using the Trapezoidal Numerical Integration method. The results of the study showed that giving KLJ boosters to BKS was able to increase EKB up to more than 1000% starting with 2 layers of sheathing. Thus the provision of KLJ to BKS can be recommended as a strengthening material for concrete column structures.*

**Keywords:** Composite laminated jute, cylindrical column concrete, split tensile strength, energy toughness of materials

## 1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan di bidang teknologi rekayasa struktur di Indonesia yang pesat perkembangannya dan signifikan. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya proyek-proyek bangunan konstruksi yang sedang berjalan. Penggunaan beton masih banyak digunakan pada pekerjaan konstruksi seperti pekerjaan bangunan tinggi, jalan, bendungan dll. Beton merupakan bahan yang relative murah karena menggunakan bahan-bahan dasar dari bahan lokal, beton juga mudah dikerjakan dan dapat dibentuk sesuai dengan yang diinginkan (Das et al. 2021; Alamsyah, Zulfikar, and Siahaan 2022; Hidayat, Zulfikar, and Siahaan 2022).

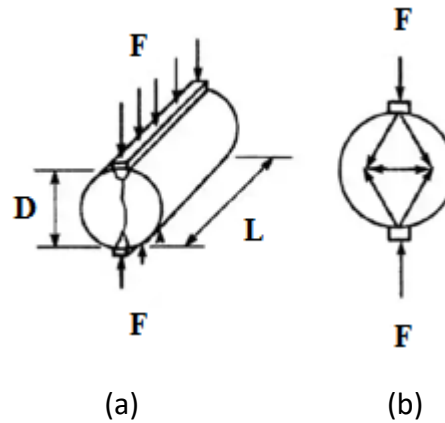
Beton digolongkan sebagai suatu bahan komposit (campuran) dengan material yang utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau bahan tambahan lain dengan perbandingan tertentu (Alexander and Beushausen 2019). Karena beton merupakan salah satu material komposit, maka daktilitas beton sangat tergantung dari kualitas masing-masing pembentuknya. Spesifikasi dan komposisi bahan pembuatan beton akan mempengaruhi mutu beton yang terjadi, seperti pasir yang digunakan sebaiknya menggunakan pasir dengan kandungan lumpur  $< 5\%$  (Yu, Li, and Gu 2018). Meskipun beton memiliki kuat tekan yang besar tetapi beton lemah terhadap tarik (Zhou and Wang 2019).

Serat jute adalah serat yang berasal dari kulit batang tanaman *Corchorus capsularis* dan *Corchorus olitorius*. Serat jute telah dikenal sejak jaman Mesir kuno dan diperkirakan berasal dari daerah sekitar laut tengah yang kemudian meluas di Asia (Hidayat, Zulfikar, and Siahaan 2022; Kumar and Allamraju 2019; Siregar and Zulfikar 2022). Kain jute pertamakali di ekspor ke Inggris oleh India pada akhir abad ke-18 (Saleem et al. 2020; Zulfikar, Siahaan, and Syahputra 2021). Kain jute dikenal juga dengan nama kain burlap yang memiliki tekstur yang kasar. Asal mula serat jute ini diperoleh dari kulit batang pohon tanaman jute. Tanaman jute banyak ditemukan di alam yang memiliki iklim tropis dan sub tropis dengan pusat keberagaman tanaman ini terdapat di benua Afrika (Chandekar, Chaudhari, and Waigaonkar 2020). Kain jute ditenun menggunakan bahan dasar serat yang tebal sehingga tidak mudah putus. Bahan ini termasuk kain yang ramah lingkungan karena komposisi dari kain jute sendiri terbuat dari 100% bahan-bahan alami.

Resin Epoksi adalah sebuah bahan kimia jenis polimer yang terbentuk dari hasil polimerisasi. Resin polimerisasi tersebut kemudian dikenal dengan nama resin thermoset yang membentuk ikatan molekul yang erat dalam suatu struktur antar polimer (Godara et al. 2021). Resin thermoset adalah polimer cair yang diubah menjadi bahan padat secara polimerisasi jaringan silang dan juga secara kimia yang membentuk formasi rantai polimer tiga dimensi. Sifat mekaniknya tergantung pada unit molekuler yang membentuk jaringan rapat dan panjang jaringan silang (Gibson 2012). Resin epoksi banyak digunakan untuk bahan komposit di beberapa bagian structural. Resin ini juga digunakan sebagai bahan campuran pembuatan kemasan, bahan cetakan dan perekat. Resin epoxy sangat baik digunakan sebagai matriks pada komposit dengan penguat serat jute. Pada beton penggunaan resin epoksi dapat mempercepat proses pengeringan, karena epoksi menimbulkan panas sehingga membantu percepatan pengerasan (Yi, Du, and Zhang 2017; Yuhazri, Zulfikar, and Ginting 2020).

Kemampuan suatu bahan untuk menahan beban geser searah dengan penampang benda uji disebut sebagai kekuatan tarik belah. Dalam penelitian ini beton kolom silinder ditempatkan dalam dua posisi horizontal untuk menahan gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu benda uji sampai benda uji retak dan pecah (Huang et al. 2019). Beban tekan diterapkan pada benda uji sampai retak pada posisi penampang. Karena beban tekan pada ujung sampel dikondisikan terjadi pada satu titik, beban menyebar ke seluruh sampel,

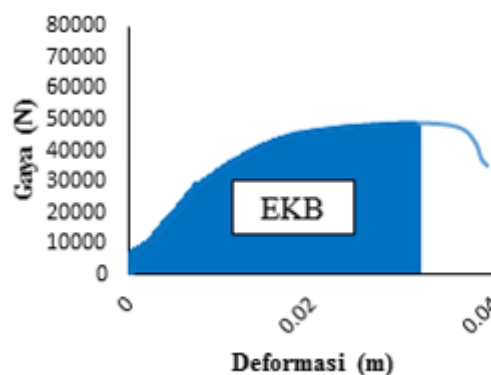
menyebabkan beban tarik terjadi sepanjang diameter penampang sampel. Karena beban tekan pada ujung sampel dikondisikan terjadi pada satu titik, beban menyebar ke seluruh sampel, menyebabkan beban tarik terjadi sepanjang diameter penampang sampel. Dengan demikian, beban tarik menyebabkan retakan pada penampang benda uji (Akinpelu et al. 2019). Gambar 1 menggambarkan kondisi ini. Kuat tarik belah (STB) dihitung 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

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

Energi ketangguhan bahan (EKB) ialah besarnya energi yang mampu diserap suatu jenis bahan akibat suatu beban tertentu sebelum bahan tersebut mengalami kerusakan (Shigley 2008). Pada suatu pengujian bahan, hasil uji akan berupa grafik hubungan antara beban dan deformasi. Luas daerah yang dibentuk oleh grafik tersebut dan dibatasi oleh sumbu aksial adalah identik dengan EKB. Kondisi ini diilustrasikan pada gambar 2. Luas daerah EKB dapat dihitung dengan menggunakan metode Integrasi Numerik berdasarkan teori Newton- Cotes menggunakan persamaan (2) (Chapra and Canale 2010).



**Gambar 2.** Energi ketangguhan bahan (EKB)

$$EKB = (b - a) \frac{f(a) + f(b)}{2} \quad (2)$$

EKB = Energi Ketangguhan Bahan (J),  $a$  = batas minimum deformasi (m),  $b$  = batas maksimal sebelum spesimen patah (m),  $f(a)$  = fungsi grafik pada batas  $a$ , dan  $f(b)$  = fungsi grafik pada batas  $b$ .

Beberapa studi telah dikerjakan untuk perbaikan struktur beton kolom. Metode sangkar baja telah dikerjakan dan menghasilkan struktur beton yang lebih kuat dan kokoh (Mosallam, Allam, and Salama 2019). Lebih lanjut, metode steel jacketing juga telah diaplikasikan untuk perbaikan struktur beton kolom dan hasilnya diperoleh struktur beton kolom yang kuat, kokoh, dan mampu menambah umur pakainya (Fakharifar et al. 2016). Akhirnya, sebuah studi menggunakan metode composite jacketing dalam memperbaiki struktur beton kolom yang rusak dan menghasilkan struktur beton baru yang lebih kokoh, kuat, dan bentuk yang lebih baik (Mohammed et al. 2019). Akan tetapi, metode-metode yang diterapkan ini memiliki kelemahan dalam pengoperasiannya antara lain: bobot dan ukuran konstruksi yang bertambah, waktu perbaikan yang cukup lama, dan biaya perbaikan yang cukup besar.

Sejumlah penelitian tentang kuat tarik belah struktur beton juga telah dilakukan dan dipublikasikan. Studi penerapan variasi agregat kasar dan halus untuk meningkatkan kuat tarik belah menghasilkan kuat tarik belah maksimum sebesar 3,4 MPa untuk beton agregat kasar dan 2,6 MPa untuk beton agregat halus (Zulfikar, Siahaan, and Syahputra 2021; Supit, Pandaleke, and Dapas 2016). Penambahan serat rami pada agregat beton dapat mencegah laju retak optimum sebesar 0,5% dari berat konstruksi, yaitu memiliki kuat tarik belah sebesar 3,268 MPa setelah 28 hari (Nagaraj, Mishra, and Reddy 2020). Selain itu, penelitian dengan menggunakan analisis faktorial pada penerapan serat goni pada beton dengan waktu pengeringan 7, 28, dan 90 hari mengungkapkan bahwa panjang dan volume serat memiliki efek positif pada sifat beton yang mengeras pada masa perawatan awal dan masa perawatan yang diperpanjang (Siregar and Zulfikar 2022).

Topik studi ini ialah tentang energi ketangguhan bahan struktur BKS yang diperkuat bahan KLJ akibat beban tarik belah. Tujuan penelitian ini ialah menghitung jumlah energi yang mampu diserap (ketangguhan) bahan berdasarkan grafik hasil uji tarik belah spesimen BKS diperkuat KLJ dan analisis terhadap perbandingan antara kekuatan tarik belah (KTB) dan ketangguhan bahan dari hasil uji tarik belah spesimen BKS diperkuat KLJ tersebut.

## 2. Metode

Penguat BKS terbuat dari bahan komposit laminat dari bahan serat alami yaitu kain jute anyaman seperti diperlihatkan pada gambar 3. Teknik pencetakan KLJ berdasarkan metode Vacuum Bagging. Bahan matrik terbuat dari resin epoxy dari jenis Bisphenol A-Epichlorohydrin. Agregat beton terdiri dari semen, pasir, kerikil, dan air. Semen yang dipergunakan dalam penelitian ini ialah dari jenis semen Portland Komposit SNI 7064 2014. BKS terlebih dahulu diberikan perlakuan perendaman dalam air bersih 28 hari dan pengeringan di udara terbuka 28 hari.



**Gambar 3.** Bahan utama KLHJG: (a) kain jute anyaman, dan (b) lembaran serat kaca e-glass

Dalam studi ini, spesimen BKS dicetak berdasarkan standar uji ASTM C496. Perubahan berat spesimen diukur dengan menggunakan timbangan digital jenis 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. Perhitungan EKB menggunakan bantuan software Ms. Excel.

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.

Prosedur pelapisan KLJ pada spesimen BKS 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 4). 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.

Prosedur perhitungan EKB spesimen BKS yang diperkuat komposit laminat jute adalah sebagai berikut: (1) Penggambaran grafik penyerapan energi pada data yang dihasilkan oleh tiap- tiap spesimen. (2) Input data-data hasil pengujian ke dalam spread sheet Ms. Excel. Input data uji berdasarkan perlakuan dan jumlah pengulangan pada tiap perlakuannya. Data-data tersebut antara lain: kode spesimen, gaya (N), dan deformasi (m). (3) Hitung energi ketangguhan/penyerapan energi yang diperoleh dengan menggunakan persamaan (2) pada masing-masing spesimen. (4) Hitung nilai penyerapan energi rata-rata pada masing-masing perlakuan. (5) Analisa data-data hasil perhitungan tersebut untuk mendapatkan nilai ketangguhan maksimumnya.

Dalam penyelidikan ini, besarnya EKB diperoleh dan dihitung berdasarkan grafik gaya dan deformasi dari hasil uji tarik belah. Lebih lanjut, besarnya nilai EKB tersebut akan dibandingkan dengan kekuatan bahannya sehingga dapat dianalisis fenomena terhadap

hubungan kedua variabel tersebut. Kekuatan tarik belah dihitung menggunakan persamaan (1). Hasil analisis tersebut dapat menjadi rekomendasi terhadap aplikasi bahan komposit laminat dari lembar jute anyaman sebagai penguat struktur BKS.

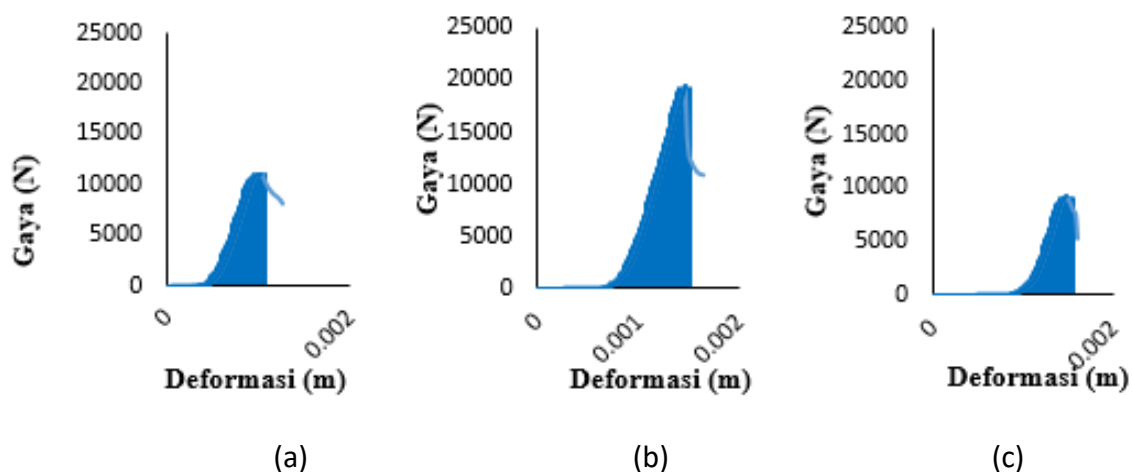


**Gambar 4.** Vacuum bagging

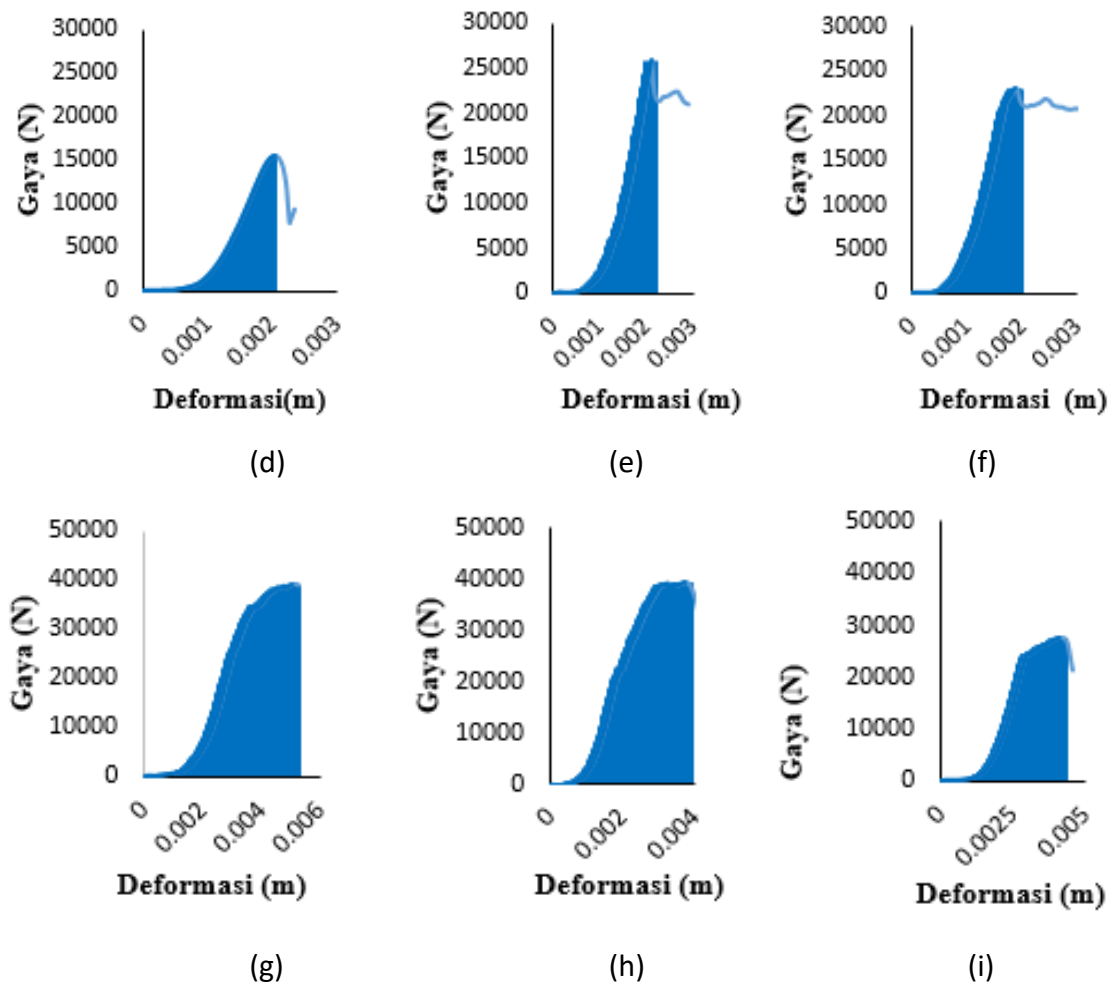
### 3. Hasil dan Pembahasan

Data hasil pengujian tarik belah berupa grafik gaya (N) dan deformasi (m) adalah data dasar perhitungan energi ketangguhan bahan (EKB). Grafik hasil pengujian pada masing-masing variasi diperlihatkan pada gambar 5. Pada masing-masing variasi dilakukan 3 kali pengulangan. Nilai EKB adalah luas area yang diberi warna biru yang dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

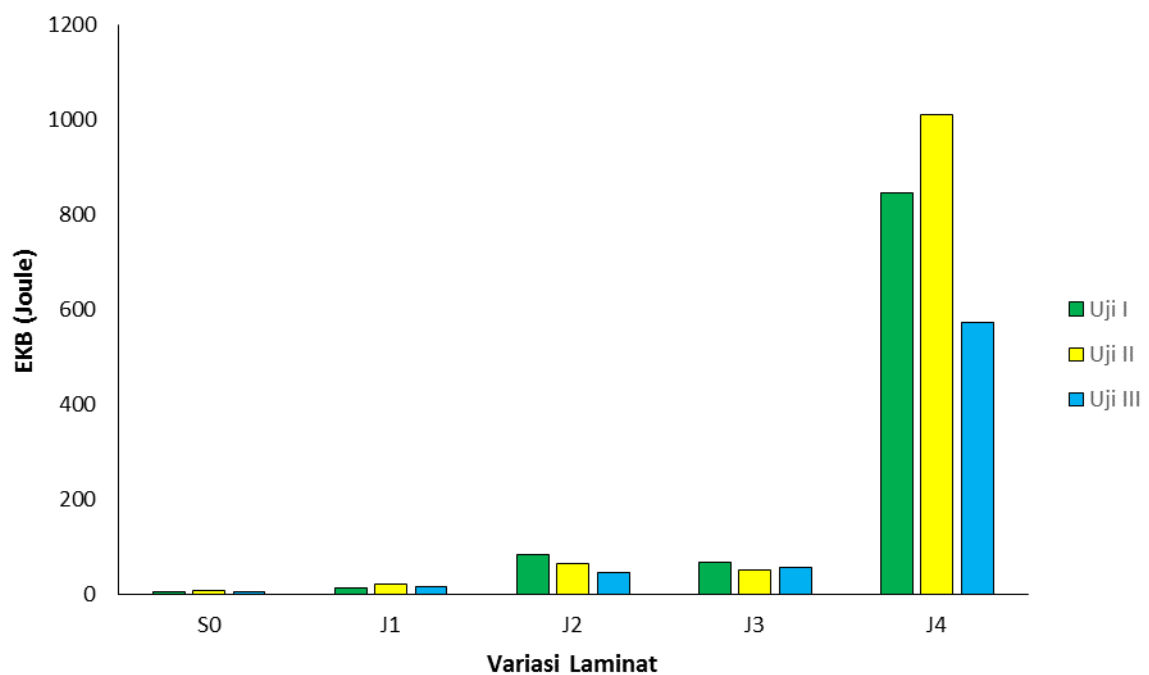
Besarnya nilai EKB untuk variasi S0.1, 2,dan 3 ialah 3,334 J, 7,251 J, dan 2,958 J secara berturut-turut dengan rata-rata 4,515 J. Pada variasi J1 pengulangan 1, 2, dan 3 ialah 12,390 J, 20,225 J, dan 16,048 J secara berturut-turut dengan rata-rata 16,221 J. Lebih lanjut, pada variasi J2 untuk pengulangan yang sama diperoleh 83,759 J, 63,132 J, dan 44,444 J dengan rata-rata 63,779 J. Pada variasi J3 untuk pengulangan yang sama diperoleh 65,11 J, 50,495 J, dan 54,863 J dengan rata-rata 56,823 J. Akhirnya, pada variasi J4 diperoleh 846,926 J, 1011,465 J, dan 572,257 J dengan rata-rata 810,216 J. Grafik nilai EKB rata-rata diperlihatkan pada gambar 6.



**Gambar 5.** Grafik EKB variasi: (a) S0.1, (b) S0.2, (c) S0.3, (d) J1.1, (e) J1.2, (f) J1.3, (g) J2.1, (h) J2.2, dan (i) J2.3 (lanjutan)



**Gambar 6.** Grafik EKB variasi: (a) S0.1, (b) S0.2, (c) S0.3, (d) J1.1, (e) J1.2, (f) J1.3, (g) J2.1, (h) J2.2, dan (i) J2.3 (lanjutan)



**Gambar 7.** EKB komposit laminat

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat bahwa EKB spesimen BKS yang diperkuat KLJ mengalami peningkatan dari spesimen tanpa selubung. Pada beton tanpa selubung (S0) dihasilkan nilai rata-rata EKB sebesar 4.51 Joule. Pada KLJ sebanyak 1 lapis (J1) dihasilkan nilai rata-rata EKB sebesar 16.22 Joule atau mengalami peningkatan hingga 259 %. Pada KLJ 2 lapis dihasilkan nilai rata-rata EKB sebesar 63.78 Joule atau mengalami peningkatan hingga 1300 %. Pada KL 3 lapis dihasilkan nilai rata-rata EKB sebesar 56.82 Joule atau mengalami peningkatan hingga 1100 %. Akhirnya, pada KLJ 4 lapis dihasilkan nilai rata-rata EKB sebesar 929.20 Joule atau mengalami peningkatan hingga 17800 %. Oleh karena itu, melapisi beton dengan KLJ terbukti dapat meningkatkan EKB bahan BKS tersebut.

Lebih lanjut, hasil terendah dari EKB bahan dari ke 4 variasi KLJ yaitu pada variasi J1 yang hanya mampu menyerap energi sebesar 16,22 Joule, sedangkan hasil tertinggi dari keempat variasi KLJ yaitu terdapat pada variasi 4 lapis KLJ yang mampu menyerap energi hingga 929,20 Joule. Hal ini menunjukkan bahwa nilai EKB yang dihasilkan pada variasi 4 lapis KLJ sangat signifikan dibandingkan lapisan-lapisan lainnya (J1, J2, dan J3). Hal tersebut kemungkinan disebabkan oleh kemampuan KLJ yang cukup baik dalam menyerap energi. Oleh karena itu diharapkan adanya penelitian lanjutan tentang beton kolom silinder yang dilapisi laminat jute dengan lapisan lebih dari 4 lapis untuk mengetahui kemampuan komposit dalam menyerap energi yang diterima.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis terhadap data-data hasil eksperimental KTB diperoleh kesimpulan bahwa energi ketangguhan bahan (EKB) maksimum rata-rata diperoleh pada jumlah laminat sebanyak 4 lapis, yaitu 929.20 Joule, hal ini sangat jauh sekali dibandingkan nilai rata-rata EKB yang diperoleh pada spesimen tanpa selubung yaitu hanya sebesar 4.51 Joule. Oleh karena itu, penambahan KLJ pada permukaan spesimen BKS terbukti dapat meningkatkan EKB pada beton hingga lebih dari 17000 %. Dengan demikian, pemberian selubung KLJ berpotensi menambah ketangguhan struktur beton. Selanjutnya, hasil analisis terhadap perbandingan antara KTB dan EKB menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah lapisan yang terdapat pada spesimen beton maka semakin tinggi pula hasil dari KTB dan EKB yang mampu di serap beton tersebut. Dengan demikian, pemberian KLJ pada BKS mampu meningkatkan EKB terhadap beban tarik belah yang diberikan.

#### 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>.
- Chandekar, Harichandra, Vikas Chaudhari, and Sachin Waigaonkar. 2020. “A Review of Jute Fiber Reinforced Polymer Composites.” *Materials Today: Proceedings* 26 (xxxx): 2079–82.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.449>.
- Chapra, Steven C, and Raymond P Canale. 2010. *Numerical Methods for Engineers*. 6th ed. New York: McGraw-Hill Science/Engineering/Math.
- 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).
- Gibson, Ronald F. 2012. *Principles of Composite Material. Materials Science (Books)*. 3rd ed. Vol. 13. New York: Taylor & Francis Group.
- Godara, S S, Abhishek Yadav, Bharat Goswami, and R S Rana. 2021. “Review on History and Characterization of Polymer Composite Materials.” *Materials Today: Proceedings* 44: 2674–77. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.680>.
- 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>.
- Kumar, P. Sai Shravan, and K. Viswanath Allamraju. 2019. “A Review Of Natural Fiber Composites [ Jute , Sisal , Kenaf ].” In *International Conference of Materials Processing and Characterization ICMPC 2019*, 18:2556–62. Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.113>.
- 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>.
- 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>.
- Saleem, Muhammad Hamzah, Shafaqat Ali, Muzammal Rehman, Mirza Hasanuzzaman, Muhammad Rizwan, Sana Irshad, and Fahad Shafiq. 2020. “Jute : A Potential Candidate for Phytoremediation of Metals — A Review.” *Journal of Plants MDPI* 9 (258): 1–14.
- Shigley, Joseph A. 2008. *Mechanical Engineering Design*. 8th ed. New York: The McGraw-Hill

Companies.

- 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.
- Yi, Xiao Su, Shanyi Du, and Litong Zhang. 2017. *Composite Materials Engineering. Composite Materials Engineering*. Vol. 1. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5696-3>.
- Yu, Qian-qian, Xiang Li, and Xiang-lin Gu. 2018. "Durability of Concrete with CFRP Wrapping." In *MATEC Web Conferences*, 199:1–5.
- 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>.
- Zhou, Jun, and Lu Wang. 2019. "Repair of Fire-Damaged Reinforced Concrete Members with Axial Load : A Review." *Sustainability* 11: 1–16. <https://doi.org/10.3390/su11040963>.
- Zulfikar, Achmad Jusuf, Muhammad Yusuf R. Siahaan, and Ruli Bay Syahputra. 2021. "Analisis Signifikansi Roda Skateboard Berbahan Komposit Serbuk Batang Pisang Terhadap Perfoma Kecepatan Dengan Metode Anova." *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi* 4 (2): 83–90.