

Kekuatan Tarik Bahan Komposit Laminat E-Glass dan Epoksi Sebagai Penguat Strukur Dinding Silinder

Tensile Strength of E-Glass and Epoxy Composite Laminate Materials as Structural Reinforcement for Cylinder Walls

Achmad Jusuf Zulfikar^{(1)*}, Ahmad Rivaldo⁽¹⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area
Jl. Kolam No. 1, Medan Estate, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20223

Email: zulfikar@staff.uma.ac.id

ABSTRAK

Bahan komposit telah mengalami perkembangan yang cukup pesat sebagai bahan baru alternatif pengganti bahan-bahan logam. Struktur dinding silinder yang terbuat dari beton merupakan struktur utama dari suatu bangunan dan akan mengalami penurunan kekuatan mekaniknya seiring dengan waktu pakainya. Dalam studi ini, bahan komposit laminat dari serat e-glass anyaman akan digunakan sebagai penguat struktur dinding tersebut. Tujuan penelitian ini ialah untuk mendapatkan kekuatan tarik komposit laminat e-glass (KLG) sebagai penguat utama struktur beton kolom silinder (BKS), perhitungan validitas data hasil uji, dan analisis hasil yang diperoleh. Metode pengujian menggunakan metode split tensile test dengan standar pengujian berdasarkan ASTM C496. Variasi lapisan KLG ialah mulai dari 1 lapis hingga 4 lapis. Pada masing-masing variasi dilakukan 3 kali pengujian. Pencetakan selubung KLG pada BKS menggunakan metode Vacuum Bagging. Sebagai perbandingan, dipersiapkan 3 buah spesimen tanpa selubung KLG sebagai control specimen. Analisis validitas data hasil uji ialah dengan metode data terdistribusi normal (DTN). Hasil penyelidikan memperlihatkan bahwa pemberian selubung KLG pada BKS mengakibatkan peningkatan kekuatan tarik belah BKS pada 1, 2, 3, dan 4 selubung KLG masing-masing sebesar 201%, 545%, 656%, dan 887% secara berturut-turut. Dengan demikian, pemberian selubung KLG berpotensi sebagai bahan penguat struktur BKS.

Kata kunci: Komposit laminat; beton kolom silinder; kekuatan tarik belah; serat e-glass.

ABSTRACT

Composite materials have experienced rapid development as a new alternative to replace metallic materials. Concrete cylinder walls are the main structural components of a building and will experience a decrease in mechanical strength over time. In this study, laminated composite materials made of woven e-glass fibers will be used as reinforcement for these wall structures. The objective of this research is to obtain the tensile strength of e-glass laminate composites (ELC) as the main reinforcement for reinforced concrete cylindrical columns (RCC), perform validity calculations for the test data, and analyze the obtained results. The testing method used is the split tensile test method following the testing standard based on ASTM C496. The variations of ELC layers range from 1 layer to 4 layers. Each variation undergoes three tests. The ELC wrapping on the RCC is carried out using the Vacuum Bagging method. For comparison, three specimens without ELC wrapping are prepared as control specimens. The validity analysis of the test data is conducted using the normal distribution data (NDM) method. The investigation results show that the application of ELC wrapping on the RCC leads to an increase in the split tensile strength of the RCC by 201%, 545%, 656%, and 887% for 1, 2, 3, and 4 layers of ELC, respectively. Therefore, the application of ELC wrapping has the potential to serve as a reinforcing material for RCC structures.

Keywords: Laminated composite; reinforced concrete cylindrical column; split tensile strength; e-glass fiber.

1. PENDAHULUAN

Dunia konstruksi di Indonesia saat ini mengalami perkembangan yang pesat dan signifikan. Fenomena ini terbukti dengan melihat

jumlah proyek bangunan konstruksi yang sedang berlangsung di berbagai wilayah [1]. Perkembangan ini secara langsung akan mempengaruhi kebutuhan masyarakat akan penggunaan beton dalam konstruksi. Beton

menjadi bahan konstruksi yang paling umum digunakan dan proses produksinya yang relatif mudah membuatnya menjadi pilihan utama. Kebutuhan akan beton yang tinggi dalam industri konstruksi tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah proyek konstruksi yang sedang berjalan, tetapi juga oleh karakteristik unik beton sebagai bahan konstruksi [2]. Beton memiliki keunggulan dalam hal kekuatan, daya tahan, dan fleksibilitas dalam menghadapi beban struktural. Selain itu, beton juga memiliki kemampuan tahan terhadap kebakaran dan bahan kimia, menjadikannya pilihan yang aman dan handal dalam membangun struktur yang kokoh dan tahan lama [3]. Perkembangan konstruksi yang pesat ini juga menciptakan peluang baru dalam industri beton di Indonesia. Permintaan yang meningkat akan beton mendorong pengembangan teknologi beton yang lebih canggih, termasuk penggunaan aditif yang dapat meningkatkan kinerja beton dalam hal kekuatan, ketahanan terhadap cuaca, dan lingkungan [4]. Selain itu, inovasi dalam penggunaan serat atau penguat lainnya dalam campuran beton dapat menghasilkan beton yang lebih kuat dan efisien [5]. Dalam konteks ini, penting bagi pemerintah, pengembang, dan pelaku industri konstruksi untuk terus mendorong penelitian dan pengembangan dalam bidang beton. Dukungan terhadap inovasi dan penggunaan teknologi yang lebih baik akan membantu meningkatkan kualitas konstruksi di Indonesia, menghasilkan struktur bangunan yang lebih tangguh dan aman bagi masyarakat. Selain itu, upaya untuk meningkatkan standar dan regulasi terkait beton juga penting guna memastikan keselamatan dan kualitas dalam pembangunan infrastruktur yang berkelanjutan dan berdaya tahan.

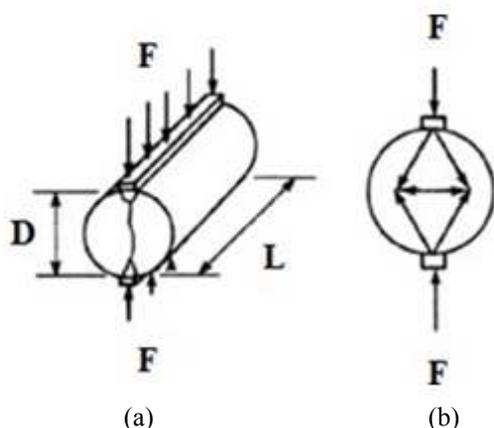
Beton merupakan suatu kombinasi dari bahan-bahan yang terdiri dari semen, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), dan air. Pada jenis beton tertentu, ditambahkan pula bahan tambahan seperti admixture. Dengan menggunakan berbagai komposisi yang berbeda dari setiap bahan campuran beton tersebut, akan dihasilkan mutu beton yang bervariasi. Beton digunakan dalam berbagai macam aplikasi, salah satunya adalah dalam pembangunan konstruksi bangunan. Beton normal yang umum digunakan memiliki kekuatan berkisar antara 200 kg/cm^2 hingga 500 kg/cm^2 [6]. Agregat kasar yang berasal dari batu dengan ukuran 1-4 cm merupakan bahan beton yang biasa digunakan dalam campuran beton. Karena beton merupakan material komposit, daktilitas beton sangat tergantung pada kualitas dari masing-masing komponennya. Spesifikasi dan komposisi bahan yang digunakan dalam pembuatan beton akan mempengaruhi mutu beton yang dihasilkan [7].

Komposit adalah suatu sistem yang terbentuk melalui pencampuran dua atau lebih bahan yang berbeda, baik dalam bentuk maupun komposisi, dan tidak larut satu sama lain [8]. Bahan komposit umumnya memiliki kombinasi sifat-sifat yang tidak dapat dimiliki oleh komponen-komponen pembentuknya secara terpisah. Perlu dicatat bahwa kombinasi ini tidak hanya terbatas pada bahan matriksnya. Salah satu contoh yang sering ditemui dalam material komposit adalah beton cor, yang terdiri dari beberapa bahan seperti semen, pasir, batu koral, besi, dan air. Terlihat jelas bahwa bahan-bahan penyusun ini memiliki sifat-sifat yang berbeda satu sama lain. Namun, ketika dikombinasikan dengan perbandingan dan teknik pengerjaan tertentu, mereka menghasilkan beton dengan kualitas yang sangat baik, sehingga beton mampu bertahan dalam berbagai kondisi iklim [9]. Penggunaan kombinasi bahan dalam komposit beton memberikan keuntungan yang signifikan. Semen berfungsi sebagai matriks yang mengikat bahan-bahan lainnya, sementara pasir dan batu koral memberikan kekuatan mekanik dan stabilitas struktural. Penambahan besi sebagai tulangan memperkuat beton dalam menahan gaya tarik. Air, sebagai komponen utama dalam proses hidrasi semen, memberikan daya rekat dan kekompakan pada campuran beton. Penggunaan beton sebagai material komposit yang unggul dalam konstruksi menjadi pilihan yang cerdas. Dengan pemahaman yang baik tentang kombinasi bahan dan prinsip-prinsip pembuatan yang tepat, beton dapat menjadi solusi yang andal dan efektif dalam membangun struktur yang kuat dan tahan lama [10].

Serat E-glass merupakan jenis serat yang memiliki harga relatif terjangkau dan kinerja mekanik yang baik. Serat E-glass memberikan sifat kekuatan yang baik dengan biaya yang terjangkau, serta memiliki kekuatan tarik dan tekan yang tinggi. Serat kaca E-glass dapat dibuat dari berbagai jenis kaca sebagai bahan dasar, tergantung pada kebutuhan penggunaan [11]. Kekuatan, ringan, dan ketahanan serat E-glass yang tidak mudah rapuh menjelaskan mengapa serat ini banyak digunakan dalam pembuatan berbagai produk, mulai dari bak mandi, atap, hingga kapal dan pesawat terbang. Pengetahuan mengenai serat E-glass ini menjadi dasar bagi penulis untuk menguji kekuatan tarik struktur beton yang telah diperkuat dengan komposit laminat E-glass [12].

Beton merupakan material yang memiliki kelemahan terhadap tegangan tarik. Faktor yang mempengaruhi kekuatan tarik beton sebanding dengan kekuatan tekan, namun nilai kekuatan tarik beton normal umumnya berkisar antara 9% hingga 15% dari kekuatan tekan beton tersebut [13]. Kekuatan tarik belah adalah salah satu parameter penting dalam mengevaluasi kekuatan

beton. Nilai kekuatan tarik belah diperoleh melalui pengujian tekan di laboratorium dengan memberikan beban lateral pada setiap sampel silinder beton hingga mencapai kekuatan maksimalnya [14]. Dalam proses pengujian, benda uji yang terbuat dari beton dengan ukuran silinder berdiameter 50 mm dan tinggi 150 mm akan ditekan menggunakan mesin uji tekan dalam posisi horizontal. Hal ini dilakukan untuk menentukan sejauh mana kekuatan tarik belah beton tersebut. Pengujian ini bertujuan untuk memahami kemampuan beton dalam menahan gaya tarik yang bekerja pada strukturnya. Dengan demikian, hasil dari pengujian ini akan memberikan informasi penting mengenai kekuatan tarik belah beton dan relevansinya dalam aplikasi konstruksi yang melibatkan beban tarik. Ilustrasi pengujian kekuatan tarik belah (S_{tb}) diperlihatkan pada gambar 1 dan kekuatannya dihitung dengan menggunakan persamaan 1 [15].



Gambar 1. Ilustrasi uji tarik belah, (a) kondisi pembebanan dalam bentuk 3 dimensi, dan (b) kondisi beban pada penampang specimen [16]

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

Data-data hasil pengujian harus terdistribusi secara normal. Data terdistribusi normal mengacu pada pola distribusi data yang mengikuti distribusi normal atau disebut juga distribusi Gaussian atau distribusi z [17]. Dalam distribusi normal, data cenderung terpusat di sekitar nilai rata-rata dengan bentuk kurva berbentuk lonceng simetris. Hal ini berarti bahwa sebagian besar data berada di sekitar nilai rata-rata, sedangkan semakin jauh dari nilai rata-rata, semakin jarang data ditemukan [18]. Uji normalitas Shapiro-Wilk adalah salah satu metode statistik yang digunakan untuk menguji apakah suatu set data terdistribusi secara normal [19]. Metode ini dihitung dengan menggunakan persamaan 2. Uji ini menguji hipotesis nol bahwa data berasal dari populasi yang terdistribusi normal. Dalam uji Shapiro-

Wilk, hipotesis nolnya menyatakan bahwa data terdistribusi normal, sementara hipotesis alternatifnya menyatakan bahwa data tidak terdistribusi normal. Uji ini berfokus pada penilaian kecenderungan data menuju bentuk kurva normal dengan membandingkan statistik uji dengan nilai kritis yang sesuai [20].

$$T_3 = \frac{1}{D} \left[\sum_{i=1}^k a_i (X_{n-i+1} - X_i) \right]^2 \quad (2)$$

Beberapa penelitian telah dilakukan sehubungan dengan topik ini. Diko dkk (2022) telah melakukan studi terhadap perubahan kekuatan tekan beton kolom silinder sebagai efek pemberian selubung bahan komposit laminat [21]. Siregar dkk (2022) telah melakukan penyelidikan tentang aplikasi lembar e-glass pada beton kolom silinder dengan metode cetak vacuum bagging [10]. Muzakir dkk (2022) telah melakukan penyelidikan tentang penerapan komposit laminat hibrid serat alam dan sintetik untuk menambah kekuatan kolom beton [22]. Hidayat dkk (2022) juga telah melakukan penyelidikan terhadap peningkatan kekuatan beton kolom akibat pemberian komposit laminat dari bahan lembaran jute anyaman [13]. Berdasarkan studi-studi tersebut diperoleh bahwa pemberian bahan komposit laminat serat alami, e-glass, ataupun hibrid terbukti mampu meningkatkan kekuatan tekan beton kolom silinder. Oleh karena itu, penulis melakukan penyelidikan terhadap dampak perubahan kekuatan tarik belah beton kolom silinder dengan penerapan bahan komposit laminat dari lembaran serat e-glass anyaman.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menguji distribusi normalitas dari data hasil pengujian yang diperoleh dengan metode Shapiro Wilk, untuk mengevaluasi pengaruh penambahan KLG pada spesimen BKS terhadap kekuatan tarik belah, dan signifikansi pengaruh penambahan KLG berdasarkan persentase peningkatan kekuatan rata-ratanya.

2. METODE

Dalam studi ini, spesimen BKS dicetak mengikuti standar ASTM C496. Pengukuran terhadap massa spesimen ialah menggunakan timbangan digital jenis SF-400 dengan kapasitas maksimum 10 kg dan presisi 1 g. Pengujian kekuatan tarik belah menggunakan alat uji UTM (*Universal Testing Machine*) jenis Hydraulic UTM model WEW-300D kapasitas 300 kN (Gambar 2). Bahan-bahan yang digunakan dalam studi ini adalah kain anyaman e-glass (Gambar 3) yang berperan sebagai penguat struktur BKS dengan menerapkan teknik pencetakan menggunakan metode Vacuum Bagging. Resin epoksi yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis Bisphenol A-Epichlorohydrin beserta pengerasnya.

Adapun jenis semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen Portland Komposit sesuai dengan standar SNI 7064 tahun 2014. Komposisi agregat beton terdiri dari semen, pasir, kerikil, dan air yang telah mengalami perendaman dalam air bersih selama 28 hari, kemudian dikeringkan di udara terbuka selama 28 hari.



Gambar 2. Mesin uji UTM



Gambar 3. Lembaran serat kaca anyaman jenis e-glass

Prosedur pelapisan KLG dalam penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut: (1) Membersihkan permukaan spesimen menggunakan kertas pasir (amplas) dan kain lap, (2) Mencampurkan resin epoksi dengan hardener dalam perbandingan komposisi 1:1 (campuran ini disebut sebagai C1), (3) Melapisi permukaan spesimen secara keseluruhan dengan C1, (4) Menempelkan kain e-glass secara rata pada permukaan spesimen hingga tertutup seluruhnya, (5) Mengoleskan kembali C1 pada permukaan kain e-glass hingga merata, (6) Menyiapkan pompa vakum dan wadah vakum, (7) Melumasi bagian dalam wadah vakum dengan minyak pelumas untuk memudahkan pemisahan spesimen dan wadah saat proses pembongkaran, (8) Menempatkan spesimen yang telah dilapisi kain e-glass ke dalam wadah vakum, (9) Menutup wadah vakum secara rapat menggunakan isolasi untuk menciptakan kondisi

hampa udara, (10) Mengaktifkan pompa vakum untuk mengeluarkan udara dari wadah vakum, dan (11) Setelah wadah vakum mencapai kondisi hampa udara yang ditunjukkan oleh tekanan nol pada manometer pompa, mengikat wadah vakum dengan rapat dan melepas pompa vakum. Dalam penelitian ini, dilakukan variasi jumlah lapisan selubung kain jute e-glass, yaitu 1, 2, 3, dan 4. Sebagai perbandingan, juga disiapkan 3 spesimen BKS tanpa pelapisan kain e-glass. Bentuk spesimen uji diperlihatkan pada gambar 4.



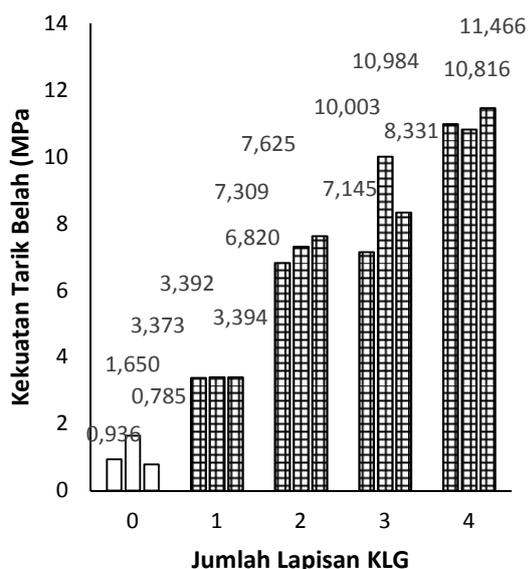
Gambar 4. Spesimen uji

Prosedur pengujian normalitas data dengan metode Shapiro Wilk diawali dengan menghitung kuadrat rata-rata data (D) hasil pengujian dengan menggunakan persamaan 3, dimana X_i adalah data hasil pengujian dan \bar{X} adalah nilai rata-rata keseluruhan data. Selanjutnya, nilai-nilai yang dihasilkan dihitung dengan menggunakan persamaan 2. Cara baca hasil perhitungan uji Shapiro Wilk adalah dengan melihat nilai hasil perhitungan Shapiro Wilk terhadap tingkat signifikansinya terhadap kecenderungan probabilitasnya (p). Apabila $p > 5\%$ (0,05), maka data dinyatakan terdistribusi normal. Sebaliknya, apabila $p < 5\%$, maka data tidak terdistribusi secara normal.

$$D = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \quad (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

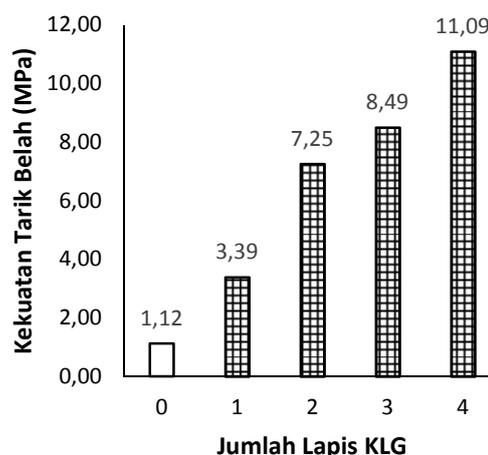
Grafik hasil pengujian kekuatan tarik belah spesimen BKS dengan variasi KLG 0, 1, 2, 3, dan 4 lapis ditampilkan dalam Gambar 5. Berdasarkan hasil perhitungan metode Shapiro Wilk dengan menggunakan persamaan 3 diperoleh nilai D sebesar $196,88 \text{ (MPa)}^2$ dan total kuadrat koefisien Shapiro Wilk berdasarkan persamaan 2 diperoleh $179,99 \text{ (MPa)}^2$. Sehingga diperoleh nilai signifikansi uji T_3 ialah 0,91. Nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai syarat normalitas yaitu 0,05. Dengan demikian, data-data hasil pengujian tersebut ialah terdistribusi secara normal.



Gambar 5. Grafik Kekuatan tarik belah tanpa selubung KLG

Berdasarkan grafik pada gambar 5, diperoleh kekuatan tarik belah untuk variasi tanpa laminat e-glass sebesar 0,936 MPa, 1,650 MPa, dan 0,784 MPa, dengan rata-rata sebesar 1,123 MPa. Kekuatan tarik belah untuk variasi satu lapisan laminat e-glass sebesar 3,373 MPa, 3,392 MPa, dan 3,392 MPa, dengan rata-rata sebesar 3,387 MPa. Untuk variasi dua lapisan laminat e-glass, diperoleh kekuatan tarik belah sebesar 6,820 MPa, 7,145 MPa, dan 7,625 MPa, dengan rata-rata sebesar 7,252 MPa. Selanjutnya, untuk variasi tiga lapisan laminat e-glass, diperoleh kekuatan tarik belah sebesar 7,145 MPa, 10,003 MPa, dan 8,331 MPa, dengan rata-rata sebesar 8,493 MPa. Akhirnya, kekuatan tarik belah untuk variasi empat lapisan laminat e-glass diperoleh sebesar 10,984 MPa, 10,816 MPa, dan 11,466 MPa, dengan rata-rata sebesar 11,089 MPa. Berdasarkan data-data hasil pengujian, dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan lapisan laminat e-glass pada spesimen BKS secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik belah. Semakin banyak lapisan laminat e-glass yang ditambahkan, semakin tinggi pula kekuatan tarik belah yang tercapai. Pada variasi tanpa laminat e-glass, diperoleh rata-rata kekuatan tarik belah sebesar 1,123 MPa, sedangkan penambahan satu, dua, tiga, dan empat lapisan laminat e-glass menghasilkan rata-rata kekuatan tarik belah masing-masing sebesar 3,387 MPa, 7,252 MPa, 8,493 MPa, dan 11,089 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa laminat e-glass berperan sebagai penguat yang efektif dalam meningkatkan kekuatan tarik belah spesimen BKS. Oleh karena itu, penggunaan komposit laminat e-glass dapat menjadi solusi yang baik untuk meningkatkan ketahanan dan kekuatan struktur beton terhadap

beban tarik. Kekuatan tarik belah rata-rata pada masing-masing variasi diperlihatkan pada gambar 6.



Gambar 6. Kekuatan tarik belah rata-rata

Berdasarkan grafik nilai kekuatan tarik belah rata-rata pada pengujian bahan KLG sebagai penguat BKS yang diperlihatkan pada gambar 6, penggunaan KLG sebagai penguat pada BKS secara konsisten meningkatkan kekuatan tarik belah BKS. Persentase peningkatan kekuatan tarik belah jika dibandingkan dengan tanpa selubung KLG ialah untuk 1 lapis KLG mengalami peningkatan hingga 201%, untuk 2 lapis KLG mengalami peningkatan hingga 545%, untuk 3 lapis KLG mengalami peningkatan hingga 656%, dan untuk 4 lapis KLG mengalami peningkatan hingga 887%. Dengan demikian, semakin banyak jumlah lapisan KLG yang ditambahkan, semakin tinggi kekuatan tarik belah yang dapat dicapai.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan nilai signifikansi uji T_3 yang diperoleh sebesar 0,91, nilai ini lebih besar dari nilai syarat normalitas yang ditetapkan sebesar 0,05. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa data-data hasil pengujian tersebut terdistribusi secara normal. Penambahan lapisan laminat e-glass secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik belah spesimen BKS. Semakin banyak lapisan laminat e-glass yang ditambahkan, semakin tinggi kekuatan tarik belah yang tercapai. Dari persentase peningkatan kekuatan tarik belah jika dibandingkan dengan tanpa selubung KLG, diperoleh hasil untuk 1 lapis KLG mengalami peningkatan hingga 201%, untuk 2 lapis KLG mengalami peningkatan hingga 545%, untuk 3 lapis KLG mengalami peningkatan hingga 656%, dan untuk 4 lapis KLG mengalami peningkatan hingga 887%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah lapisan KLG secara signifikan meningkatkan kekuatan tarik belah BKS.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada *Excellent Centre of Innovations and New Science* dan Laboratorium Teknik Mesin, Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area yang telah mendukung dan memfasilitasi penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. C. Nugrahini and T. A. Permana, "Building Information Modelling (BIM) dalam Tahapan Desain dan Konstruksi di Indonesia, Peluang Dan Tantangan (Studi Kasus Perluasan T1 Bandara Juanda Surabaya)," *AGREGAT*, vol. 5, no. 2, pp. 459–467, 2020.
- [2] M. Setyowati, "Perkembangan Penggunaan Beton Bertulang di Indonesia Pada Masa Kolonial (1901-1942)," *Berk. Arkeol.*, vol. 39, no. 2, pp. 201–220, 2019.
- [3] H. Handoyo, M. O. Kurniawan, and P. Nugraha, "Survey Perkembangan Penggunaan Beton Precast di Surabaya dan Sekitarnya," *Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 108–115, 2020.
- [4] S. Gistyantoro, V. A. Noorhidana, T. Junaedi, and S. Sebayang, "Pengaruh Penambahan Admixture Naptha E121 Terhadap Perkembangan Kekuatan Beton Rigid Pavement," in *SINTA (Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri)*, 2022, pp. 1–6.
- [5] Y. Trianah and S. Sani, "Pengaruh Penambahan Serabut (Fiber) Kelapa Sawit Terhadap Porositas Beton," *J. Deform.*, vol. 7, no. 1, pp. 92–101, 2022.
- [6] M. F. Khonado, H. Manalip, and S. E. Wallah, "Kuat Tekan dan Permeabilitas Beton Porous dengan Variasi Ukuran Agregat," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 3, pp. 351–358, 2019.
- [7] S. Arian, S. Permana, and R. Roestaman, "Pengaruh Penggunaan Agregat Kasar Kerikil Alami Terhadap Mutu Beton," *J. Konstr.*, vol. 19, no. 1, pp. 52–59, 2021.
- [8] A. J. Zulfikar, D. A. A. Ritonga, S. Pranoto, F. A. K. Nasution, Z. Arif, and J. Junaidi, "Analisis Kekuatan Mekanik Komposit Polimer Diperkuat Serbuk Kulit Kerang," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 6, no. 1, pp. 30–40, 2023.
- [9] A. J. Zulfikar, M. Y. R. Siahaan, A. Irwan, F. A. K. Nasution, and D. A. A. Ritonga, "Analisis Kekuatan Mekanik Pipa Air dari Bahan Komposit Serbuk Kulit Kerang," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 5, no. 2, pp. 83–93, 2022.
- [10] D. A. Siregar, A. J. Zulfikar, M. Y. R. Siahaan, and R. A. Siregar, "Analisis Kekuatan Tekan Selubung Komposit Laminat E-glass pada Beton Kolom Silinder dengan Metode Vacuum Bagging," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 5, no. 1, pp. 20–25, 2022.
- [11] M. I. Tambusay, A. J. Zulfikar, and I. Iswandi, "Analisis Metode Split Tensile Test Komposit Laminat Hybrid Jute E-Glass Akibat Beban Tarik Beton Kolom Silinder," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 2, pp. 45–54, 2022.
- [12] R. A. Purba, A. J. Zulfikar, and I. Iswandi, "Analisis Kekuatan Komposit Laminat Hybrid Jute E-Glass Berdasarkan Pola Kerusakan dengan Metode Split Tensile Test," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 3, pp. 83–91, 2022.
- [13] N. Hidayat, A. J. Zulfikar, and I. Iswandi, "Analisis Metode Split Tensile Test Komposit Laminat Jute Terhadap Kekuatan Tarik Belah Beton Kolom Silinder," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 1, no. 2, pp. 18–26, 2022.
- [14] A. J. Zulfikar, "The Flexural Strength of Artificial Laminate Composite Boards made from Banana Stems," *Budapest Int. Res. Exact Sci. J.*, vol. 2, no. 3, pp. 334–340, 2020.
- [15] J. A. Kawulusan, H. Manalip, and S. O. Dapas, "Pemeriksaan kuat tarik belah beton serat kawat bendrat dengan variasi sudut tekuk pada kedua ujungnya," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 5, pp. 513–526, 2019.
- [16] G. R. L. Tobing and Y. Risdianto, "Pengaruh Penambahan Serat Sabut Kelapa (Coconut Fiber) Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah dan Kuat Lentur pada Beton," *Rekayasa Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 1–8, 2019.
- [17] A. Quraisy, "Normalitas Data Menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro-Wilk," *J. Heal. Educ. Econ. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 7–11, 2020.
- [18] U. Usmani, "Pengujian Persyaratan Analisis (Uji Homogenitas Dan Uji Normalitas)," *Inov. Pendidik.*, vol. 7, no. 1, pp. 50–62, 2020, doi: 10.31869/ip.v7i1.2281.
- [19] G. D. Ahadi and N. N. L. E. Zain, "The Simulation Study of Normality Test Using Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, and Shapiro-Wilk," *Eig. Math. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 11–19, 2023.
- [20] E. González-Estrada and W. Cosmes, "Shapiro-Wilk test for skew normal distributions based on data transformations," *J. Stat. Comput. Simul.*, vol. 89, no. 17, pp. 3258–3272, 2019.
- [21] D. Alamsyah, A. J. Zulfikar, M. Yusuf, and R. Siahaan, "Optimasi kekuatan tekan beton kolom silinder diperkuat selubung

- komposit laminat jute dengan metode anova,” *Jcebt*, vol. 6, no. 1, pp. 30–36, 2022, [Online]. Available: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- [22] A. T. Muzakir, A. J. Zulfikar, and M. Y. R. Siahaan, “Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid Laminat Jute E-Glass Epoksi,” *JCEBT (Journal Civ. Eng. Build. Transp.)*, vol. 6, no. 1, pp. 12–19, 2022.