

Analisis Kegagalan pada daerah Sekitar Lubang Sambungan Baut pada Komposit Widuri akibat Pembebanan Tarik

Yeremias M. Pell¹, Wiiliam P. Nahak¹, Kristomus Boimau¹

¹⁻³) Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp. (0380)881597

*Corresponding author: yeremias.pell@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Serat widuri termasuk salah satu serat alam yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai penguat pada komposit polimer. Pada penelitian kali ini, serat widuri kembali dijadikan penguat pada komposit polimer yang disambung dengan sambungan baut. Tujuan penelitian adalah untuk mengamati dan menganalisis kegagalan pada daerah sekitar lubang sambungan akibat pembebanan tarik yang diberikan pada spesimen. Adapun proses pembuatan komposit dilakukan dengan cara cetak tekan dan selanjutnya specimen dibentuk menurut standar ASTM. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa adanya lubang dapat meningkatkan konsentrasi tegangan yang menyebabkan degradasi kekuatan dan memicu kerusakan selama pengujian. Kerusakan seperti ini biasanya diawali dengan timbulnya retak awal karena matriks retak di sekitar lubang dan menjalar sepanjang luasannya. Dari foto makro kegagalan komposit dapat dilihat bahwa ada 2 jenis kegagalan yang terjadi yaitu *net-tension* atau *tension failure* dan juga *tear out*. Kata kunci: Modifikasi dinding bentur dan perlakuan awal pada alat pemecah kemiri.

ABSTRACT

Widuri fiber is one of the natural fibers that has the potential to be developed as a reinforcement in polymer composites. In this research, thistle fiber was again used as reinforcement in polymer composites which were connected with bolted connections. The research aims to observe and analyze failure in the area around the connection hole due to the tensile load applied to the specimen. The composite manufacturing process is carried out by press molding and then the specimen is formed according to ASTM standards. From the research results it can be seen that the presence of holes can increase stress concentration which causes strength degradation and triggers damage during testing. Damage like this usually begins with the appearance of an initial crack due to the crack matrix around the hole and spreading along its area. From the macro photo of composite failure, it can be seen that 2 types of failure occur, namely net-tension or tension failure and tear out.

Keywords: *widuri fiber, composite failure, mechanical joint*

PENDAHULUAN

Dengan kemajuan teknologi masa kini, penyambungan dapat diterapkan pada komposit. Komposit adalah salah satu material yang paling banyak dipakai dalam pembuatan produk oleh sebab itu para peneliti melakukan berbagai kajian riset untuk merencanakan sambungan material baru yang memiliki sifat fisis-mekanis yang lebih baik. Adapun sambungan komposit yang paling banyak digunakan yaitu menggunakan sambungan mekanik karena mempunyai keuntungan antara lain replacement mudah apabila terjadi kerusakan, perlakuan permukaan sedikit dan

mudah melakukan inspeksi kualitas sambungan. (Diharjo, K., 2008).

Dari segi metode ada 2 jenis sambungan mekanik, yaitu sambungan baut/keling dan sambungan perekat (*bonded joint*). Metode sambungan mekanik baut/keling dibuat dengan membuat lubang sebagai tempat dudukan baut atau keling sedangkan *bonded joint* dibuat dengan memberikan zat *adhesive* antar lapisan yang akan disambung. Pada penyambungan baut/keling memerlukan lubang sebagai tempat dudukan baut atau keling. Teknik pembuatan lubang pada komposit dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu pembuatan lubang dengan cara dibor dan dicetak. Kedua cara ini dapat dipilih dalam

menerapkan jenis sambungan, tentunya dengan berbagai pertimbangan baik secara teoritis maupun praktis.

Komposit adalah gabungan dua atau lebih material membentuk satu material baru yang berbeda pula dari material pembentuknya. (Gibson, 1994). Jenis komposit yang sudah dikembangkan antara lain komposit serat, yang terdiri dari serat sintetis dan serat alam. Beberapa jenis serat sintetis antara lain serat karbon dan serat glass sedangkan serat alam yang sudah diteliti dan berpotensi baik untuk material antara lain serat rami, serat jule, serat sisal, serat lontar, serat pisang, serat abaca, serat widuri dan sebagainya.

Hampir semua serat alam di atas masih diteliti sampai saat ini, termasuk serat kulit batang widuri. Dalam penelitian kali ini, salah satu serat alam yang akan diteliti dan dijadikan material komposit adalah serat widuri. Tanaman widuri selama ini dikenal masyarakat sebagai tanaman yang tidak terlalu bermanfaat bagi manusia, sehingga jarang dibudidayakan. Padahal tanaman ini cukup berpotensi untuk dikembangkan sebagai penghasil serat alam yang bisa menjadi material penguat pada komposit. Selain itu, tanaman widuri sangat cepat pertumbuhannya dan selalu tersedia.

Oleh karena itu penulis tertarik untuk meneliti serat widuri sebagai penguat komposit. Adapun topik penelitian yaitu “Analisis Kegagalan Sambungan Baut Pada Komposit Serat Widuri Akibat Pembebanan Tarik”.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini serat widuri diekstrak dari kulit batang tanaman widuri secara manual. Serat dicuci dan dikeringkan secara alami pada temperatur ruangan, serat yang sudah dicuci dan dikeringkan kemudian direndam dalam larutan alkali (NaOH) selama 1 jam dengan konsentrasi alkali 5%. Serat yang sudah diberi alkali dicuci hingga bersih dan dikeringkan lagi secara alami pada

temperatur ruangan. Serat siap digunakan untuk percetakan komposit.

Untuk proses percetakan komposit dimulai dengan serat dipotong menjadi ukuran 5 mm. Siapkan serat sesuai fraksi volume yaitu 30%. Campurkan resin polyester dan katalis sesuai perhitungan kemudian aduk hingga rata. Siapkan alat cetak yang sudah dioles *wax mirroerglass* lalu tuangkan campuran kedalam cetakan secara merata, kemudian lakukan pengepresan menggunakan alat press. Kemudian biarkan spesimen mengering selama 1 hari hingga kering, setelah itu komposit dikeluarkan dari cetakan untuk dibentuk menjadi spesimen uji. Untuk membuat specimen plat komposit dipotong dengan ukuran 210 x 36 x 5 (mm), Membuat lubang dengan cara dibor, Plat-plat komposit yang sudah dilubangi selanjutnya disambung menggunakan baut 6 mm dan menjadi spesimen uji.

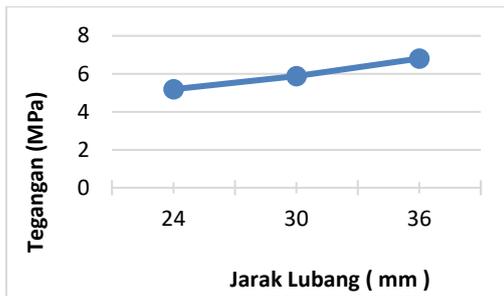
Untuk langkah-langkah pengujian tarik dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- Ukur penampang spesimen yang belum diuji,
- Siapkan mesin uji tarik yang digunakan,
- Masukkan dan setting spesimen uji,
- Pasang spesimen tarik dan pastikan terpasang dengan benar,
- Jalankan mesin uji tarik dan catat pertambahan panjang serta pembebanan yang diberikan oleh mesin uji.
- Setelah putus, hentikan proses operasi mesin.

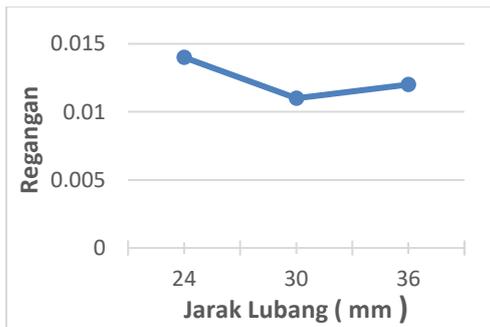
HASIL DAN PEMBAHASAN

Grafik perbandingan nilai tegangan pada masing-masing spesimen.

Gambar 1 menyajikan perbandingan nilai tegangan rata-rata pada masing-masing spesimen dimana terlihat bahwa nilai tegangan pada spesimen dengan jarak lubang 36 mm lebih tinggi dari spesimen dengan jarak lubang 30 mm, dan spesimen jarak lubang 24 mm. Hal ini dapat terjadi karena proses pengeboran lubang.



Gambar 1 Tegangan rata-rata



Gambar 2 Regangan rata-rata

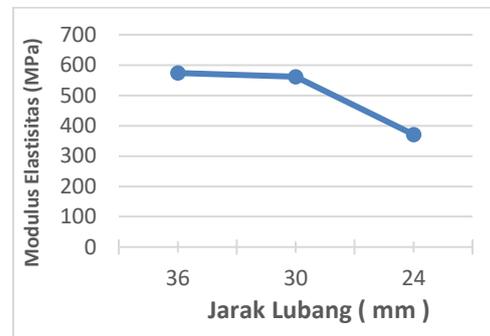
Kebhasilan operasi penyambungan dengan baut sangat bergantung pada kualitas lubang. Lubang yang bebas kerusakan dan presisi harus dibuat pada komponen untuk memastikan kekuatan dan presisi sambungan yang tinggi. Pada proses pelubangan komposit jarak lubang 30 mm dan 24 mm adanya perpecahan aksial (serat/pencabutan matriks) pada daerah lubang yang dibor sehingga menjadi titik awal retakan yang menyebabkan tegangan tarik pada komposit jarak lubang 30 mm dan 24 mm lebih rendah dari komposit jarak lubang 36 mm.

Grafik perbandingan regangan pada masing-masing spesimen

Pada Gambar 2 di atas menyajikan perbandingan nilai regangan rata-rata pada masing-masing spesimen dimana terlihat bahwa spesimen dengan jarak lubang 24 mm memiliki nilai regangan lebih besar daripada spesimen jarak lubang 36 mm dan 30 mm. Spesimen dengan jarak lubang 24 mm memiliki nilai regangan 0,014, jarak lubang 24 mm 0,011, dan jarak lubang 36 mm 0,012.

Dari grafik di atas menunjukkan bahwa makin jauh jarak lubang maka makin kecil nilai regangan.

Grafik perbandingan nilai modulus elastis pada masing masing spesimen

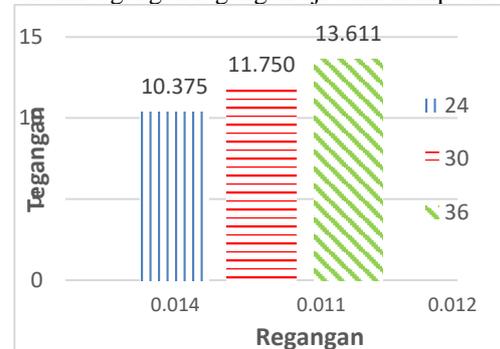


Gambar 3 Modulus elastisitas rata-rata

Modulus Elastisitas menunjukkan kekakuan (*stiffness*) atau ketahanan terhadap deformasi elastis, semakin besar modulus elastisitas maka spesimen akan semakin kaku. Pada grafik di atas menunjukkan bahwa modulus elastisitas tertinggi dimiliki oleh spesimen dengan jarak lubang 36 mm dengan rata-rata 573,9 MPa, dan modulus elastisitas terendah dimiliki oleh spesimen dengan jarak lubang 24 mm dengan rata-rata 371,2 MPa.

Hal ini disebabkan karena spesimen dengan jarak lubang 36 menghasilkan tegangan yang besar dan regangan yang lebih kecil sehingga menghasilkan modulus elastisitas yang lebih besar dari spesimen jarak lubang 30 mm dan 24 mm.

Grafik tegangan regangan uji tarik komposit



Gambar 4 Hubungan tegangan-regangan

Gambar 4 diatas menyajikan perbandingan kekuatan tarik yang dimiliki oleh setiap tipe jarak lubang yang digunakan pada komposit. Terlihat bahwa komposit dengan jarak lubang 36 mm memiliki kekuatan tegangan tarik tertinggi sebesar 6,806 MPa dan nilai regangan tarik sebesar 0,012, komposit dengan jarak lubang 30 mm memiliki kekuatan tegangan tarik maksimum sebesar 5,875 MPa, dan nilai kekuatan regangan tarik sebesar 0,011, dan komposit dengan jarak lubang 24 mm memiliki kekuatan tegangan tarik sebesar 5,188 MPa, dan kekuatan regangan tarik sebesar 0,014. Jika dilihat dari presentase nilai tegangan-regangan pada jarak lubang 36 mm, 30 mm, dan 24 mm, terlihat bahwa semakin besar nilai tegangan maka semakin kecil nilai regangan begitupun semakin kecil nilai tegangan maka semakin besar nilai regangan.

Berdasarkan grafik di atas, peningkatan kekuatan tarik dapat terjadi karena pengaruh jarak lubang komposit. Hal itu dapat dilihat dari komposit dengan jarak lubang 36 mm yang mampu menahan beban lebih besar dari komposit jarak lubang 30 mm dan jarak lubang 24 mm.

Salah satu hal yang mempengaruhi kekuatan uji tarik adalah fabrikasi, lubang di sekitar ujung retak akan mengakibatkan interaksi tegangan yang melibatkan tegangan di ujung retak dan sisi lubang tersebut. Pada jarak yang terlalu dekat pemusatan tegangan bercampur antara ujung retak dan sisi lubang sehingga menyebabkan kekuatan tariknya rendah. Sedangkan apabila jarak lubang terlalu jauh, interaksi antara tegangan diujung retak dan lubang berkurang sehingga adanya lubang tidak mempengaruhi kekuatan tarik maksimum spesimen.

Analisis Kerusakan Spesimen Secara Makro

Dari gambar 5 dapat dilihat bahwa patahan yang terjadi adalah patah getas. Sedangkan kegagalan pada komposit sambungan mekanik diistilahkan sebagai *Tension Failure*. *Tension Failure* yaitu kegagalan atau peristiwa patahan yang cenderung tegak lurus dengan arah beban yang

diterima. Jenis kegagalan ini terjadi karena material tidak mampu lagi menahan beban yang terjadi padanya, dan biasanya material dengan kegagalan seperti ini lebih mampu menahan beban tekan dibanding beban tarik. Selain itu, dalam material komposit serat, jenis patahan ini merupakan akibat dari *debonding* atau kurangnya ikatan *interfacial* antara penguat dan matriks.



Gambar 5 Foto Makro Kerusakan Spesimen Jarak Lubang 36 mm

Dari gambar 5 di atas dapat diketahui bahwa adanya lubang dapat meningkatkan konsentrasi tegangan yang menyebabkan degradasi kekuatan dan memicu kerusakan selama pengujian. Kerusakan seperti ini biasanya diawali dengan timbulnya retak awal karena matriks retak di sekitar lubang dan menjalar sepanjang luasannya. Daerah kerusakan disebabkan oleh *debonding* serat dan matriks pada penghubung yang terletak di sekitar lubang. Akibat pembebanan yang terus terjadi pada spesimen, maka setelah kerusakan awal (retak awal) akan menjalar ke arah pinggir (arah lebar spesimen) dan akhirnya patah atau putus. Dari bentuk patah secara makro, dapat dilihat bahwa permukaan bidang patah cukup banyak (area bergelombang). Hal ini menjelaskan bahwa serat sebagai penguat sudah dapat berfungsi. Jadi penyebab patah karena pembebanan yang terjadi pada spesimen sudah melampaui batasnya.



Gambar 6 Foto Makro Kerusakan Spesimen Jarak Lubang 30 mm

Pada gambar 6 di atas dapat dilihat bahwa mode kegagalan yang terjadi pada

spesimen B1, B3, B4 adalah *tension failure*, sedangkan mode kegagalan yang terjadi pada spesimen B2 adalah *tear out*. *Tear out* merupakan kegagalan yang terjadi akibat delaminasi serat pada saat proses pembuatan lubang. Proses pengeboran lubang yang keras dapat menyebabkan terjadinya beberapa kerusakan laminasi seperti delaminasi, *fiber pull out*, degradasi termal matriks, dan retakan mikro. Delaminasi terjadi ketika pinggiran tajam bor bersentuhan dengan komposit dan gaya pengelupasan yang diarahkan melalui kemiringan mata bor menyebabkan pemisahan lapisan komposit.



Gambar 7 Foto Makro Kerusakan Spesimen Jarak Lubang 24 mm

Pada gambar 7 di atas dapat dilihat bahwa kegagalan yang terjadi adalah *tension failure*, yaitu kegagalan atau peristiwa patahan yang cenderung tegak lurus dengan arah beban yang diterima. Jenis kegagalan ini terjadi karena material tidak mampu lagi menahan beban yang terjadi padanya, dan biasanya material dengan kegagalan seperti ini lebih mampu menahan beban tekan dibanding beban tarik. Selain itu, dalam material komposit serat, jenis patahan ini merupakan akibat dari *debonding* atau kurangnya ikatan *interfacial* antara penguat dan matriks

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian kegagalan sambungan baut pada komposit polyester widuri, adapun kesimpulan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Telah dilakukan uji tarik pada spesimen dengan jarak lubang 36 mm, jarak lubang 30 mm, dan jarak lubang 24 mm diperoleh nilai tegangan tarik tertinggi dimiliki pada spesimen dengan jarak lubang 36 mm

dengan nilai 6,806 MPa, regangan tertinggi dimiliki pada spesimen dengan jarak lubang 24 mm memiliki nilai regangan 0,014, sementara itu untuk nilai modulus Spesimen dengan jarak lubang 36 mm memiliki nilai modulus elastis 0,573 GPa.

- Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa adanya lubang dapat meningkatkan konsentrasi tegangan yang menyebabkan degradasi kekuatan dan memicu kerusakan selama pengujian. Kerusakan seperti ini biasanya diawali dengan timbulnya retak awal karena matriks retak di sekitar lubang dan menjalar sepanjang luasannya. Dari foto makro kegagalan komposit dapat dilihat bahwa ada 2 jenis kegagalan yang terjadi yaitu *net-tension* atau *tension failure* dan juga *tear out*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Bagir, A., & Pradana, G. E. (2008). Pemanfaatan Serat Eceng Gondok Sebagai Bahan Baku Pembuatan Komposit. *Teknik Kimia Universitas Diponegoro*.
- [2]. Bale, J., Adoe, D. G. H., Boimau, K., & Sakera, T. (2018). The tensile strength of mechanical joint prototype of lontar fiber composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 316(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/316/1/012049>
- [3]. Beliu, H. N., Pelle, Y. M., & Jarson, J. U. (2016). Analisa kekuatan tarik dan bending pada komposit widuri - polyester. *Lontar*, 03(02), 11–20.
- [4]. Billmeyer, F. W. (1971). Textbook of Polymer Science. In *Journal of the American Chemical Society* (Vol. 79, Issue 15).
- [5]. Bonded, A., For, J., & Composite, F. (2003). *L. j. hart-smith*. 173–174.
- [6]. Diharjo, K. (2006). Kajian Pengaruh Teknik Pembuatan Lubang Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Hibrid Serat Gelas Dan Serat Karung Plastik.

- Teknoin*, 11(1), 55–64.
<https://doi.org/10.20885/teknoin.vol11.iss1.art4>
- [7]. Diharjo, K. (2008). Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan *Fakultas Teknologi Komposit*. 8 *Jurusan Teknik Mesin, Industri, Universitas Kristen Petra*.
- [8]. Engenharia, F. De. (2010). *Universidade do Porto Multi-material joints for high-speed train structures*.
- [9]. Gibson, R. F. (2007). Principles of Composite Material Mechanics. In *Principles of Composite Material Mechanics*.
<https://doi.org/10.1201/9781420014242>
- [10]. Ludi Hartanto, Hariyanto, A., & Yulianto, A. (2009). Study Perlakuan Alkali Dan Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Bending, Tarik, Dan Impak Komposit Berpenguat Serat Rami Bermatrik Polyester Bqtn 157. *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 1–246.
- [11]. Valášek, P., Müller, M., Šleger, V., Kolář, V., Hromasová, M., D'amato, R., & Ruggiero, A. (2021). Influence of alkali treatment on the microstructure and mechanical properties of coir and abaca fibers. *Materials*, 14(10).
<https://doi.org/10.3390/ma14102636>
- [12]. Widodo, B. (2008). Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoksi dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (Random). *Jurnal Teknologi Technoscientia*, 1(1), 1–5.