

PENGARUH FRAKSI VOLUME KOMPOSIT *HYBRID* DENGAN PENGUAT SERAT RAMI DAN SERAT KARBON BERMATRIK *POLYESTER* TERHADAP KEKUATAN *BENDING* DAN KEKUATAN TARIK

Andhika Gresley Rahmatulloh

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: andhikarahmatulloh@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfai

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Penggunaan komposit saat ini berkembang pesat. Terutama komposit *hybrid* yang memanfaatkan kombinasi serat alam dan serat sintesis sebagai bahan pembuatan sudu turbin. Kebutuhan material bahan yang kuat, murah, mudah didapat, serta ramah lingkungan menyebabkan berkembangnya penggunaan komposit *hybrid* berpenguat serat alam dan serat sintesis. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh fraksi volume komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon bermatrik *polyester* terhadap kekuatan *bending* dan kekuatan tarik. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif. Data yang diperoleh dari eksperimen, dianalisa dengan menggunakan statistik anova tunggal dengan bantuan program SPSS dengan taraf nyata 5% dan dilakukan foto makro untuk mengetahui mekanisme kegagalan pengujian spesimen. Pengujian yang akan dilakukan terhadap spesimen adalah uji *bending* berdasarkan ASTM D 790 dan uji tarik berdasarkan ASTM D 638. Dari hasil penelitian didapat bahwa persentase fraksi volume dari serat rami dan karbon berbanding lurus dengan kekuatan *bending* dan tarik. Pada fraksi volume serat rami 4,5% dan serat karbon 8% didapat kekuatan *bending* dan kekuatan tarik masing-masing sebesar 13,71 MPa dan 24,75 MPa. Mekanisme kegagalan yang terjadi pada komposit *hybrid* akibat pengujian adalah *fiber pull out* dan *delamination*. *Fiber pull out* disebabkan oleh *crack* pada spesimen hingga serat terlepas dari matriknya. *Delamination* disebabkan oleh sifat getas pada matrik saat diberi beban hingga batas maksimum yang mampu diterima.

Kata kunci : komposit *hybrid*, serat rami, fraksi volume, kekuatan *bending*, kekuatan tarik.

Abstract

The use of composites is currently growing rapidly. Especially hybrid composites that utilize a combination of natural fibers and synthetic fibers as a material for making turbine blades. The need for materials that are strong, inexpensive, easy to obtain, and environmentally friendly has led to the development of hybrid composites reinforcing natural and synthetic fibers. The purpose of this study was to determine the effect of volume fraction of hybrid composites with reinforcement of ramie fiber and carbon fiber with a polyester matrix on the bending strength and tensile strength. The research method used is descriptive quantitative. The data obtained from the experiment were analyzed using a single ANOVA statistic with the help of the SPSS program with a real level of 5% and a macro photo was performed to determine the failure mechanism of specimen testing. The tests that will be carried out on the specimen are the bending test based on ASTM D 790 and the tensile test based on ASTM D 638. The results showed that the percentage volume fraction of ramie fiber and carbon was directly proportional to the bending and tensile strength. In the volume fraction of 4.5% ramie fiber and 8% carbon fiber, the bending strength and tensile strength were 13.71 MPa and 24.75 MPa, respectively. The failure mechanisms that occur in hybrid composites due to testing are fiber pull out and delamination. Fiber pull out is caused by cracking in the specimen until the fibers are released from the matrix. Delamination is caused by the brittle nature of the matrix when it is loaded to the maximum acceptable limit.

Keywords : hybrid composite, ramie fiber, volume fraction, bending strength, tensile strength.

PENDAHULUAN

Upaya untuk mengatasi krisis energi adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dengan cara memanfaatkan sumber energi alternatif. Energi alternatif yang dapat digunakan adalah energi angin. Angin merupakan salah satu sumber energi yang dapat

diperbaharui. Pada awal 2000, angin mulai menjadi sumber energi pembangkit tenaga listrik yang diminati. (Sriyono, 2016)

Kapasitas energi listrik yang dihasilkan dari turbin angin yang telah dibangun diseluruh dunia pada tahun 2013 adalah 318.105 MW. Turbin angin merupakan penghasil energi terbarukan dengan memanfaatkan angin sebagai sumber energi, hal ini mendorong para ilmuwan

untuk menciptakan turbin angin yang dapat menghasilkan daya listrik yang besar. Turbin angin tidak terlepas dari beberapa komponen penting salah satunya adalah sudu turbin atau *wind blade*. (Sriyono, 2016)

Sudu turbin angin pada awalnya dibuat dari kayu, tetapi karena kepekaan terhadap kelembaban dan biaya pengolahan, bahan modern seperti kaca diperkuat serat-plastik/*glass fiber reinforced plastic* (GFRP), baja dan aluminium yang menggantikan unit kayu tradisional. Pada akhir abad ke-19, kayu diganti dengan lembaran tipis dari baja galvanis dan dilakukan penelitian tentang perilaku logam untuk aplikasi turbin angin. Baja paduan menjadi pilihan yang optimal untuk sudu turbin, tapi segera ditinggalkan karena berat dan tingkat kelelahan rendah. Bahan aluminium digunakan tetapi menghadapi masalah seperti ketahanan lelah rendah dan biaya tinggi. Kemudian bahan yang paling banyak digunakan untuk sudu turbin angin disebut komposit, lebih khusus komposit matriks polimer/*polymer matrix composite* (PMC). Komposit ini disusun dari 2 bagian; matriks dan serat, kedua bagian gabungan membentuk bahan yang berguna untuk aplikasi sudu turbin *national advisory committee for aeronautics* (NACA) 4412. (Sriyono, 2016)

Komposit sebenarnya telah dikenal sejak dulu, tetapi baru tahun 1960-an komposit mendapat perhatian dari dunia industri karena karakteristiknya mudah direkayasa. Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, dimana sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda. Dikarenakan karakteristik materialnya berbeda-beda, maka akan dihasilkan material baru yaitu komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya (Jones, R.M. 1999)

Serat pada komposit berfungsi sebagai bagian yang menahan beban, sehingga besar kecilnya kekuatan komposit sangat tergantung pada kekuatan serat pembentuknya (Jonathan Oroh, 2013). Selama matrik mengikat serat dengan baik, semakin besar kandungan serat semakin besar pula kekuatan kompositnya. Semakin banyak serat maka gaya yang diterima serat semakin kecil sehingga kekuatan yang mampu ditahan akan semakin besar (Budi Rahman, Bambang Riyanta, 2011).

Serat karbon merupakan material penyusun komposit. Komposit berpenguat karbon merupakan jenis material komposit yang menggunakan serat karbon sebagai penyusunnya dikarenakan memiliki sifat yang sangat kuat namun ringan. Material komposit berpenguat serat karbon ini biasanya diaplikasikan pada pembuatan bahan material yang membutuhkan massa ringan, pembuatan bodi pada MotoGP maupun F1 merupakan dua contohnya. Akan tetapi serat karbon memiliki harga yang relatif tinggi. Dengan demikian penggabungan serat sintetis dengan serat alam untuk menutupi kekurangan masing-masing serat agar memiliki sifat yang ramah lingkungan, dapat diperbaharui, sifat mekanis yang lebih baik, dan lebih terjangkau.

Indonesia adalah negara yang kaya akan sumber daya alam, salah satunya adalah serat alam yang berpotensi untuk dikembangkan ke dalam bahan komposit seperti serat rami. Tanaman rami (*Boehmeria Nivea*) adalah sumber bahan baku serat tekstil alam tumbuh-tumbuhan,

sebagaimana halnya dengan serat kapas, linin (*flax*) dan sejenisnya tapi kini telah dikembangkan untuk berbagai kegunaan yaitu sebagai bahan pembuat baju anti peluru. Bahkan sekarang ini serat rami dipakai untuk pembuatan dinding badan pesawat, tabung gas, maupun kaki palsu. Serat rami adalah contoh material *natural fiber* atau serat yang berasal dari alam. Serat rami digunakan sebagai *fiber* karena sifat fisis dan mekanis di dalamnya yang mendukung terjadinya sifat baru yang lebih baik apabila dikombinasikan dengan material lain. Hal lain dari pemanfaatan serat rami adalah mengurangi pencemaran lingkungan (*biodegradability*) karena biasanya tidak terpakai setelah dipanen dan faktor-faktor ekonomis yaitu ketersediaan bahan baku serat alam yang cukup melimpah disekitar kita. (Dempsey, 1975).

Pengaplikasian komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon dapat diaplikasikan pada material pembuatan sudu turbin angin. Sebelumnya, sudu turbin angin terbuat dari baja paduan, tapi segera ditinggalkan karena berat dan tingkat kelelahan rendah. Bahan aluminium juga pernah dipakai, namun muncul permasalahan baru yakni ketahanan lelah rendah serta biaya yang tinggi. Sedangkan kelelahan pada sudu turbin angin dapat timbul akibat menerima beban tekuk, beban tarik, beban tekan dan beban lentur pada porosnya. Pada penelitian sebelumnya telah dibuat sudu turbin angin berbahan material komposit serat rami dengan *core* kayu sengon laut bermatrik *epoxy* dan diuji terhadap kekuatan *bending* dan kekuatan tarik. Kekuatan *bending* dan kekuatan tarik terbesarnya masing-masing senilai 5,08 MPa dan 27,13 MPa dan dikatakan memenuhi syarat untuk digunakan sebagai material pembuatan sudu turbin angin. Maka dari itu pengujian tarik dan *bending* perlu dilakukan untuk mengetahui kekuatan komposit *hybrid*.

Dalam penelitian ini penulis menggunakan serat karbon karena serat karbon mempunyai sifat ringan namun sangat kuat. Penggunaan komposit *hybrid* yaitu dengan mengombinasikan dua atau lebih serat dalam satu susunan komposit. Dalam masalah ini, cara yang sangat menguntungkan adalah dengan menggabungkan serat alam dengan serat sintetis yang diyakini akan menghasilkan produk komposit yang kuat, murah, dan ramah lingkungan.

Komposisi antara matrik, serat rami dan serat karbon merupakan penentu dalam memberikan karakteristik kekuatan bahan komposit *hybrid* yang dihasilkan. Perbandingan antara resin *polyester* dengan serat dan perbandingan serat rami dengan serat karbon dapat ditunjukkan dalam bentuk perhitungan fraksi volume. Timbul suatu pemikiran mengenai penelitian komposit *hybrid* dengan penguat serat karbon dan serat rami dengan variasi komposisi fraksi penguat yang berbeda, dengan menggunakan variasi fraksi volume serat untuk mendapatkan kekuatan tarik dan kekuatan *bending* yang lebih baik. Untuk mendapatkan kekuatan tarik dan kekuatan *bending* yang lebih baik dari komposit *hybrid*, maka dilakukan pengujian tarik dan pengujian *bending*.

Penelitian yang akan dilakukan berdasar dari permasalahan tersebut, dengan menggunakan perbandingan fraksi volume serat serta pengujian kekuatan *bending* komposit dan kekuatan tarik komposit untuk

mengetahui komposisi terbaik dari komposit *hybrid*. Dalam penelitian ini digunakan bahan utama dengan matrik resin *polyester* dan penguat serat rami dan serat karbon.

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah:

- Bagaimana pengaruh persentase fraksi volume komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon bermatrik *polyester* terhadap kekuatan *bending*?
- Bagaimana pengaruh persentase fraksi volume komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon bermatrik *polyester* terhadap kekuatan tarik?
- Bagaimana mekanisme kegagalan pengujian spesimen yang terjadi pada perbedaan fraksi volume komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon bermatrik *polyester* akibat dari uji tarik dan uji *bending*?

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Untuk mengetahui pengaruh persentase fraksi volume komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon bermatrik *polyester* terhadap kekuatan *bending*.
- Untuk mengetahui pengaruh persentase fraksi volume komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon bermatrik *polyester* terhadap kekuatan tarik.
- Untuk mengetahui mekanisme kegagalan pengujian spesimen yang terjadi pada perbedaan fraksi volume komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon bermatrik *polyester* akibat dari uji tarik dan uji *bending*.

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan manfaat diantaranya sebagai berikut:

- Bagi bidang akademik, diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi atau masukan untuk penelitian selanjutnya.
- Bagi penulis, menambah beberapa wawasan tentang proses pembuatan komposit, kekuatan komposit, sifat mekanis komposit berdasarkan komposisinya, dan kegagalan produk komposit.
- Bagi industri, diharapkan dapat dijadikan rujukan atau referensi penggunaan serat alam dalam pengaplikasian produk komposit.
- Bagi umum, diharapkan dapat memberikan hasil kekuatan *bending* dan kekuatan tarik dari komposit *hybrid* dengan penguat serat karbon dan serat rami bermatrik *polyester*, sehingga dapat menambah literatur penelitian dari bahan komposit.

METODE

Jenis Penelitian

Jenis penelitian adalah penelitian eksperimen.

Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu menggunakan resin *Unsaturated Polyester Yukalac 157 BQTN-EX*, menggunakan katalis *Methyl Ethyl Keton Peroxide* (MEKPO) serta menggunakan serat rami dan serat karbon.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di beberapa tempat. Pembuatan spesimen komposit *hybrid* dilakukan di Laboratorium Fabrikasi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya. Pengujian kekuatan *bending* dan kekuatan tarik dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya – Malang.

Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Mei 2019 – Juli 2019.

Variabel Penelitian

➤ Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variabel yang mempengaruhi atau yang menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2016:39). Variabel bebas dalam penelitian ini adalah komposisi serat dan matrik *polyester* yang ditentukan dengan perhitungan fraksi volume serat dengan matrik sebesar 9,5:90,5, 11:89, dan 12,5:87,5 (% volume).

➤ Variabel Terikat

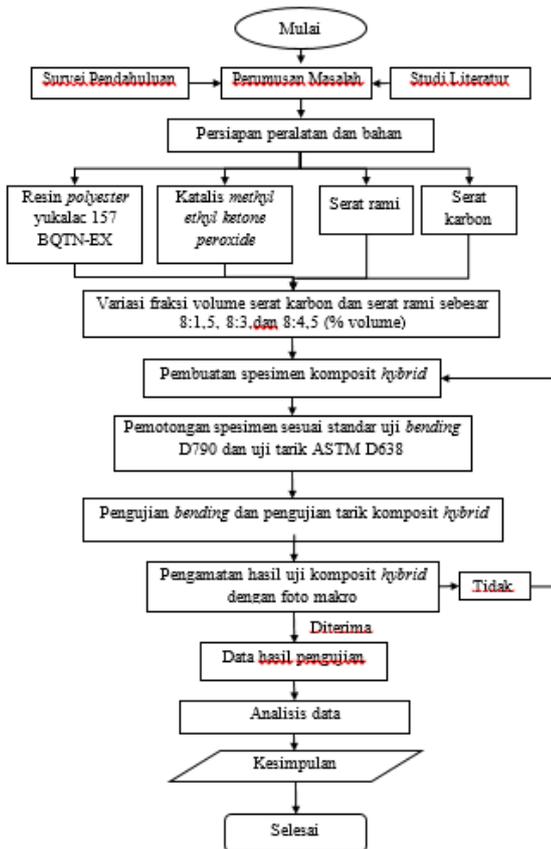
Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2016:39). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah hasil dari nilai kekuatan *bending* dan kekuatan tarik komposit *hybrid*.

➤ Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel bebas (*independent*) terhadap variabel terikat (*dependent*) tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti (Sugiyono, 2016:41). Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:

- a. Proses manufaktur pembuatan komposit *hybrid* dalam cetakan.
- b. Proses pembuatan spesimen dengan metode *hand lay up* dan *press mold*, pada metode *press mold* bahan komposit dilakukan selama 24 jam.
- c. Diameter dan ukuran serat.
- d. Fraksi volume serat karbon 8% setiap spesimen
- e. Variasi susunan lamina komposit *hybrid* acak anyam.

Rancangan Penelitian



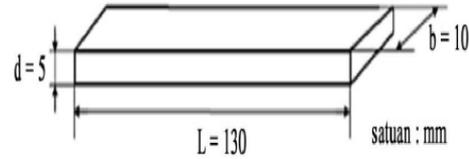
Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Peralatan, Bahan, dan Instrumen Penelitian

- **Peralatan**
Peralatan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:
 - Cetakan
 - Gergaji potong
 - Gerinda duduk
 - Kacamata
 - Masker
 - Spidol
 - Gunting
- **Bahan**
Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut:
 - Serat Rami
 - Serat Karbon
 - Resin Polyester Yukalac 157 BQTN-EX
 - Katalis Methyl Ethyl Keton Peroxide (MEKPO)
 - Maximum Mold Release Wax
- **Instrumen Penelitian**
Instrumen penelitian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - Timbangan Digital
 - Gelas Ukur
 - Jangka Sorong
 - Universal Testing Machine (UTM)

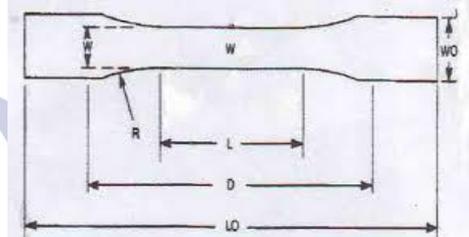
Ukuran Spesimen

Untuk pengujiian *bending* menggunakan standart ASTM D 790



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji *Bending*

Untuk pengujian tarik menggunakan standart ASTM D 638



Gambar 3. Dimensi Spesimen Uji Tarik

Tabel 1. Ukuran Spesimen Uji Tarik ASTM D 638 T = 5mm

Dimensi	Panjang (mm)	Toleransi (mm)
W : width of narrow section	13	± 0,5
Wo : width of overall	19	± 0,5
Lo : length of overall	165	No max
G : gage length	50	± 0,25
D : distance between grips	115	± 5
R : radius of fillet	76	± 1

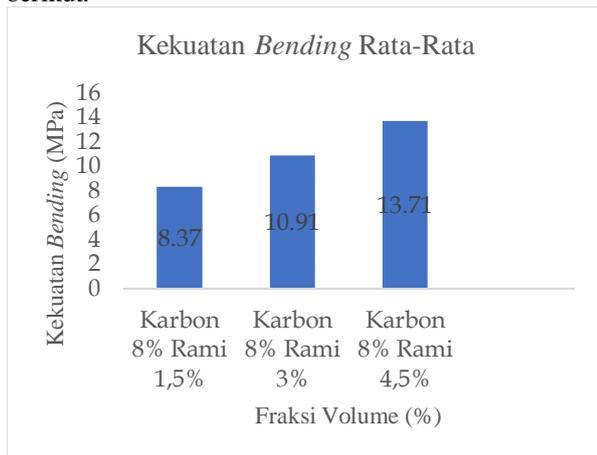
Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisa dengan menggunakan statistik anova tunggal dengan bantuan program SPSS dengan taraf nyata 5%. Dalam penggunaan anova ada beberapa syarat atau asumsi yang harus dipenuhi yaitu : sampel tidak saling berhubungan, data masing-masing kelompok berdistribusi normal, dan variabel antar kelompoknya harus homogen. Maka dilakukan uji persyaratan analisis sebagai berikut.

1. Uji Normalitas
2. Uji Homogenitas
3. Uji T

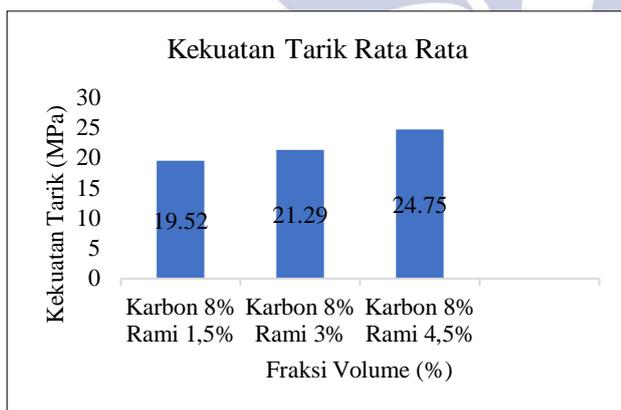
HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan uji *bending* didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 4. Diagram Kekuatan *Bending* Rata-Rata

Dari gambar 4 diatas dapat kita ketahui bahwa masing-masing kelompok uji *bending* memiliki beberapa perbedaan berdasarkan dari rata-rata hasil pengujian *bending* komposit. Kekuatan *bending* tertinggi yaitu pada fraksi volume serat rami 4,5% dan serat karbon 8% dengan rata-rata kekuatan *bending* sebesar 13,71 MPa, sedangkan komposit *hybrid* yang memiliki kekuatan *bending* terendah yaitu pada fraksi volume serat rami 1,5% dan serat karbon 8% dengan rata-rata kekuatan *bending* sebesar 8,37 MPa. Pada fraksi volume serat rami 3% dan serat karbon 8% memiliki kekuatan *bending* rata-rata sebesar 10,91 MPa.



Gambar 5. Diagram Kekuatan Tarik Rata-Rata

Dari gambar 5 hasil pengujian tarik dapat kita ketahui bahwa masing-masing kelompok uji tarik memiliki beberapa perbedaan berdasarkan dari rata-rata hasil pengujian tarik komposit. Kekuatan tarik tertinggi yaitu pada fraksi volume serat rami 4,5% dan serat karbon 8% dengan rata-rata kekuatan tarik sebesar 24,75 MPa, sedangkan komposit *hybrid* yang memiliki kekuatan tarik terendah yaitu pada fraksi volume serat rami 1,5% dan serat karbon 8% dengan rata-rata kekuatan tarik sebesar 19,52 MPa. Pada fraksi volume serat rami 3% dan serat karbon 8% memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar 21,29 MPa.



Gambar 6. Penampang Spesimen 1,5%+8% Akibat Uji *Bending*

Dapat dilihat pada gambar 6 menunjukkan bahwa bentuk penampang patahan pada sampel uji *bending* dengan fraksi volume serat karbon 8% dan serat rami 1,5% terdapat *fiber pull out* akibat terjadi *crack* pada matrik sehingga serat lepas dari matriknya. Sementara *delamination* terjadi akibat ikatan homogen antara serat dan matrik, sehingga matrik yang cenderung bersifat getas mengalami pecah menjadi pecahan kecil-kecil dan terlepas dari serat.



Gambar 7. Penampang Spesimen 1,5%+8% Akibat Uji Tarik

Dapat dilihat pada gambar 4.4 menunjukkan bahwa spesimen pada fraksi volume serat karbon 8% dan serat rami 1,5% mengalami *fiber pull out* akibat matrik kurang kuat dalam mengikat serat karbon. Spesimen juga mengalami *delamination*, yakni lapisan antar serat dan matrik komposit mengalami kerusakan berupa pecahan kecil dan pecahan tersebut terlepas dari serat. Hal ini dikarenakan ikatan antara matrik dan serat yang homogen, sehingga matrik tidak terlepas dari serat, namun matrik mengalami pecah karena beban yang diterima melampaui batas kekuatannya.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis data dari pengujian *bending* dan pengujian tarik komposit *hybrid* berpenguat serat rami dan serat karbon dengan matrik *polyester*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Pengaruh persentase fraksi volume komposit *hybrid* antara serat rami dan serat karbon dengan matrik *polyester* terhadap kekuatan *bending* dibuktikan dengan hasil uji T (dimana $t_{hitung} > t_{tabel}$ dan nilai signifikansi $< 0,05$) dan hasil uji kekuatan *bending* pada fraksi volume serat rami 1,5 % dan serat karbon 8% sebesar 8,37 MPa, pada fraksi volume serat rami 3% dan serat karbon 8% sebesar 10,91 MPa, dan pada fraksi volume serat rami 4,5% dan serat karbon 8%

sebesar 13,71 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa persentase fraksi volume berbanding lurus dengan kekuatan *bending*.

- Pengaruh persentase fraksi volume komposit *hybrid* antara serat rami dan serat karbon dengan matrik *polyester* terhadap kekuatan tarik dibuktikan dengan hasil uji T (dimana $t_{hitung} > t_{tabel}$ dan nilai signifikansi $< 0,05$) dan hasil uji kekuatan tarik pada fraksi volume serat rami 1,5 % dan serat karbon 8% sebesar 19,52 MPa, pada fraksi volume serat rami 3% dan serat karbon 8% sebesar 21,29 MPa, dan pada fraksi volume serat rami 4,5% dan serat karbon 8% sebesar 24,75 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa persentase fraksi volume berbanding lurus dengan kekuatan tarik.
- Mekanisme kegagalan yang terjadi pada komposit *hybrid* akibat pengujian yaitu *fiber pull out* dan *delamination*. Penyebab *fiber pull out* adalah terjadinya *crack* pada specimen hingga serat terlepas dari matriknya. Penyebab *delamination* adalah sifat getas pada matrik saat diberi beban hingga melebihi batas maksimum yang bisa diterima.

Saran

Saran dalam penelitian pengaruh fraksi volume komposit *hybrid* dengan penguat serat rami dan serat karbon bermatrik *polyester* terhadap kekuatan *bending* dan kekuatan tarik adalah sebagai berikut:

- Perlu penelitian lebih lanjut dengan variasi persentase fraksi volume lebih dari 10% agar didapat hasil yang lebih variatif.
- Untuk spesimen uji tarik, usahakan hasil cetakan lurus (tidak melengkung) agar proses uji semakin mudah dan hasil yang didapat lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akovali, G. 2001. *Handbook of Composite Fabrication*. Smithers Rapra Technology.
- ASTM. D 638-02. *Standard test Method for tensile properties of plastics*. Philadelphia, PA : American Society for Testing and Materials.
- ASTM. D 790 – 02. *Standard test methods for flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulating material*, Philadelphia, PA : American Society for Testing and Materials.
- Callister D.W. 2007. *Materials Science and Engineering An Introduction*, United States of America.
- Chawla, K.K. 1987. *Composite materials, First Ed*. Berlin. New York: Springer-Verlag Inc.
- Dempsey, J.M. 1975. *Fibre crops*. A University of Florida Book. The University Presses of Florida Gainesville.
- Gay, D. S.V. Hoa., dan S.W. Tsai. 2003. *Composite Materials Design and Applications*, CRC Press LLC, USA.
- Gibson, R. F. 1994. *Principle Of Composite Material Mechanic*, McGraw-Hill International Book Company, New York.
- Hariyanto, A. PI Purboputro. 2011. *Analisis Sifat Tarik dan Impak Komposit Serat Rami dengan Perlakuan Alakli dalam Waktu 2, 4, 6, dan 8 Jam Bermatrik Poliester*. 18(02):64-75
- Hariyanto, A. 2017. *Rekayasa Bahan Komposit Sandwich Hibrid Untuk Struktur Sistem Panel*. 18(01):34-43
- Jones, R.M., 1975, *Mechanis Of Composite Materials*, Hemisphere Publishing Co.,New York.
- Jones, R.M. 1999. *Mechanics of Composite Materials Second Edition*, Blacksburg: Taylor & Francis.
- Kaw, Autar K. 2006. *Mechanics of Composite Material 2nd Ed*. United States of America: Taylor and Francis Group.
- Lumintang, RCA., R Soenoko., dan S Wahyudi. 2011. *Komposit Hibrid Polyester Berpenguat Serbuk Batang dan Serat Sabut Kelapa*. 2(2):145-153
- Oroh, J. 2013. *Analisis Sifat Mekanik Material Komposit dengan Menggunakan Serat Sabut Kelapa* [skripsi]. Manado (ID): Universitas Sam Ratulangi.
- Rahman, M.Budi Nur dkk. 2011. *Pengaruh Fraksi Volume Serat dan Lama Perendaman Alkali terhadap Kekuatan Impak Komposit Serat Aren-Polyester*. 14(01):26-32
- Sallal, HA. 2017. *The Effect Of The Hybrid Additions on the Bending and Tensile Behavior for the Hybrid Composite Material Reinforced by Short Fibers and the Zeolite Particles by Multifarious Grain Size*. 20(01):113-119
- Sriyono. 2016. *Pengembangan Komposit Serat Alam Rami dengan Core Kayu Sengon Laut untuk Aplikasi Sudu Turbin Angin*. 10(02):45-55
- Stark, N. M., R.E Rowlands. 2002. *Effect of Wood Fiber Characteristics on Mechanical Properties of Wood-Polypropylene Composite*, Wood and Fiber Science, 35(2).
- Subagia, A. 2015. *Studi Eksperimen Sifat Mekanis Hibrid Komposit Epoxy dengan Penguat Serat Karbon dan Serat Basalt pada Beban Tarik*. Dalam: Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XIV (SNTTM XIV), 7-8 Oktober
- Sugiyono. (2014). *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2016). *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: CV Alfabeta.