

## ANALISIS KEKUATAN TARIK BAHAN KOMPOSIT MATRIKS RESIN BERPENGUAT SERAT ALAM DENGAN BERBAGAI VARIAN TATA LETAK

Oleh:

Muhamad Muhajir, Muhammad Alfian Mizar, Dwi Agus Sudjimat  
Jurusan Pendidikan Teknik Mesin-FT, Universitas Negeri Malang.

**Abstrak.** Komposit merupakan sejumlah sistem multi fasa sifat gabungan, yaitu gabungan antara bahan matriks atau pengikat dengan penguat. Dari penggabungan tersebut akan menghasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanis dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya, sehingga dapat direncanakan suatu material komposit yang diinginkan. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode kuantitatif dengan rancangan penelitian eksperimental yang dilakukan penelitian di laboratorium. Objek penelitian berupa serat alam (ijuk) yang dipilih karena melimpahnya sumber daya alam tersebut. Spesimen matriks resin dibuat dengan standar ASTM D 638 M-84 dengan bahan resin epoksi dan katalis menggunakan metode pengecoran. Teknik pengumpulan data yang digunakan adalah teknik pengujian laboratorium. Instrumen yang digunakan berupa lembar pencatatan. Teknik analisis data yang digunakan adalah teknik ANOVA menggunakan bantuan SPSS. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan kekuatan tarik komposit tertinggi dengan tata letak random sebesar  $3,38 \text{ kgf/mm}^2$  dan perpanjangan sebesar  $0,38 \text{ mm}$ , Cross sebesar  $3,03 \text{ kgf/mm}^2$  dan perpanjangan sebesar  $0,86 \text{ mm}$ , continuous sebesar  $2,24 \text{ kgf/mm}^2$  dan perpanjangan sebesar  $1,03 \text{ mm}$ , woven sebesar  $1,64 \text{ kgf/mm}^2$  dan perpanjangan sebesar  $0,64 \text{ mm}$ . Bentuk patahan menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik mengalami patahan getas, karena ujung patahan terdapat patahan  $90^\circ$  dan kasar, adanya mekanisme fiber pull out, Hal ini menunjukkan lemahnya ikatan antara serat dan matrik karena serat mengandung lapisan seperti lilin (lignin dan kotoran lainnya) yang menghalangi ikatan interface antara serat dengan matrik, sedangkan ada yang tidak terlalu menunjukkan fiber pull out, karena ikatan interface antara serat dan matrik kurang kuat dan ada yang tidak menunjukkan terjadi fiber pull out, karena ikatan interface antara serat dan matrik sangat kuat. Hal ini membuktikan bahwa jenis tata letak serat penguat juga berpengaruh besar terhadap bahan komposit.

**Kata Kunci:** kekuatan tarik, komposit, resin, ijuk

Pada saat ini komposit dengan bahan penguat serat sintetis telah digunakan dalam berbagai aspek kehidupan, baik dari segi penggunaan, maupun teknologinya. Penggunaannya tidak terbatas pada bidang otomotif saja, namun sekarang sudah merambah ke bidang-bidang lain seperti rumah tangga dan industri. Namun, penggunaan serat sintetis sebagai penguat komposit memiliki dampak negatif pada lingkungan karena limbahnya tidak dapat terurai secara alami dan dapat mengganggu hingga

beberapa generasi. Penggunaan serat alami sebagai penguat komposit merupakan langkah bijak, mengingat untuk serat alami dapat terurai secara alami dan banyak ragam serat alami yang tersedia misalnya serat goni, serat nanas-nanas, serat ijuk dan serat sabut kelapa dsb.

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material pembentuknya melalui campuran yang tidak homogen, dimana sifat mekanik dari masing-masing material pembentuknya

berbeda (Matthews & Rawlings, 1994). Bahan komposit pada umumnya terdiri dari dua unsur, yaitu serat (*fiber*) sebagai bahan pengisi dan matriks sebagai bahan pengikat serat. Dari campuran tersebut akan dihasilkan material komposit yang mempunyai sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material pembentuknya.

Dalam perkembangannya, serat yang digunakan tidak hanya serat sintetis (*fiberglass*) tetapi juga serat alami (*natural fiber*). Menurut Munandar, (2013:52) “Komposit serat alam memiliki keunggulan lain bila dibandingkan dengan serat gelas, komposit serat alam sekarang banyak digunakan karena jumlahnya banyak, lebih ramah lingkungan karena mampu terdegradasi secara alami, harganya pun lebih murah dibandingkan serat gelas”. Serat yang dihasilkan dari pohon aren memiliki banyak keistimewaan diantaranya: tahan lama, tahan terhadap asam dan garam air laut, dan memperlambat pelapukan kayu serta mencegah serangan rayap tanah (Mahmuda, 2013).

Kelemahan serat alami di antaranya ukuran serat yang tidak seragam usia serat sangat mempengaruhi kekuatannya. Semakin kecil diameter serat maka kekuatan tariknya besar, karena rongga pada serat kecil dan ikatan antar molekulnya banyak sehingga kekuatannya kuat. Semakin besar diameter maka kekuatan tariknya kecil, karena rongga pada serat besar dan ikatan molekulnya sedikit sehingga kekuatan tariknya rendah (Munandar, 2013). Pengembangan serat alami sebagai penguat material komposit ini sangat baik mengingat ketersediaan bahan baku serat alami di Indonesia cukup melimpah. Penghasilan serat ijuk yang begitu banyak, potensinya sangatlah bagus untuk diolah menjadi bahan penguat pada komposit karena dapat meningkatkan daya

guna serat ijuk tersebut sehingga dapat menambah *profit* untuk petani ijuk.

Pengembangan industri komposit di Indonesia dengan mencari bahan komposit alternatif yang lain harus digalakkan, guna menunjang permintaan komposit di Indonesia yang semakin besar. Selama ini perkembangan komposit di Indonesia masih diarahkan dengan bahan-bahan sumber daya alam *non renewable* (tidak dapat diperbarui kembali) yang berasal dari galian bumi seperti gelas, karbon, aramid. Untuk itu perlu dikembangkan bahan baku material penguat komposit yang ramah lingkungan, seperti natural fibre. Bahan komposit natural fibre banyak terdapat di Indonesia misalnya dengan pemanfaatan serat bambu, serat nanas, serat tebu, serat pisang, ijuk dsb. Bahan alternatif tersebut nantinya harus berorientasi pada harga yang murah, jumlah yang melimpah, kualitas yang tinggi serta ramah lingkungan.

Dalam penelitian ini serat ijuk diharapkan dapat menjadi bahan baku alternatif sebagai serat penguat komposit, karena populasi tanaman pohon aren sangat besar. Indonesia merupakan salah satu negara penghasil serat ijuk di dunia dengan kapasitas 164389 ton/tahunnya dan provinsi Lampung menghasilkan serat ijuk sebesar 2004 ton/tahun. Adapun aplikasi dari komposit matriks resin berpenguat serat alam (ijuk) ini untuk alternatif pembuatan perahu di Indonesia.

## METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan termasuk metode penelitian deskriptif kuantitatif. Metode penelitian deskriptif kuantitatif merupakan penelitian dasar yang menggambarkan fenomena baik yang bersifat alamiah ataupun rekayasa manusia (Sukmadinata,

2012: 72). Penelitian ini termasuk deskriptif kuantitatif yang bersifat eksperimental, yaitu suatu penelitian dimana peneliti sengaja membangkitkan timbulnya suatu kejadian atau keadaan, kemudian diteliti bagaimana akibatnya. Dengan kata lain, eksperimen adalah suatu cara untuk mencari hubungan sebab akibat (hubungan kausal) antara beberapa faktor yang sengaja ditimbulkan oleh peneliti dengan mengeliminasi atau mengurangi atau menyisihkan secara ketat (Arikunto, 2010:9).

Variabel ialah sesuatu yang berkaitan yang berbeda atau bervariasi, penekanan kata sesuatu diperjelas dalam definisi kedua simbol atau konsep yang diasumsikan sebagai seperangkat nilai-nilai Sarwono (2006: 53). Objek penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah komposit resin dengan serat penguat ijuk. Serat ijuk dibersihkan dengan sisir kawat yang berfungsi untuk memisahkan serat dengan pelepahnya. kemudian serat dibersihkan dengan cara di rendam dengan air bersih. Kemudian serat direndam dalam larutan alkali 5% NaOH. Kemudian dibentuk dengan spesimen ASTMD 638M-84. Instrumen penelitian (pengumpulan data) yang dilakukan sesuai dengan banyaknya pengujian yang dilakukan. Instrumen penelitian yang digunakan adalah lembar observasi yang berisi data angka.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

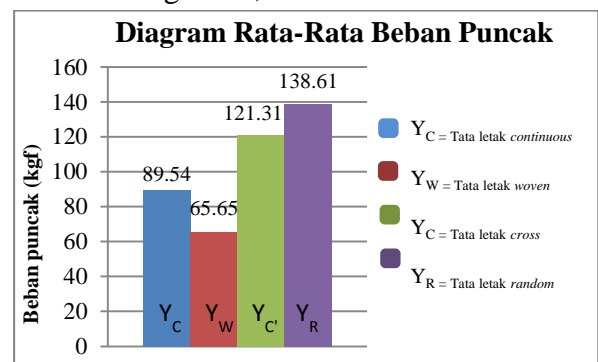
Data yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa data kuantitatif (angka) yang meliputi data hasil pengujian kekuatan tarik, beban puncak, perpanjangan, dan rata-rata (*mean*) dari masing-masing pengujian spesimen berbagai data tersebut dideskripsikan sebagai berikut.

Hasil dari dua belas pengujian kekuatan tarik tersebut diambil hasil rata-rata. Nilai kekuatan tarik bahan pada spesimen merupakan hasil rata-rata pengujian kekuatan tarik pada dua belas benda tersebut. Benda yang digunakan untuk setiap pengujian kekuatan tarik yaitu tiga buah spesimen. Pengujian kekuatan tarik yang menggunakan standar ASTM D 638M-84 terdapat beberapa tabel dan diagram rata-rata yang berhubungan dengan kekuatan tarik yakni beban maksimum, kekuatan tarik, dan perpanjangan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini.

**Tabel 1 Rata-rata pengujian tarik**

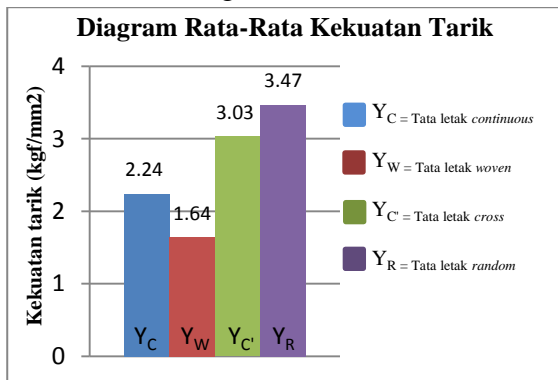
No.	Spesimen	Data Rata-Rata Pengujian Tarik		
		Beban puncak (kgf)	Kekuatan tarik (kgf/mm <sup>2</sup> )	Perpanjangan (mm)
1.	<i>Y<sub>Continuous</sub></i>	89,54	2,24	1,03
2.	<i>Y<sub>Woven</sub></i>	65,65	1,64	0,64
3.	<i>Y<sub>Cross</sub></i>	121,36	3,03	0,86
4.	<i>Y<sub>Random</sub></i>	138,61	3,46	0,88

Dari Tabel 1 di atas terlihat bahwa beban puncak, kekutan tarik dan perpanjangan rata-rata yang terdapat dalam komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak mengalami perbedaan yang signifikan. Sedangkan untuk beban puncak, kekuatan tarik dan perpanjangan rata-rata disajikan pada Gambar diagram 1, 2 dan 3 di bawah ini.



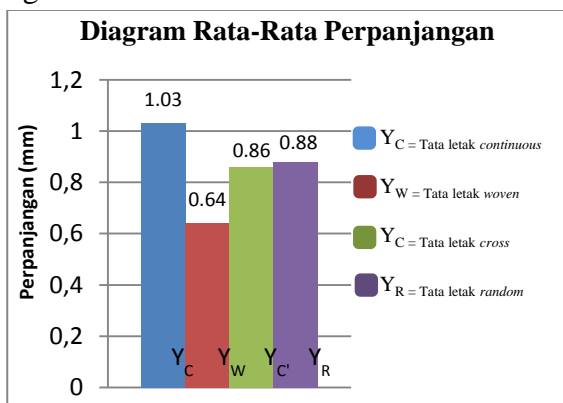
**Gambar 1 Diagram Rata-Rata Beban Puncak**

Dari Gambar 1 dapat dilihat hasil pengujian tarik memiliki angka rata-rata kekuatan beban puncak dengan tata letak *continuous* sebesar 89,54 kgf, tata letak *woven* sebesar 65,65 kgf, tata letak *cross* sebesar 121,31 kgf, dan tata letak *random* sebesar 138,61 kgf.



Gambar 2 Diagram Rata-Rata Kekuatan Tarik

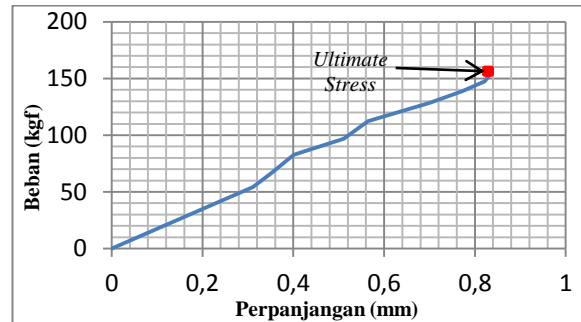
Dari Gambar 2 dapat dilihat hasil pengujian tarik memiliki angka rata-rata kekuatan tarik tata letak *continuous* sebesar 2,24 kgf/mm<sup>2</sup>, tata letak *woven* sebesar 1,64 kgf/mm<sup>2</sup>, tata letak *cross* sebesar 3,03 kgf/mm<sup>2</sup> dan tata letak *random* sebesar 3,46 kgf/mm<sup>2</sup>.



Gambar 3 Diagram Rata-Rata Perpanjangan

Dari Gambar 3 dapat dilihat hasil pengujian tarik memiliki angka rata-rata perpanjangan tata letak *continuous* sebesar 1,03 mm, tata letak *woven* sebesar 0,64 mm, tata letak *cross* sebesar 0,86 mm dan tata letak *random* sebesar 0,88 mm.

Adapun hasil pengujian tarik grafik paling baik komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan tata letak *random* disajikan pada Gambar 4 di bawah ini:



Gambar 4 Grafik Hasil Pengujian Tarik Pencetakan Resin Berpenguat Serat Alam dengan Tata Tetak *Random*

Dari Gambar 4 di atas menunjukkan beban puncak sebesar 147,35 kgf dan perpanjangan sebesar 0,83 mm hasil pengujian tarik resin berpenguat serat alam dengan tata letak *random*.

Komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan tata letak *random* mampu menahan tegangan tarik paling bagus dibandingkan komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan tata letak *continuous*, *woven*, dan *cross* dikarenakan gaya ikat matrik dengan serat tersebar keseluruhan ikatan matrik. Tata letak *cross* lebih baik *continuous* dan *woven* tetapi tidak lebih baik dari *random* karena gaya yang terjadi pada tata letak *cross* terdapat dua arah gaya dalam artian terjadi dua arah ikatan matrik dengan serat. Tata letak *continuous* lebih baik dari *woven* tetapi tidak lebih baik dari *random* dan *cross* karena gaya yang terjadi hanya terdapat satu arah dan dipengaruhi oleh panjang dan bentuk serat yang tidak seragam. Sedangkan tata letak yang tidak baik adalah tata letak *woven* jika dibandingkan dengan *random*, *cross* dan *continuous*. Hal ini terjadi karena gaya

yang terjadi pada matrik tata letak serat *woven* terlalu sedikit, yaitu hanya pada arah gaya vertikal. Hal ini sejalan dengan teori Lawrence (2002) menyatakan bahwa matrik dengan serat penguat dianyam dalam dua arah tegak lurus dapat diperoleh kekuatan yang lebih baik dalam arah tersebut.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Widodo (2008) mendapatkan hasil penelitian kekuatan tarik komposit tata letak *random* tertinggi sebesar 5,51 kgf/mm<sup>2</sup> pada fraksi berat ijuk 40%, dan didukung dengan penelitian yang dilakukan oleh Mahmuda (2013) menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan regangan tertinggi dicapai pada komposit dengan panjang serat 90 mm. Kekuatan tarik yang didapat sebesar 36,37 MPa.

Pada Gambar 2 juga menunjukkan bahwa nilai kekuatan tarik berbeda-beda menurut variasi tata letak. Melihat nilai perbedaan kekuatan tarik pada Gambar 2 di atas dapat membuktikan bahwa variasi tata letak terhadap tingkat kekuatan tarik pada komposit matriks resin berpenguat serat alam (ijuk) terdapat perbedaan. Hal ini terlihat dari hasil penelitian dan pengujian tarik pada komposit matriks resin berpenguat serat alam (ijuk). Angka kekuatan tarik spesimen tata letak serat penguat alam secara *continuous* dengan nilai rata-rata sebesar 2,24 kgf/mm<sup>2</sup>, angka kekuatan tarik spesimen tata letak serat penguat alam secara *woven* dengan nilai rata-rata sebesar 1,64 kgf/mm<sup>2</sup>, angka kekuatan tarik spesimen tata letak serat penguat alam secara *cross* dengan nilai rata-rata sebesar 3,03 kgf/mm<sup>2</sup>. Angka kekuatan tarik spesimen tata letak serat penguat alam secara *random* dengan nilai rata-rata sebesar 3,46 kgf/mm<sup>2</sup>. Dari hasil tersebut terlihat hasil perbedaan nilai kekuatan tarik yang jelas,

dengan kata lain ada perbedaan nilai kekuatan tarik komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak (*continuous*, *woven*, *cross*, dan *random*). Untuk lebih jelas mengetahui perbedaan kekuatan tarik bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak dilanjutkan pembahasan hasil analisis hipotesis.

Menjawab hipotesis dari penelitian ini, peneliti menggunakan SPSS 16.0 sebagai alat bantu untuk menganalisis data hasil pengujian tarik. Hasil analisis *homogeneity* kekuatan tarik dapat diketahui bahwa besarnya angka *Levene Statistic* adalah 2,956, sedangkan probabilitas atau signifikansinya adalah 0,098 yang berarti lebih besar dari 0,05, dengan demikian hipotesis nihil ( $H_0$ ) diterima, yang berarti asumsi bahwa keempat varian tata letak adalah identik (*homogen*) dapat diterima.

Hasil analisis ANOVA kekuatan tarik menunjukkan bahwa besarnya nilai probabilitas atau signifikannya adalah 0,00 lebih kecil dari 0,05. dengan demikian hipotesa nihil ( $H_0$ ) ditolak. Hal ini menunjukkan bahwa ada perbedaan rata-rata kekuatan tarik bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak. Bentuk varian tata letak (*continuous*, *woven*, *cross*, dan *random*) mempunyai pengaruh terhadap variabel bebas.

Analisis *post hoc* dapat disimpulkan sebagai berikut:

$$Y_{Continuous} \neq Y_{Woven}$$

$$Y_{Continuous} \neq Y_{Cross}$$

$$Y_{Continuous} \neq Y_{Random}$$

$$Y_{Woven} \neq Y_{Cross}$$

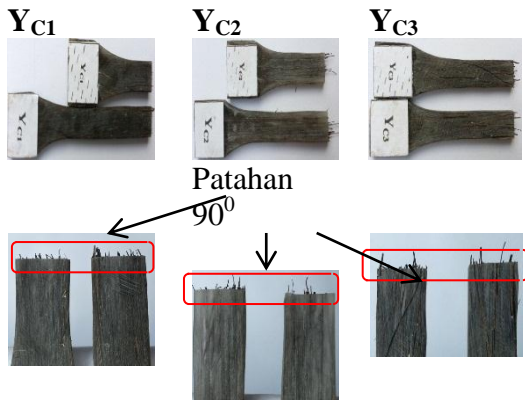
$$Y_{Woven} \neq Y_{Random}$$

$$Y_{Cross} \neq Y_{Random}$$

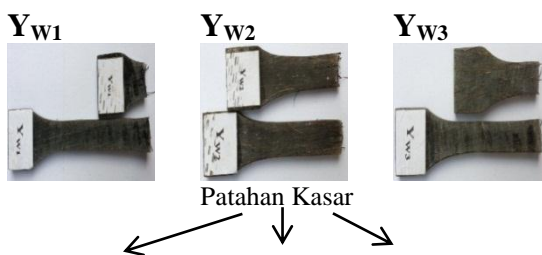
Ada pengaruh yang signifikan antara bentuk tata letak *continuous*, tata letak *woven*, tata letak *cross*, dan Tata letak

random terhadap kekuatan tarik. Ada perbedaan tingkat tata letak pada masing-masing tata letak, yaitu tata letak *continuous*, tata letak *woven*, tata letak *cross* dan Tata letak *random*. Tata letak yang paling baik untuk kekuatan tarik adalah tata letak *random*. Hal ini dapat dilihat dari jumlah rata-rata tertinggi pada tata letak *random*, sedangkan tata letak yang kurang baik untuk kekuatan tarik adalah tata letak *woven*.

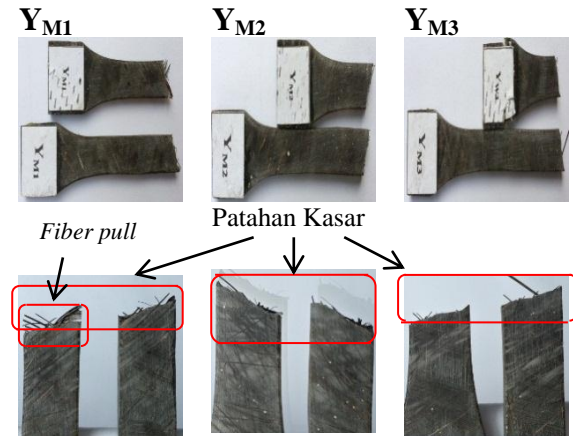
Patahan secara umum dibedakan menjadi dua yaitu patahan ulet (*ductile fracture*) dan patahan getas (*brittle fracture*). Patah ulet secara makro ditandai dengan tepi penampang patahan yang membentuk sudut  $45^{\circ}$  dan bagian tengah berbentuk serabut. Patah getas ditandai dengan bentuk patahan  $90^{\circ}$  dan kasar. Secara makro suatu patahan dapat dikatakan patah getas, tetapi secara mikro patah getas dapat berupa *cleavage* atau *intergranular* (Candara, 2015:63).



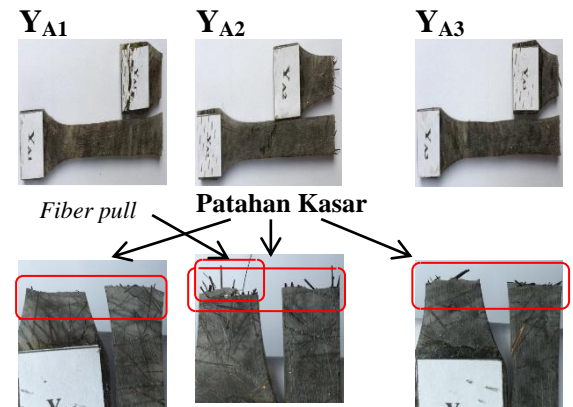
Gambar 5 Bentuk Patahan Penampang Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Tata Letak *Continuous*



Gambar 6 Bentuk Patahan Penampang Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Tata Letak *Woven*



Gambar 7 Bentuk Patahan Penampang Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Tata Letak *Cross*



Gambar 8 Bentuk Patahan Penampang Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam dengan Tata Letak *Random*

Pada Gambar 5, 6, 7, dan 8 di atas bentuk patahan menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik mengalami patahan getas, karena ujung patahan terdapat patahan  $90^{\circ}$  dan kasar, penampang patahan uji tarik bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan varian tata letak

menunjukkan adanya mekanisme *fiber pull out*, seperti pada Gambar 8 dan 9. Hal ini menunjukkan lemahnya ikatan antara serat dan matrik karena serat mengandung lapisan seperti lilin (lignin dan kotoran lainnya) yang menghalangi ikatan *interface* antara serat dengan matrik, sedangkan ada yang tidak terlalu menunjukkan *fiber pull out*, karena ikatan *interface* antara serat dan matrik kurang kuat dan ada yang tidak menunjukkan terjadi *fiber pull out*, karena ikatan *interface* serat dan matrik sangat kuat. Komposit tersebut juga akan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dan hasil analisa kurva kekuatan tarik bab IV komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak sesuai dengan pernyataan Gere & Timoshenko (1996) dimana biasanya hampir bersifat seperti bahan rapuh ideal, karena hampir tidak memperlihatkan keliatan. Kurva tegangan-regangan untuk komposit matriks resin berpenguat serat alam yang mengalami tarik berupa sebuah garis lurus, dengan kegagalan terjadi sebelum pelepasan.

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Mahmuda (2013) Hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan regangan tertinggi dicapai pada komposit dengan panjang serat 90 mm. Kekuatan tarik yang didapat sebesar 36,37 MPa dan regangan sebesar 9,34%. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan komposit ialah daya ikat serat dengan matrik, pendis-

tribusi serat yang merata, dan panjang kritis serat. Hasil foto SEM pada patahan komposit serat ijuk menunjukkan terjadinya *fiber breaking*. Hal ini menunjukkan bahwa daya ikat antara matrik dan serat yang cukup baik, tetapi sebaran serat pada matrik tidak merata yang mengakibatkan kekuatan tarik komposit yang optimal tidak bisa dicapai.

## PENUTUP

### Kesimpulan

Kekuatan tarik yang terjadi pada komposit matriks resin berpenguat serat alam dengan berbagai varian tata letak *continuous*, Diperoleh hasil nilai kekuatan tarik rata-rata sebesar 2,24 kgf/mm<sup>2</sup>. *woven*, 1,64 kgf/mm<sup>2</sup>, *cross* 3,03 kgf/mm<sup>2</sup>, *random* 3,46 kgf/mm<sup>2</sup>. Ada perbedaan kekuatan tarik bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam yang menggunakan tata letak *continuous*, *woven*, *cross* dan *random*. Bentuk patahan uji tarik dari bahan komposit matriks resin berpenguat serat alam yang menggunakan tata letak *continuous*, *woven*, *cross* dan *random*, semua patahan menunjukkan bahwa hasil pengujian tarik mengalami patahan 90<sup>0</sup> dan kasar. Adanya mekanisme gagal *fiber pull out*, hal ini menunjukkan lemahnya ikatan antara serat dan matrik karena serat mengandung lapisan seperti lilin (lignin dan kotoran lainnya) yang menghalangi ikatan *interface* antara serat dengan matrik.

## DAFTAR RUJUKAN

- Arikunto, S. 2010. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- ASTM. *Annual Book Of ASTM Standard*. West Conshohocken. 2003.
- Bachtiar, D. 2012. The tensile properties of single sugar palm (*Arenga pinnata*) Fibre. (Online, 1 (11) 1-6, (<http://iopscience.iop.org/1757-899X/11/1/012012>)). diakses 19 Mei 2016.

- Candra, D. P. 2015. Analisis kekuatan tarik dan laju regangan baja st 41 dengan takikkan akibat perubahan suhu tempering. Skripsi tidak diterbitkan. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Lawrence H. V. V, 1989. Elemen-elemen Ilmu dan Rekayasa Material. Jakarta: Erlangga.
- Mahmuda, E. 2013. Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ijuk dengan Matrik Epoxy. (Online), 1 (3): 79-84, (<http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/fema/article/view/66>), diakses 7 Februari 2016.
- Mathew, F. L, & R. D. Rawlings. 1994. Composit Material: Engineering and Science. London: Chapman and Hall.
- Munandar, I. 2013. Kekuatan Tarik Serat Ijuk (Arenga Pinnata Merr). (Online), 1 (3): 52-58, (<http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/fema/article/view/63>), diakses 2 Februari 2016.
- Sarwono, J. 2006. Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sukmadinata, N.S. 2012. Metode Penelitian Pendidikan. Bandung: Rosdakarya.
- Widodo, B. 2008. Analisa Sifat Mekanik Komposit Epoxy dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (Random). (Online), 1 (1): 1-5, (<http://vendy17.blog.uns.ac.id/files/2010/04/analisa-sifat-mekanik-komposit-epoksi.pdf>), diakses 28 Januari 2016.