

# Kekuatan Bending dan Ketangguhan Retak Komposit Epoxy - Serat Aren

Yohanes Suyoko<sup>1</sup>, Thole Ismed Candra Kirana<sup>2</sup>, Rudiayatno<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Pratama Mulia Surakarta  
email: <sup>1</sup>yesuyoko@gmail.com

## ABSTRACT

The hard and brittle epoxy resin thermoset material will be combined with palm fiber to obtain a new material with better properties than the material from which it is formed. This research aims to determine the mechanical properties of palm fiber reinforced epoxy composites regarding flexural strength and fracture toughness.

The composite matrix uses Epoxy Resin (Bisphenol A - epichlorohydrin) and Epoxy Hardener (Polyaminoamide). Palm fiber without chemical treatment as reinforcement has length variations of 2 mm, 4 mm and 6 mm. The reinforcement volume fraction was determined to be 15%. The materials are mixed in a measuring cup and heated at a temperature of 70 °C. The composite material was poured into the specimen mold and curing at 100 °C for 2 hours. Bending testing uses the three point bending method according to ASTM D790 standard and fracture toughness testing uses ASTM D5045 standard.

The mechanical properties test results show that the addition of palm fiber reduces the bending strength of pure epoxy resin without reinforcement, namely 90.91 MPa. A maximum fracture toughness of 1.35 MPa.m<sup>1/2</sup> was produced in the epoxy-palm fiber composite with a fiber length of 2.

## INTISARI

Material termoset resin epoxy yang keras dan getas akan dikombinasikan dengan serat aren untuk mendapatkan material baru dengan sifat-sifat yang lebih baik dari material pembentuknya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik komposit epoxy berpenguat serat aren terhadap kekuatan bending dan ketangguhan retak.

Matriks komposit menggunakan *Epoxy Resin* (Bisphenol A - epichlorohydrin) dan *Epoxy Hardener* (Polyaminoamide). Serat aren tanpa perlakuan kimiawi sebagai penguat memiliki variasi panjang 2 mm, 4 mm dan 6 mm. Fraksi volume penguat ditentukan sebesar 15%. Material dicampur dalam gelas ukur dan dipanaskan pada temperatur 70 °C. Material komposit dituang pada cetakan spesimen dan dikeraskan pada suhu 100 °C selama 2 jam. Pengujian bending menggunakan metode three point bending sesuai standar ASTM D790 dan pengujian ketangguhan retak menggunakan standar ASTM D5045.

Hasil pengujian sifat-sifat mekanik menunjukkan bahwa penambahan serat aren menurunkan kekuatan bending resin epoxy murni tanpa penguat yaitu sebesar 90,91 MPa. Ketangguhan retak maksimum sebesar 1,35 MPa.m<sup>1/2</sup> dihasilkan pada komposit epoxy-serat aren dengan panjang serat 2 mm

**Kata kunci:** Resin epoxy, Serat aren, Bending, Ketangguhan retak, Komposit

## I. PENDAHULUAN

Resin epoxy memiliki beberapa kelebihan diantaranya adalah penyusutan rendah, kemampuan *adhesi* baik sekali, tahan unsur kimia, tahan terhadap *fatik* dan *creep*, tahan aus, mudah dibentuk dan efektif sebagai isolasi listrik. Kekurangan pada resin epoxy antara lain kekuatan rendah, sensitif terhadap takik (*notch*), bersifat getas, temperatur operasi terbatas (~200°C), mudah menyerap uap air, koefisien ekspansi thermal tinggi (Harper, 2000). Serat aren sebagai limbah industri pengolahan tepung aren yang tidak terpakai dapat digunakan menjadi bahan baku industri yang ramah lingkungan. Kelebihan serat aren diantaranya adalah tahan terhadap asam, dan tahan terhadap air laut.

Sugiyanto (2013) melakukan penelitian Pengaruh Panjang Serat Terhadap Kekuatan Tarik Komposit Berpenguat Serat Ijuk dengan Matriks Epoxy. Hasil menunjukkan bahwa kekuatan tarik terbesar 36,37 MPa diperoleh pada panjang serat 90mm. Bella Yustian (2014) melakukan penelitian Pengaruh Fraksi Volume Serat Buah Lontar terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Komposit bermatriks Polyester. Dari hasil Uji Tarik dengan Fraksi Volume serat 0%, 5%, 15%, 25%, 35% didapatkan kekuatan terbesar dengan fraksi volume 15% sebesar 47,7 N/mm<sup>2</sup>.

Penelitian ini mempelajari pengaruh panjang serat aren terhadap kekuatan bending dan ketangguhan retak komposit epoksi –serat aren dengan variasi panjang serat 0 mm, 2 mm, 4 mm dan 6 mm.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Komposit adalah suatu material yang terbentuk dari kombinasi dua atau lebih material, sifat mekanik dari material pembentuknya berbeda-beda dimana satu material bertindak sebagai fasa pengisi (matriks), dan yang lainnya sebagai fase penguat (Lokantara, 2012).

Kelebihan material plastik dibandingkan material lain yaitu kuat, ringan, tahan terhadap air dan karat, tahan terhadap bahan kimia, memiliki tekstur yang mengkilat dan licin, lentur dan fleksibel, serta biaya produksi yang relatif murah (Anang S.,2017).

Plastik dibagi menjadi 2 yaitu termoplastik dan termoset. Plastik termoset banyak dikembangkan dalam pembuatan material komposit. Jenis plastik termoset yang digunakan antara lain resin epoxy, polyester, dan phenol (Mwaikambo & Ansell, 2002).

Matriks termoset yang semula cair, setelah dicampur *hardener* akan mengeras bersamaan dengan terbentuknya

suatu jaringan ikatan rantai monomer sehingga akan bersifat stabil. Matriks dalam suatu komposit polimer berperan untuk mempertahankan posisi dan orientasi serat untuk melindungi dari pengaruh lingkungan. Secara umum material matriks adalah polimer, logam dan keramik. (Rina Priritia, 2006).

Resin epoxy merupakan salah satu material termoset yang dibentuk melalui reaksi kimia *non-reversible* dimana campuran mudah dan cepat mengeras pada temperatur 5°C sampai 150°C.

Limbah industri pengolahan tepung aren berupa limbah padat dan cair. Limbah padat berupa kulit kayu dan ampas yang berbentuk serat/serabut sisa perasan tepung aren (Hermanto dkk, 2005; Handajani dan Firdayanti, 2005). Limbah padat berupa serat ditunjukkan pada Gambar 1.



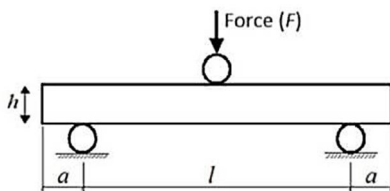
Gambar 1. Limbah Serat Aren

Limbah ampas serat aren yang menyerupai serabut kelapa hampir tidak dimanfaatkan sama sekali dan dibuang begitu saja di sekitar pabrik pengolahan industri tepung aren yang umumnya terletak di bantaran tepi sungai sehingga mencemari lingkungan (Hermanto dkk, 2005; Handajani dan Firdayanti, 2005).

Serat aren sendiri mempunyai kelebihan yaitu kuat, kaku dan murah karena tidak mempunyai nilai guna. Disamping kelebihan tersebut serat aren mempunyai kekurangan yaitu panjang serat yang tidak sama.

Batang yang dikenai gaya bending (lentur) akan menerima gaya tekan yang semakin besar di permukaan atas dan sebaliknya akan menerima gaya tarik yang semakin besar di permukaan bawah. Perubahan gaya yang diperlukan untuk melenturkan material dan perubahan panjang material pada laju deformasi yang tetap akan digunakan untuk menentukan karakteristik tegangan-regangan *flexural*. Tiga model pembebanan yang diberikan adalah *three point*, *four point* dan *simple cantilever*.

Pengujian kekuatan *bending* menggunakan skema uji *three-point bend* dimana titik pembebanan berjarak setengah dari titik tumpuan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Skema pengujian 3 Point Bending

Dimensi spesimen sesuai standar ASTM D790 adalah panjang total 127 mm, lebar 12,7 mm dan tinggi 3,2 mm. Kekuatan *bending* (*flexural strength*) ditentukan dengan persamaan :

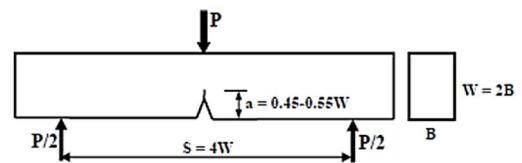
$$S = \frac{3PL}{2bh^2} \tag{1}$$

Dimana :

- S = Kekuatan *bending* (MPa)
- P = Beban (N)
- L = Panjang span/tumpuan (mm)
- b = Lebar spesimen (mm)
- h = Tinggi spesimen (mm)

Kemampuan material yang mengandung retak untuk menahan patah menunjukkan sifat ketangguhan retak suatu material. Disamping itu juga merupakan indikasi jumlah tegangan yang diperlukan untuk merambatkan retak sebagai cacat awal pada material.

Pengujian ketangguhan retak menggunakan skema uji *three-point bend* dengan ketentuan dimensi sesuai standar D4045 yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Uji Ketangguhan Retak

Kondisi *plane strain* pada uji ketangguhan retak menggunakan konfigurasi spesimen *single edge notch bend* (SENB).

Persamaan ketangguhan retak mode I adalah :

$$K_I = Y \frac{3PS\sqrt{a}}{2BW^2} \tag{2}$$

Parameter *K* disebut faktor intensitas tegangan dan subscript *I* menunjukkan mode pembebanannya.

Dimana *P* adalah beban kritis untuk perambatan retak (N), *S* adalah jarak antar tumpuan (m), *a* adalah panjang retak awal (m), *B* adalah tebal spesimen (m), *W* adalah lebar spesimen (m) dan *Y* adalah konstanta. (Hertzberg, 1989).

### III. METODOLOGI

#### A. Bahan Utama

1. Serat Aren
2. *Epoxy Resin* (Bisphenol A-epichlorohydrin)
3. *Epoxy Hardener* (Polyaminoamide)

Bahan *epoxy resin* dan *epoxy hardener* yang digunakan dapat dilihat di Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Resin Epoxy dan Hardener

**B. Persiapan Bahan**

- Limbah serat aren yang dipotong dengan panjang 2 mm, 4 mm, dan 6 mm.
- Potongan serat aren kemudian dicuci menggunakan air bersih.
- Pengeringan awal serat aren dilakukan dengan panas matahari selama 1 jam.
- Pengeringan lanjut serat aren dilakukan pada oven dengan suhu 50 °C selama 1 jam seperti ditunjukkan pada Gambar 5.
- Serat aren ditempatkan dalam wadah tertutup dan diberi *silica gel* agar tidak lembab.

**C. Pembuatan Komposit**

- *Epoxy Resin* dengan fraksi volume 85% dicampur serat aren dengan fraksi volume 15%.
- Campuran dipanaskan pada suhu 70 °C dan diaduk selama 3 menit.
- *Epoxy Hardener* dengan rasio 1:9 terhadap *epoxy resin* ditambahkan ke campuran dan diaduk selama 30 detik.
- Campuran dituang ke cetakan spesimen bending dan ketangguhan retak.
- Proses pengerasan (*curing*) komposit di dalam oven dengan suhu 100 °C selama 2 jam.

Hasil pencetakan spesimen komposit dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 di bawah ini.



Gambar 5. Spesimen Bending



Gambar 6. Spesimen Ketangguhan Retak

**D. Pengujian Komposit**

Pengujian komposit dilakukan menggunakan mesin uji *Bending* dengan menggunakan standar ASTM D790 dan pengujian Ketangguhan Retak dengan standar ASTM D5045 seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengujian 3 Point Bend

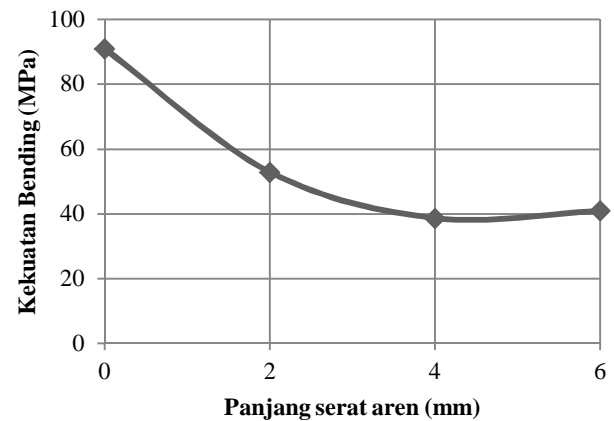
**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Uji Bending**

Pengujian bending digunakan untuk mengetahui kekuatan bending komposit epoxy-serat aren. Kekuatan bending yang terjadi pada setiap spesimen didapat menggunakan persamaan (1). Hasil perhitungan untuk masing-masing panjang serat aren diberikan dalam Tabel 1 dan disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 8.

Tabel 1. Hasil Uji Bending

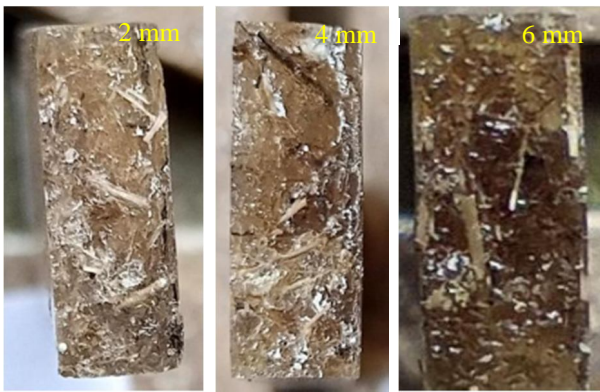
| No | Panjang serat aren (mm) | Kekuatan bending (MPa) |
|----|-------------------------|------------------------|
| 1  | 0                       | 90,91                  |
| 2  | 2                       | 52,88                  |
| 3  | 4                       | 38,65                  |
| 4  | 6                       | 40,96                  |



Gambar 8. Kurva Pengaruh Panjang Serat Aren Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Epoxy-Serat Aren

Tabel 1 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa penambahan serat aren mengakibatkan penurunan kekuatan lentur. Penambahan serat aren dengan panjang 2 mm, 4 mm dan 6 mm akan menurunkan kekuatan bending masing-masing sebesar 41,8% (52,88 MPa), 57,5% (38,65 MPa) dan 54,9% (40,96 MPa) dibandingkan kekuatan lentur resin epoxy murni sebesar 90,91 MPa.





Gambar 9. Penampang Patah Spesimen Bending

Dari Gambar 9 di atas, pada penampang patah spesimen terlihat patahan dengan permukaan kasar dan mengkilap. Hal ini menunjukkan bahwa pada permukaan mengkilap, spesimen mengalami patah getas. Semakin besar luas permukaan mengkilap menunjukkan kekuatan bending yang semakin rendah.

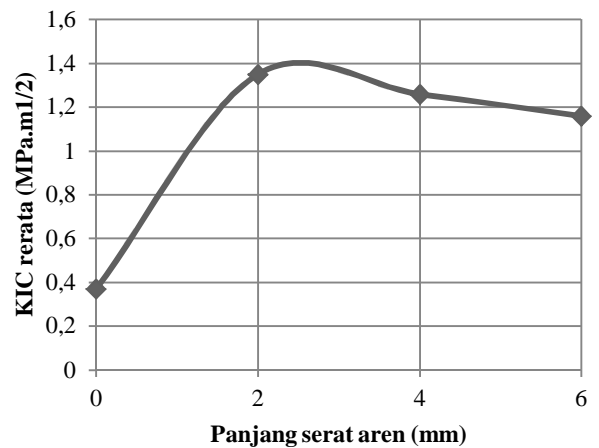
Penambahan serat aren membentuk banyak cekungan dan tonjolan yang menunjukkan bahwa ikatan antar muka antara matrik epoxy dengan serat aren tidak kuat. Distribusi serat aren semakin tidak baik seiring panjang serat aren yang ditambahkan. Hal tersebut terjadi akibat panas yang diberikan saat proses pencampuran resin epoxy dengan serat aren menyebabkan resin menjadi lebih encer dan serat aren akan saling terikat saat pengadukan sehingga putaran pengaduk tidak efektif dalam membentuk campuran homogen. Serat yang terlihat lepas dari matrik menunjukkan bahwa ikatan antar muka tidak terjadi dengan baik sehingga banyak membentuk rongga di sekitar serat. Banyaknya rongga di sekitar serat akan mengurangi luas penampang spesimen sehingga kekuatannya akan berkurang.

## B. Uji Ketangguhan Retak

Uji ketangguhan retak material dilakukan untuk mengetahui seberapa tangguh material menahan beban terhadap perambatan retak awal yang sengaja diberikan. Pengujian dilakukan dengan spesimen *Single Edge Notch Bend* (SENB) dan metode *Three Point Bending* sesuai standar ASTM D5045. Dari pengujian ini didapat beban maksimum yang mampu diterima spesimen sebelum patah. Ketangguhan retak dari spesimen dihitung menggunakan persamaan (2). Hasil perhitungan untuk masing-masing penambahan panjang serat aren diberikan dalam Tabel 2 dan disajikan dalam bentuk grafik seperti Gambar 10.

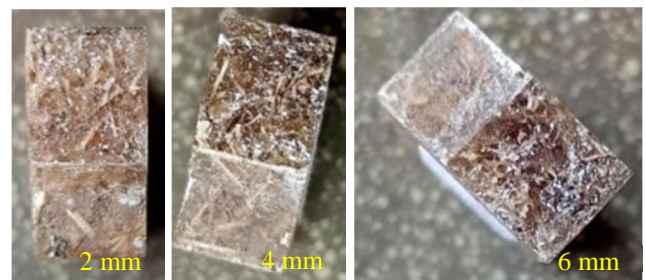
Tabel 2. Hasil Uji Ketangguhan Retak

| No | Panjang serat aren (mm) | $K_{IC}$ ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ) |
|----|-------------------------|--|
| 1  | 0                       | 0,37   |
| 2  | 2                       | 1,35   |
| 3  | 4                       | 1,26   |
| 4  | 6                       | 1,16   |



Gambar 10. Kurva Pengaruh Panjang Serat Aren Terhadap Kekuatan Lentur Komposit Epoxy-Serat Aren

Tabel 2 dan Gambar 10 menunjukkan bahwa penambahan serat aren mengakibatkan peningkatan ketangguhan retak. Penambahan serat aren dengan panjang 2 mm, 4 mm dan 6 mm akan meningkatkan ketangguhan retak masing-masing sebesar 264,9% ( $1,35 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ), 240,5% ( $1,26 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ) dan 213,5% ( $1,16 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ) dibandingkan kekuatan lentur resin epoxy murni sebesar  $0,37 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ .



Gambar 11. Penampang Patah Spesimen Ketangguhan Retak

Dari Gambar 11 di atas, terlihat bahwa peningkatan terbesar ketangguhan retak terjadi pada panjang serat aren 2 mm. Ketangguhan retak akan menurun berturut-turut pada penambahan panjang serat aren 4 mm dan 6 mm. Hal tersebut terjadi karena untuk serat aren yang lebih pendek maka jumlah potongan serat yang menahan perambatan retak akan bertambah pada fraksi volume yang tetap, sehingga ketangguhan retaknya paling besar.

## V. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekuatan bending komposit epoxy-serat aren pada penambahan panjang serat 2 mm, 4 mm, dan 6 mm dengan fraksi volume 15% memiliki kecenderungan menurun dibanding kekuatan bending epoxy murni.
2. Ketangguhan retak komposit epoxy-serat aren pada penambahan serat aren 2 mm, 4 mm, dan 6 mm dengan fraksi volume 15% juga memiliki kecenderungan menurun walaupun nilainya meningkat dibanding

ketangguhan retak epoxy murni.. Peningkatan ketangguhan retak pada penambahan panjang serat aren 2 mm, 4 mm dan 6 mm masing-masing adalah 264,9% ( $1,35 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ), 240,5% ( $1,26 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ) dan 213,5% ( $1,16 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ ).

3. Struktur makro patahan spesimen uji menunjukkan bahwa komposit mengalami patah getas.

## VI. Referensi

- [1] Anang,S, “Peran Abu Sekam Padi Pada Komposit Polimer Jenis PET”, Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Malang. 2017.
- [2] Bella Yustian, “Pengaruh Fraksi Volume Serat Buah Lontar terhadap Kekuatan Tarik dan Kekuatan Impak Komposit Bermatriks Polyester”, Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang. 2014.
- [3] Broek,D, “Elementary Engineering Fracture Mechanics”, Martinus Nijhoff Publisher, 1982
- [4] Firdayanti .M & Handajani, M, “Studi Karakteristik Dasar Limbah Industri Tepung Aren”,*Jurnal Infrastruktur dan Lingkungan Binaan*, Vol. I No. 2, Desember 2005.
- [5] Harper, CA. “Modern Plastics and Modern Plastics Handbook”, New York, McGraw-Hill Companies, 2000.
- [6] Hermanto, N.I.S., et al, “Penyelidikan Kayu Aren Dalam Usaha Pemanfaatannya Sebagai Bahan Bangunan”, Laporan Penelitian DIPA II, Lembaga Penelitian Unsoed, Purwokerto: Unsoed, 2005.
- [7] Hertzberg, R. W., “Deformation and Fracture Mechanics of Engineering Materials”, John Wiley & Sons, Inc, 1989.
- [8] Lokantara,I.P, “Analisis Kekuatan Impact Komposit Polyester Serat Tapis Kelapa Dengan Variasi Panjang Dan Fraksi Volume Serat Yang Diberi Perlakuan NaOH”, *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*. Vol 2 No.1, 2012.
- [9] Mwaikambo, L.Y., Ansell, M.P, “Hemp fibre reinforced cashew nut shell liquid composites”, *Composite Science and Technology*, Vol. 63, 1297-1305, 2003.
- [10] Prasetyo Dwi, Dkk., “Pengaruh Penambahan Coupling Agent Terhadap Kekuatan Mekanik Komposit Polyester-Cantula Dengan Anyaman Serat 3d Angle Interlock”, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2013