

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI LENTUR KOMPOSIT *HYBRID* SERAT IJUK ACAK/SERAT GELAS SEARAH BERMATRIKS EPOKSI

Arif Budi Cahyono^a, Sudarisman^b, Cahyo Budiyanoro^c

Mechanical Engineering Department, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta Jl. Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, Indonesia 55183 Telephone/fax (0274) 387656/ (0274) 387 646
arifboody@gmail.com, sudarisman@umy.ac.id, cahyo_budi@umy.ac.id.

Abstrak

Tanaman Arenga pinnata (pohon aren) banyak tumbuh di hutan Indonesia, pohon aren menghasilkan serabut berwarna hitam yang dikenal sebagai ijuk. Saat ini penggunaan serat ijuk sudah dikembangkan untuk bahan baku industri material komposit. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *hybrid ratio* (r_h) dan L/d terhadap nilai tegangan, regangan, modulus elastisitas dan karakteristik patahan setelah pengujian *bending*. Pembuatan komposit hybrid serat ijuk acak/serat gelas searah/epoksi menggunakan *press mold*. Perbandingan fraksi volume serat 30% dengan lima hybrid ratio r_h yaitu 0,0, 0,1, 0,2, 0,3 dan 0,4 dan dilakukan pengujian bending mengacu pada ASTM D-790. Dari hasil yang telah dicapai bahwa semakin bertambahnya fraksi volume serat gelas semakin meningkatkan kekuatan bending dan modulus elastisitas. Hasil kekuatan bending tertinggi diperoleh pada $L/d = 16$ dengan hybrid ratio $r_h = 0,1$ yaitu sebesar 109,6 MPa sedangkan untuk kekuatan bending terendah diperoleh pada $L/d = 32$ dengan hybrid ratio $r_h = 0,0$ yaitu sebesar 30,3 MPa. Untuk nilai regangan menurun pada $L/d = 16$ dan $L/d = 24$ dipenambahan volume serat gelas pada $r_h = 0,4$ hasil regangan bending tertinggi diperoleh pada $L/d = 16$ dengan hybrid ratio $r_h = 0,4$ yaitu sebesar 0,111 mm/mm dan untuk regangan bending terendah diperoleh pada $L/d = 32$ dengan hybrid ratio $r_h = 0,0$ yaitu sebesar 0,0328 mm/mm. Sedangkan hasil modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada $L/d = 32$ dengan hybrid ratio $r_h = 0,2$ yaitu sebesar 5,421 GPa lalu untuk hasil modulus elastisitas terendah diperoleh pada $L/d = 16$ dengan hybrid ratio $r_h = 0,0$ yaitu sebesar 1,633 GPa.

Kata kunci : *Bending*, Epoksi, Komposit *Hybrid*, Serat Gelas, Serat Ijuk Aren.

Abstract

Arenga Pinnata plants (aren trees) grow a lot in Indonesian forests, palm trees produce black fibers locally known as ijuk. Currently palm fibers has been used as materials for composite materials. The purpose of this study is to determine the effect of hybrid ratio (r_h) of the fiber, the effect of span-to-depth to bending strength, stain of failure, elastic modulus and the characteristics of the fracture after being tested. The hybrid composites were produced of randomly oriented Arenga Pinnata fibers/unidirectional glass fibers/epoxy using press mold. Constant of 30% fiber volume fraction with five hybrid ratios r_h , of 0.0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 was fabricated, bending tests are carried out according to ASTM D-790. The span-to-deep ratios of 16, 24 and 32 were used. The results showed that the increasing volume of glass fiber resulted in increases of bending strength, stain of failure, and elastic modulus. The highest bending strength obtained at Span-to-deep ratios of 16 with a hybrid ratio $r_h = 0.1$ that is equal to 109.6 MPa, while for the lowest bending strength obtained at span-to-deep = 32 with a hybrid ratio $r_h = 0.0$ namely at 30.3 MPa. The magnitude of strain decreases at span-to-deep of 16 and 24. In addition at $r_h = 0.4$ the highest bending strain was obtained at span-to-deep = 16 with a hybrid ratio $r_h = 0,4$ of 0.111 mm / mm and for the lowest bending strain was obtained at span-to-deep 32 with a hybrid ratio $r_h = 0.0$ that is equal to 0.0328 mm / mm. While the highest modulus of elasticity was obtained at span-to-deep = 32 with a hybrid ratio $r_h = 0.2$ that is equal to 5.421 GPa and

for the lowest elastic modulus was obtained at span-to-deep 16 with a hybrid ratio $r_h = 0.0$ namely 1,633 GPa.

Keywords: Bending, Epoxy, Glass Fiber, Hybrid Composites, Palm Sugar Fiber.

1. PENDAHULUAN

Negara Indonesia adalah Negara kepulauan yang terletak pada posisi astronomis 6° LU (Lintang Utara) sampai 11° LS (Lintang Selatan) dan antara 95° BT (Bujur Timur) sampai 141° BT (Bujur Timur) dan dilewati oleh garis katulistiwa menjadikan Indonesia menjadi salah satu Negara dengan iklim tropis. Dengan iklim tropis yang di milikinya, menjadikan Indonesia memiliki hutan yang luas. Hutan sebagai wadah terbentuknya ekosistem menyimpan banyak sumber daya alam berupa flora dan fauna. Salah satu contoh sumber daya alam berupa tumbuhan atau flora yang tumbuh di Indonesia adalah *Arenga Pinnata* (pohon aren). *Arenga pinnata* adalah palma yang sangat penting selain pohon kelapa (nyiur) karena merupakan tanaman serba guna. Pohon aren yang besar dan tinggi dapat mencapai 25 m, berdiameter 65 cm, batang pokoknya kukuh dan pada bagian atas diselimuti oleh serabut berwarna hitam yang dikenal sebagai ijuk, injuk, juk atau duk [1]. Ijuk sebenarnya adalah bagian dari pelepah daun yang mengelilingi batang. Ijuk merupakan serat alami berkarakter kuat, lentur dan tahan terhadap kelembaban air asin.

Saat ini penggunaan serat ijuk sudah dikembangkan untuk bahan baku industri material komposit. 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 [2]. Dengan mempertimbangkan ketersediaanya yang melimpah, terbarukan dan ramah lingkungan diharapkan serat ijuk dapat menggantikan penggunaan serat sintesis untuk pengisi material komposit. Serat sintesis adalah serat yang terbuat dari bahan anorganik dengan komposisi kimia tertentu. Serat sintesis yang telah banyak digunakan antara lain serat gelas, karbon dan nilon. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa semakin kecil diameter serat, maka kekuatan tarik semakin tinggi. Kekuatan tarik terbesar pada kelompok serat ijuk berdiameter kecil (0,25-0,35 mm) adalah sebesar 208,22 MPa, regangan 0,192%, modulus elastisitas 5,37 GPa dibandingkan kelompok serat ijuk dengan diameter besar (0,46-0,55 mm) sebesar 198,15 MPa, regangan 0,37%, modulus elastisitas 2,84 GPa. Hal ini dikarenakan rongga pada serat berdiameter 0,46-0,55 mm lebih besar dibandingkan rongga serat berdiameter 0,25-0,35 mm).

Serat ijuk sebagai elemen penguat sangat menentukan sifat mekanik dari komposit karena meneruskan beban yang didistribusikan oleh matriks. Orientasi arah serat, fraksi volume, ukuran dan bentuk serta material serat adalah faktor-faktor yang mempengaruhi propertimekanik dan laminat komposit. Dilihat dari bentuknya, serat ijuk tidak homogen hal ini disebabkan oleh pertumbuhan dan pembentukan serat tersebut bergantung pada lingkungan alam dan musim [3].

Beberapa penelitian tentang pemanfaatan dan optimasi serat ijuk telah dilakukan, antara lain: penelitian yang dilakukan [4] menganalisa sifat mekanik komposit epoksi dengan penguat serat pohon aren (ijuk) model lamina acak (*random*). Dari hasil penelitian yang dilakukan didapatkan kekuatan tarik komposit tertinggi sebesar 5,538 kg/mm² pada fraksi volume berat ijuk 40% dan rata-rata kekuatan tarik tertinggi sebesar 5,128 kg/mm² pada fraksi volume berat ijuk 40%. Kekuatan impact komposit tertinggi sebesar 33,395 Joule/mm² dengan kekuatan impact rata-rata 11,132 Joule/mm² pada fraksi volume berat ijuk 40%.

Uji tekan (*compressive strength*) dan uji *flexural* (*flexural strength*) komposit serat bambu dengan matriks epoksi yang akan diimplementasikan pada produk socket prosthesis. Dari hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut: pada pengujian tekan diperoleh kekuatan tekan sebesar 41,44 MPa dan pada pengujian *flexural* diperoleh kekuatan sebesar 98,32 MPa.[5].

Pemanfaatan komposit *hybrid* serat bulu ayam (*chicken feather*) dan serat ijuk sebagai panel pintu rumah terhadap sifat mekanik dan sifat termal komposit *hybrid* bermatrik *polyester*. Hasilnya larutan NaOH sebesar 2% memberikan pengaruh kenaikan kekuatan tarik sebesar 138,71 MPa dan setelah diproses menjadi komposit *hybrid*

dengan serat limbah bulu ayam memberikan pengaruh ke sifat mekanik impact dan tarik serta dapat menyerap panas. Besar kekuatan impact $0,161 \text{ Joule/mm}^2$ dan energi impact $19,53 \text{ Joule}$. Kekuatan tarik $72,304 \text{ kg/mm}^2$, dan bisa menyerap panas sehingga siap untuk dijadikan bahan *hybrid* komposit untuk produk-produk panel pintu.[6].

Dari beberapa penelitian yang dilakukan di atas, penggunaan serat alam sebagai penguat material komposit polimer terkadang tidak cukup untuk menjawab tuntutan kebutuhan, karena kekuatan mekaniknya lebih rendah dari serat sintetis. Untuk mengatasi hal tersebut, maka dibuat komposit *hybrid* yang menggunakan penguat serat alam dan serat sintetis sehingga diperoleh material baru yang memiliki sifat-sifat mekanis yang lebih baik dari komponen-komponen penyusunnya. Perbandingan fraksi volume serat alam dan serat sintetis sangat berpengaruh pada karakteristik komposit. Pengujian *bending* digunakan untuk mengukur kekuatan material akibat pembebanan terhadap kelenturan. Fenomena *bending* sering terjadi pada bidang konstruksi (misalnya pada konstruksi jembatan gantung pada bagian deck (tengah) mengalami *bending*), otomotif (sasis (rangka) pada kendaraan bila diberi muatan) dan pada bidang teknik lainnya. Namun dalam material komposit untuk pengujian *bending* masih sangat jarang dilakukan, sehingga perlu adanya kajian tentang pengujian *bending* pada material komposit.

2. METODE

2.1 Persiapan Bahan

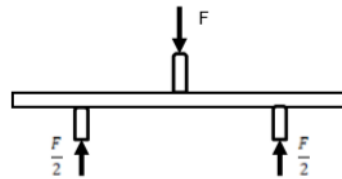
Serat ijuk di dapat dari kota Majalengka Jawa Barat dengan kualitas C. Selanjutnya serat dilakukan pembersihan dari serat yang diameternya besar. Kemudian serat dipotong dengan panjang serat 1 cm. Alkali (NaOH) di larutkan dengan air bersamaan dengan serat ijuk untuk menghilangkan kandungan lilin pada ijuk. Angkat serta ijuk kemudian bilas dengan air tawar dan selanjutnya keringkan serat ijuk dengan suhu ruangan. Serat gelas, diurai dari anyamannya kemudian dipotong menyesuaikan panjang cetakan yaitu 30cm. Matrik yang digunakan resin epoksi dan *hardener*.

2.2 Pencetakan Spesimen

Pencetakan komposit dilakukan pada pelat baja dengan volume cetakan $300 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$. Pencetakan komposit dilakukan dengan metode cetak tekan (press mould). Pencetakan dilakukan dengan 5 variasi *hybrid ratio* yaitu 0,0, 0,1, 0,2, 0,3 dan 0,4. Tahap proses pencetakan yaitu melapisi cetakan dengan lakban supaya cetakan mudah dibersihkan setelah pencetakan. Selanjutnya mengolesi lakban dengan *wax* untuk memudahkan pencopotan hasil cetakan. Menyusun serat gelas searah memanjang pada cetakan Setelah itu menuangkan sebagian matrik yang telah di timbang sesuai perhitungan tiap variasi *hybrid ratio* untuk pembasahan serat gelas. Setelah serat gelas terbasahi sempurna dilanjutkan penaburan serat ijuk secara acak. Tuang kembali sisa matrik dari proses pembasahan serat gelas tadi. Setelah semua serat ijuk dan gelas terbasahi sempurna selanjutnya ditutup dengan penutup cetakan. Penekanan cetakan dengan dongkrak selama kurang lebih 24 jam.

2.3 Pengujian Bending

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengetahui ketahanan material terhadap beban lentur, regangan, dan modulus elastisitas bahan serta memastikan sifat-sifat dan kekuatan bahan tersebut. Pembebanan *bending* mengakibatkan bagian bawah spesimen menerima tegangan tarik, sedangkan bagian atas akan mengalami tegangan tekan. Pengujian *bending* dilakukan dengan cara memberikan beban lentur secara perlahan-lahan sampai spesimen mengalami *fracture*. Dalam penelitian ini, pengujian *bending* menggunakan metode *three point bending* sesuai standar ASTM D790 [7] dengan dimensi spesimen seperti Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi pengujian bending

Dari hasil pengujian tidak langsung didapat nilai dari sifat-sifat bending, berdasarkan ASTM D790 perhitungan *bending* adalah :

1. Tegangan Bending

$$\sigma_b = \frac{3PL}{2bd^2}, \quad \frac{L}{d} \leq 16 \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma_b = \left(\frac{3PL}{2bd^2}\right) \left[1 + 6\left(\frac{D}{L}\right)^2 - 4\left(\frac{d}{L}\right)\left(\frac{D}{L}\right)\right], \quad \frac{L}{d} > 16 \dots\dots\dots (2)$$

2. Regangan Bending

$$\varepsilon_b = 6Dd/L^2 \dots\dots\dots (3)$$

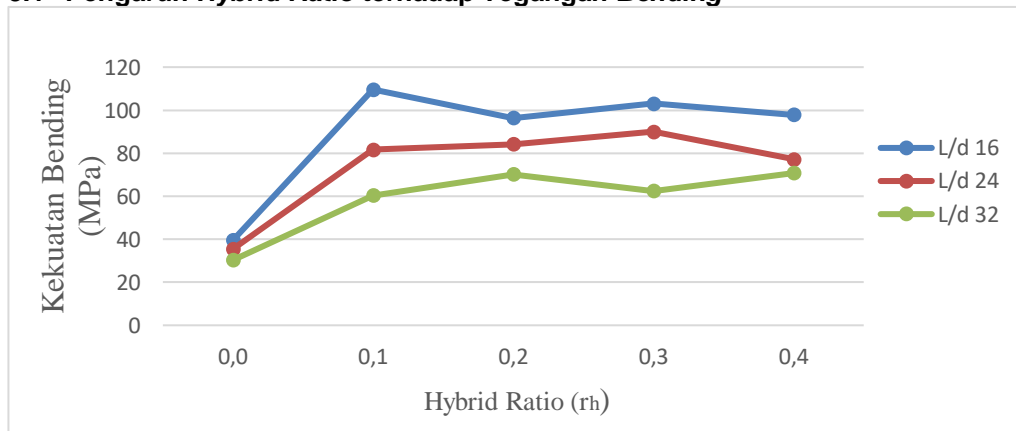
3. Modulus Elastisitas

$$E_B = L^3m/4bd^3 \dots\dots\dots (4)$$

Dengan: σ_b = tegangan *bending* (MPa), P = beban (N), L = panjang span (mm), b = lebar (mm), d = tebal (mm), ε_b = regangan *bending* (mm/mm), D = defleksi (mm), E_B = modulus elastisitas (MPa), m = *slope tangent*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

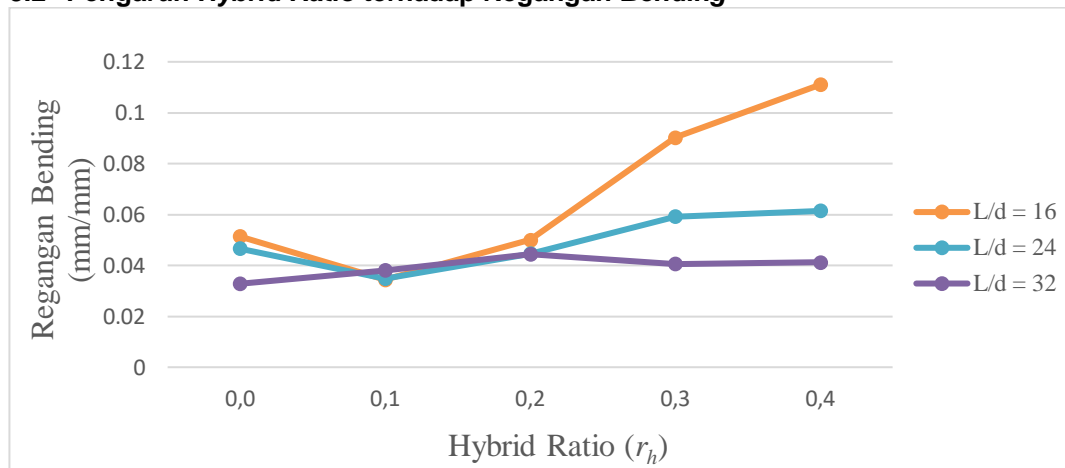
3.1 Pengaruh *Hybrid Ratio* terhadap Tegangan *Bending*



Gambar 2. Hubungan antara *hybrid ratio* (r_h) terhadap tegangan *bending*

Pada Gambar 2. terlihat bahwa variasi panjang span L/d = 16 menjadi yang tertinggi kemudian variasi panjang span L/d = 32 menjadi yang terendah. Hal ini karena semakin pendek ukuran spesimen maka akan semakin kaku yang berpengaruh pada nilai tegangannya yang tinggi. Pada variasi span L/d = 16 nilai tertinggi pada $r_h = 0,1$ sebesar 109,6 MPa dan terendah pada $r_h = 0,0$ sebesar 39,54 MPa, pada L/d = 24 nilai tertinggi pada $r_h = 0,3$ sebesar 90,02 MPa dan terendah pada $r_h = 0,0$ sebesar 35,46 MPa, pada L/d = 32 tertinggi pada $r_h = 0,4$ sebesar 70,74 MPa dan $r_h = 0,0$ terendah dengan nilai tegangan 30,3 MPa.

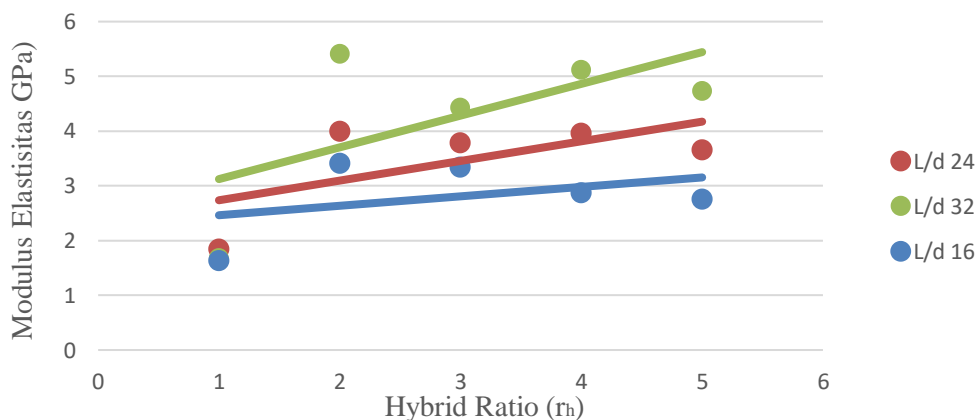
3.2 Pengaruh Hybrid Ratio terhadap Regangan Bending



Gambar 3. Hubungan antara *hybrid ratio* (r_h) terhadap regangan *bending*

Pada Gambar 3. terlihat bahwa variasi panjang span $L/d = 16$ menjadi yang tertinggi kemudian variasi panjang span $L/d = 32$ menjadi yang terendah. Hal ini karena semakin pendek ukuran spesimen maka tegangan yang terjadi semakin tinggi yang berdampak pada nilai regangan yang menjadi naik. Pada variasi span $L/d = 16$ nilai tertinggi pada $r_h = 0,4$ sebesar $0,111$ mm/mm dan terendah pada $r_h = 0,1$ sebesar $0,0344$ mm/mm, pada $L/d = 24$ nilai tertinggi pada $r_h = 0,3$ sebesar $0,0614$ mm/mm dan terendah pada $r_h = 0,1$ sebesar $0,0318$ mm/mm, pada $L/d = 32$ tertinggi pada $r_h = 0,2$ sebesar $0,0444$ mm/mm dan $r_h = 0,0$ terendah dengan nilai regangan $0,0328$ mm/mm.

3.3 Pengaruh Hybrid Ratio terhadap Modulus Elastisitas

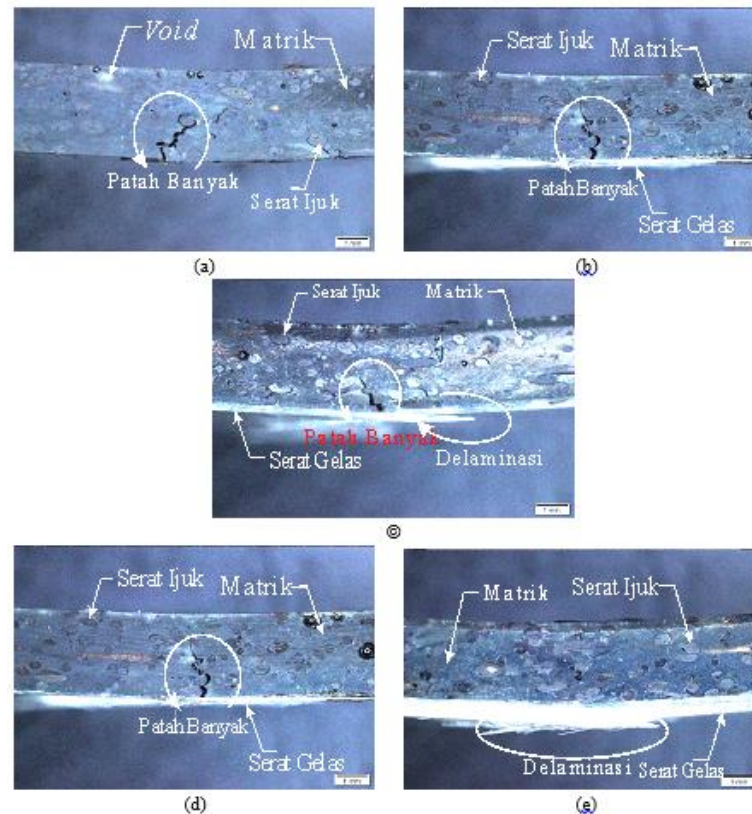


Gambar 4. Hubungan antara *hybrid ratio* (r_h) terhadap modulus elastisitas

Pada Gambar 4. terlihat bahwa variasi panjang span $L/d = 32$ menjadi yang tertinggi kemudian variasi panjang span $L/d = 16$ menjadi yang terendah. Hal ini karena semakin panjang ukuran spesimen maka akan semakin lentur. Pada variasi span $L/d = 16$ nilai tertinggi pada $r_h = 0,1$ sebesar $3,41$ GPa dan terendah pada $r_h = 0,0$ sebesar $1,63$ GPa, pada $L/d = 24$ nilai tertinggi pada $r_h = 0,1$ sebesar $4,003$ GPa dan terendah pada $r_h = 0,0$ sebesar $1,84$ GPa, pada $L/d = 32$ tertinggi pada $r_h = 0,2$ sebesar $5,42$ GPa dan $r_h = 0,0$ terendah dengan nilai regangan $1,69$ GPa.

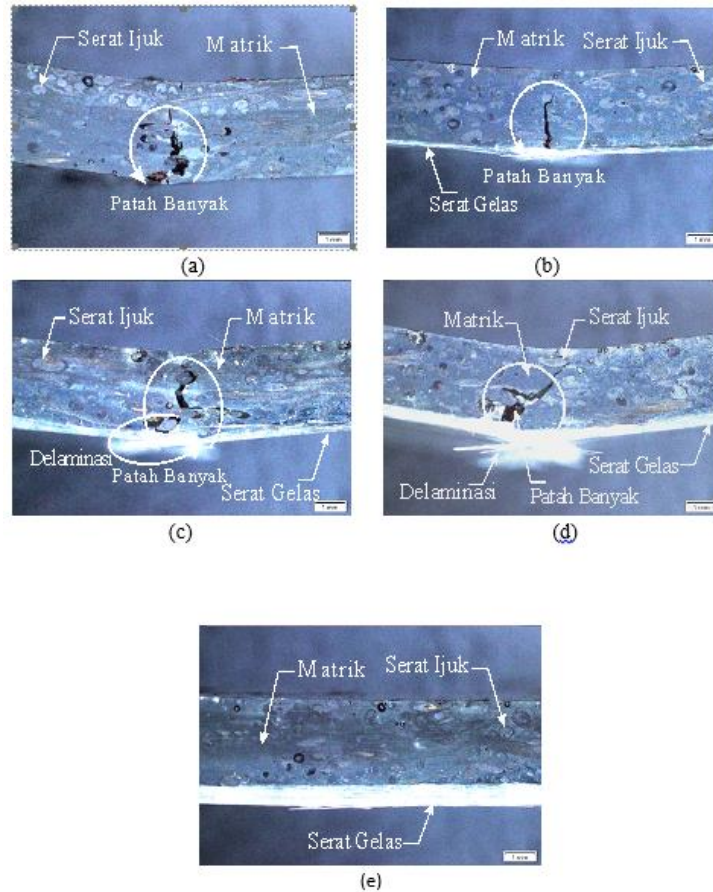
3.4 Hasil Pengamatan Foto Makro Penampang Patahan

Pengamatan foto makro pada spesimen setelah pengujian *bending* bertujuan untuk mengetahui karakteristik patahan pada material komposit.



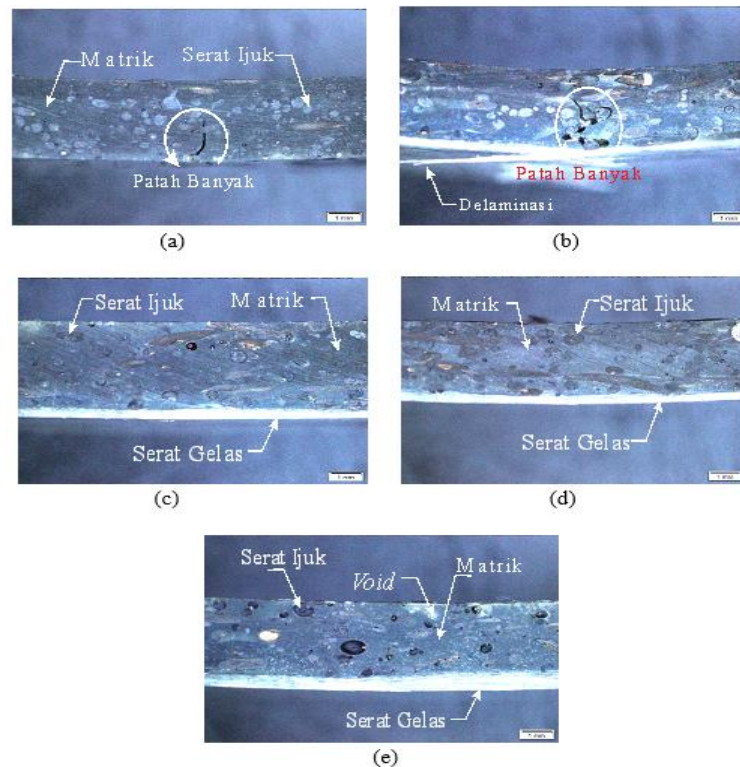
Gambar 5. Foto makro patahan spesimen uji *bending* pada $L/d = 16$ (a) *hybrid ratio* (r_h) 0,0, (b) *hybrid ratio* (r_h) 0,1, (c) *hybrid ratio* (r_h) 0,2, (d) *hybrid ratio* (r_h) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* (r_h) 0,4

Setelah dilakukan pengujian *bending* yaitu dengan cara memberikan beban tekan pada penampang atas yang berupa resin dan serat ijuk maka patahan terjadi pada bagian bawah spesimen yaitu serat gelas. Patahan terjadi karena pada bagian serat gelas tidak mampu menahan gaya tarik yang terjadi. Jenis patahan yang dihasilkan dari pengujian didominasi oleh patah banyak, yaitu pada Gambar 5. (a), (b), (c). Hal ini terjadi karena matriks mampu menahan beban yang diberikan yang kemudian beban tersebut didistribusikan ke serat yang berakibat jumlah serat yang putus semakin banyak sehingga patahan yang terjadi lebih dari satu bidang. Berbeda dengan patah tunggal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. (d), patah tunggal terjadi karena matriks tidak mampu lagi menahan beban tambahan, sehingga patahan yang terjadi pada satu bidang. Selain patah, *delaminasi* juga terdapat pada spesimen tersebut. Seperti ditunjukkan pada Gambar 5. (b), (c), (d). *Delaminasi* pada serat gelas yang disebabkan lepasnya lapisan serat gelas dari matriksnya akibat lemahnya ikatan antara matriks dan penguat. Sementara pada Gambar 5. (e) tidak terjadi patahan, hal ini karena lapisan serat gelas yang lebih tebal sehingga spesimen menjadi lentur karena mampu menahan gaya tarik pada sisi bawahnya.



Gambar 6. Foto makro patahan spesimen uji *bending* pada $L/d = 24$ (a) *hybrid ratio* (r_h) 0,0, (b) *hybrid ratio* (r_h) 0,1, (c) *hybrid ratio* (r_h) 0,2, (d) *hybrid ratio* (r_h) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* (r_h) 0,4

Setelah dilakukan pengujian *bending* yaitu dengan cara memberikan beban tekan pada penampang atas yang berupa resin dan serat ijuk maka patahan terjadi pada bagian bawah spesimen yaitu serat gelas. Patahan terjadi karena pada bagian serat gelas tidak mampu menahan gaya tarik yang terjadi. Patahan juga terjadi karena beban yang diberikan mampu didistribusikan oleh matrik kesekitarnya, apabila matriks mampu menahan gaya geser dan meneruskan beban keserat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak sehingga patahan yang terjadi lebih dari satu bidang. Kemudian pada Gambar 6. (c), (d) dengan spesimen uji pada *hybrid ratio* (r_h) 0,2 dan *hybrid ratio* (r_h) 0,3 terjadi delaminasi. *Delaminasi* terjadi akibat terlepasnya lapisan serat gelas terhadap matriks yang disebabkan gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah. Sementara pada Gambar 6. (e) tidak terjadi patahan, hal ini karena lapisan serat gelas yang lebih tebal sehingga spesimen menjadi lentur karena mampu menahan gaya tarik pada sisi bawahnya.



Gambar 7. Foto makro patahan spesimen uji *bending* pada $L/d = 32$ (a) *hybrid ratio* (r_h) 0,0, (b) *hybrid ratio* (r_h) 0,1, (c) *hybrid ratio* (r_h) 0,2, (d) *hybrid ratio* (r_h) 0,3, dan (e) *hybrid ratio* (r_h) 0,4

Pada spesimen pengujian *bending* $L/d = 32$ banyak spesimen yang tidak mengalami kerusakan matrik maupun serat gelas. Patahan banyak terjadi pada Gambar 7. (a) dan (b), hal ini terjadi karena beban tekan yang diberikan mampu didistribusikan oleh matrik kesekitarnya, apabila matriks mampu menahan gaya tarik dan meneruskan beban keserat yang lain maka jumlah serat yang putus semakin banyak sehingga patahan yang terjadi lebih dari satu bidang. Patahan terjadi karena pada bagian serat gelas tidak mampu menahan besarnya gaya tarik yang terjadi. Pada Gambar 7. (b) spesimen juga mengalami *delaminasi*, terjadi akibat terlepasnya lapisan serat gelas terhadap matriks yang disebabkan gaya adhesi antara penguat dan matriks yang lemah. Sementara pada Gambar (c), (d), (e) spesimen tidak terjadi patahan maupun delaminasi, hal ini dikarenakan serat gelas mampu menahan gaya tarik yang terjadi dan juga karena serat gelas yang terbasahi sempurna oleh resin.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Dengan bertambahnya *hybrid ratio* (r_h) serat gelas pada serat ijuk semakin meningkatkan kekuatan *bending*. Namun pada $L/d = 16$ ($r_h = 0,2$) mengalami penurunan, berbeda dengan $L/d = 24$ dan $L/d = 32$ yang terlihat naik. Kemudian pada $L/d = 32$ ($r_h = 0,3$) juga mengalami penurunan, sementara pada ($r_h = 0,4$) untuk $L/d = 16$ dan $L/d = 24$ kekuatan *bending* mengalami penurunan dan pada $L/d = 32$ mengalami kenaikan. Nilai kekuatan *bending* tertinggi terdapat pada $L/d = 16$ ($r_h = 0,1$) sebesar 109,6 MPa sementara nilai kekuatan *bending* terendah didapat pada $L/d = 32$ ($r_h = 0,0$) sebesar 30,3 MPa.
2. Pengaruh variasi L/d yaitu jika semakin kecil nilai L/d akan meningkatkan nilai tegangan dan regangannya karena semakin pendek spesimen akan semakin

kaku. Sedangkan semakin besar nilai L/d akan meningkatkan modulus elastisitas karena spesimen yang semakin lentur.

3. Karakteristik patahan didominasi oleh patahan banyak yang terjadi disemua variasi L/d dan hampir di semua variasi *hybrid ratio* (r_h). sedangkan patahan tunggal hanya terdapat pada spesimen L/d = 16 *hybrid ratio* (r_h) 0,3.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Santhiarsa, 2012, Potensi serat ijuk (*Arenga Pinnata fiber*) sebagai penguat komposit polimer, Proc. KNEP III 6-7 July 2012, Denpasar
- [2] Munandar, Imam. 2012. Sifat Mekanik Dan Sifat Fisis Pada Serat Ijuk (*Arenga Pinnata Merr*). Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- [3] Christiani S.,Evi. 2008. *Karakterisasi Pada Papan Komposit Ijuk Serat Pendek Sebagai Perisai Radiasi Neutron*. Universitas Sumatra Utara.
- [4] Widodo, B., 2007. *Analisis Sifat Mekanik Komposit Epoksi Dengan Penguat Serat Pohon Aren (Ijuk) Model Lamina Berorientasi Sudut Acak (Random)*. Institut Teknologi Nasional. Malang.
- [5] Agustinus Purna Irawan, Kekuatan Tekan dan Flexural Material Komposit Serat Bambu Epoksi, J. Teknik Mesin, 14:59-63, 2013.
- [6] Aladin Eko Purkuncoro. 2014. Pemanfaatan Komposit Hybrid Sebagai Produk Panel Pintu Rumah Serat Bulu Ayam (*Chicken Feather*) dan Serat Ijuk (*Arenga Pinnata*) Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Thermal Komposit Hybrid Matrik Polyester. Institut Teknologi Nasional. Malang.
- [7] ASTM., 2004. *Standard Test Methods for Flexural Poperties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Material (D 790 – 03)*. USA.