

Sifat-sifat Tarik dan *Flexural* Komposit Serat Sabut Kelapa Unidireksional/Poliester

(Tensile and Flexural Properties of Unidirectional Coconut Fiber/Polyester Composites)

SUDARISMAN, BERLI P. KAMIEL, SLAMET RAHADI

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the tensile and flexural properties of unidirectional coconut fiber/polyester composite materials, and to describe their failure modes. Specimens were cut from fiber/polyester composite plates containing various fiber contents. Materials being used in this study are coconut fiber that was previously alkali-treated and polyester resin matrix. Whilst tensile testing was carried out in accordance with the ASTM D3039 standard, flexural testing was based on the ASTM D790 standard. Failure surfaces of the representative specimens were then observed under an optical microscope, and their digital photo macrographs were captured for image analysis in order to describe their respective fiber distribution pattern and to determine their respective actual fiber volume fraction, V_f , by means of an open source software called ImageJ. It was found out that the actual V_f of the four composite plates being produced were 10.7%, 17.6%, 27.4% and 40.5%. It was revealed that while tensile strength increases with the increase of V_f , while failure strain, modulus elasticity and flexural strength decreases. The average highest tensile strength, tensile failure strain, and tensile modulus of elasticity were found being 30.01 MPa at $V_f = 40.5\%$, 0.027 mm/mm at $V_f = 0\%$, and 1.47 GPa at $V_f = 0\%$, respectively. The average highest flexural strength, failure strain and modulus of elasticity were observed being 153.92 MPa at $V_f = 10.7\%$, 0.0358 mm/mm at $V_f = 0\%$, and 3.242 GPa at $V_f = 10.7\%$, respectively. It was observed that specimens were failed by fiber pull out and debonding.

Keywords: coconut fiber, polyester, unidirectional, tensile, flexural, failure mode

PENDAHULUAN

Komposit banyak dikembangkan karena sifat-sifatnya dapat didesain sesuai dengan keperluan dengan memilih kombinasi material serat dan matrik yang tepat, (Hakim, 2007)., yang tidak didapat pada material lain. Keunggulan lainnya seperti kuat, ringan, tahan korosi, dan ekonomis (Saryanto, 2010), menyebabkan pemanfaatan material komposit semakin meluas mulai dari yang sederhana seperti alat-alat rumah tangga (sapu, tali, keset), sampai sektor industri (sebagai bahan pembuatan karpet, pengisi sandaran kursi, *dashboard* mobil, kasur, genteng, plafon atau bahan panel dinding tahan gempa) (Sabari, 2009).

Prasetyo (2007) melaporkan bahwa kekuatan *flexural* tertinggi komposit serat sabut kelapa/poliester diperoleh pada $V_f = 33,2\%$ yaitu 45,31 MPa, dan modulus *flexural* tertinggi pada $V_f = 24,4\%$ yaitu 3,7 GPa. Sedangkan Saputra (2007) dengan penelitian komposit

serat aren/poliester dan Rahayu (2007) dengan penelitian komposit serat rami acak/poliester melaporkan bahwa semakin lama perlakuan alkali semakin turun kekuatan dan regangan *flexural* komposit.

Berdasarkan penelitian-penelitian di atas, penelitian lebih lanjut tentang komposit serat sabut kelapa unidireksional/poliester dengan pembebanan tarik dan *flexural* perlu dilakukan guna melengkapi data tentang karakteristiknya agar pemanfaatannya dapat optimal.

LANDASAN TEORI

Secara sederhana bahan komposit berarti bahan gabungan dari dua atau lebih bahan yang berlainan pada skala makroskopis untuk membentuk material ketiga yang lebih bermanfaat.

Serat Sabut Kelapa

Sebutir buah kelapa yang telah mencapai usia 6 s.d. 7 bulan dapat menghasilkan ~400 gram sabut yang merupakan kombinasi ~35% serat dan ~25% busa atau lignin, dan ~15% lapisan tapis. Dalam jurnal *Composites Science and Technology*, disebutkan bahwa serat sabut kelapa yang biasa digunakan untuk keperluan material komposit memiliki massa jenis dan kadar air sebesar 1,15 g/cm³ dan 11,36% regangan patah sebesar 20 %, dan kekuatan tarik berikut modulus elastisitasnya sebesar 500 MPa dan 2,5 GPa, serta kekuatan tarik spesifik sebesar 0,4348 MPa/kg.m³, dan modulus elastisitas spesifik sebesar 2,17 MPa/kg.m³ (Rao dan Rao, 2007).

Poliester

Poliester berupa resin cair dengan viskositas yang relatif rendah, mengeras pada suhu kamar dengan penambahan katalis. (Surdia, 2005).

Kelebihan poliester diantaranya: kemampuan terhadap cuaca sangat baik, tahan terhadap kelembaban, pengkisan, zat-zat kimia, tahan sampai suhu sekitar 80°C dan sinar *ultra violet* bila dibiarkan diluar, tetapi sifat tembus cahaya permukaan rusak dalam beberapa tahun. Karakteristik polyester yang digunakan

TABEL 1. Spesifikasi SHCP Polyester 268 BQTN series

| Karakteristik | Nilai | Metode uji |
|--------------------------------------|---------------|----------------|
| Penyerapan air | 0.35% | ISO-62-1980 |
| Kekerasan | 48 BHC | ASTM D 2583-67 |
| Suhu distorsi panas | 67.3°C | ASTM D 648-72 |
| Perpanjangan | 3.2% | ASTM D 638-72 |
| Massa jenis resin, 25 ⁰ C | 1.13 kg/liter | ASTM D 1475 |
| Volume penyusutan | 9% | Massa jenis |
| Penguapan | 40 - 43% | ASTM D 3030 |
| Kekuatan bending | 82.4 MPa | ASTM D 790 |
| Modulus bending | 5257.3 MPa | ASTM D 790 |
| Kekuatan tarik | 29.4 MPa | ASTM D 638 |

Sumber: www.frp-services.com

disajikan pada Tabel 1.

SIFAT MEKANIK MATERIAL KOMPOSIT

Sifat Tarik

Tegangan Tarik

Menurut ASTM D3039 (Anonim, 1998), besarnya tegangan tarik, σ_t , material komposit dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$\sigma_t = \frac{P}{b \times d} \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(1)$$

dengan: b = lebar spesimen (mm)
 d = tebal spesimen (mm)
 P = beban tarik maksimum (N)

Regangan tarik

Sedangkan besarnya regangan tarik rata-rata, ϵ_t , dapat dihitung dengan persamaan (2) (Anonim, 1998), yang merupakan besaran tanpa satuan, atau biasa dinyatakan dalam persen.

$$\epsilon_t = \frac{D}{L} \dots\dots\dots(2)$$

dengan: D = pertambahan panjang (mm)
 L = panjang ukur spesimen uji (mm).

Modulus elastisitas tarik

Besarnya modulus elastisitas tarik dapat dihitung dengan persamaan (3) (Anonim, 1998).

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} = \frac{L}{b \times d} \times \frac{P_2 - P_1}{L_2 - L_1} \text{ (MPa)} \dots\dots(3)$$

dengan : $\Delta\sigma$ = perubahan tegangan tarik (MPa)
 $\Delta\epsilon$ = perubahan regangan (mm/mm)
 L_1 = panjang awal (mm)
 L_2 = panjang akhir (mm)
 P_1 = beban tarik awal (N)
 P_2 = beban tarik akhir (N)

Sifat Flexural

Tegangan flexural

Menurut ASTM D790 besar tegangan *flexural*, σ_f , material komposit untuk balok panjang, $S/d > 16$, dapat dihitung dengan persamaan (4) (Anonim, 1998):

$$\sigma_f = (3PS/2bd^2) \times [1 + 6(D/S)^2 - 4(d/S)(D/S)] \text{ (MPa)} \dots\dots\dots(4)$$

dengan : P = beban (N)
 S = jarak antara titik tumpuan (mm)
 b = lebar spesimen(mm)
 d = tebal spesimen(mm)

Regangan flexural

Sedangkan besar regangan *flexural*, ϵ_f , dapat dihitung dengan persamaan (5):

$$\epsilon_f = 6Dd/S^2 \dots\dots\dots(5)$$

dengan: D = defleksi (mm)

Modulus elastisitas flexural

Nilai modulus elastisitas *flexural* (E_f) material dapat dihitung dengan persamaan (6) (Anonim, 1998):

$$E_b = \frac{S^3 m}{4bd^3} \dots\dots\dots (6)$$

dengan: m = slope tangent pada kurva beban defleksi (N/mm)

The Rule of mixtures

Sifat-sifat material komposit dapat diprediksi berdasar pada sifat-sifat material pembentuk atau konstituennya. Sifat-sifat material komposit pada arah memanjang seratnya secara teoritis dapat diprediksi dengan yang disebut *The Rule of Mixtures* (RoM) (Sudarisman, 2009) sebagai berikut:

$$\sigma_c = \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \dots\dots\dots (7)$$

$$\epsilon_c = \epsilon_f V_f + \epsilon_m V_m \dots\dots\dots (8)$$

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \dots\dots\dots (9)$$

- dengan: σ_c = kekuatan komposit (MPa)
- σ_f = kekuatan material fiber (MPa)
- σ_m = kekuatan material matrik (MPa)
- ϵ_c = regangan patah komposit
- ϵ_f = regangan patah material fiber
- ϵ_m = regangan patah matrik
- E_c = modulus elastisitas komposit (GPa)
- E_f = modulus elastisitas fiber (GPa)
- E_m = modulus elastisitas matrik (GPa)
- V_f = fraksi volume fiber (%)
- V_m = fraksi volume matrik (%)

Dengan demikian, bila $\sigma_f > \sigma_m$ maka dengan bertambahnya V_f akan menaikkan harga σ_c . Sebaliknya, jika $\sigma_f < \sigma_m$ maka dengan bertambahnya V_f akan menurunkan harga σ_c . Hal tersebut berlaku juga untuk regangan dan modulus elastisitas komposit.

METODE PENELITIAN

Material yang digunakan

Material untuk pembuatan plat komposit yang di gunakan dalam penelitian ini adalah: serat sabut kelapa, alkali (NaOH), resin poliester (*SHCP Polyester 268 BQTN series*) dan katalis (MEXPO), serta stiringe monomer sebagai pengencer bila diperlukan. Kandungan

TABEL 2. Kandungan masing-masing unsur dalam fabrikasi plat komposit (gram).

| V _{ft} (%) | Serat | | Resin | | Katalis | |
|------------------------|-------|----------|--------|----------|---------|----------|
| | Tarik | Flexural | Tarik | Flexural | Tarik | Flexural |
| 0 | 0 | 0 | 118,15 | 72,83 | 1,18 | 0,73 |
| 10 | 5,70 | 3,52 | 106,33 | 65,55 | 1,06 | 0,66 |
| 20 | 11,40 | 7,03 | 94,52 | 58,27 | 0,95 | 0,58 |
| 30 | 17,11 | 10,55 | 82,70 | 50,98 | 0,83 | 0,51 |
| 40 | 22,81 | 14,06 | 70,89 | 43,70 | 0,71 | 0,44 |

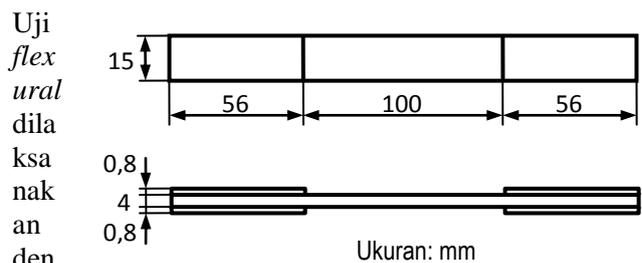
dapat dilihat pada Tabel 2.

Alat yang digunakan

Peralatan yang digunakan meliputi peralatan untuk fabrikasi plat komposit, pemotongan dan penyiapan spesimen, serta alat untuk pengujian dan penambilan data. Alat yang digunakan dalam pembuatan plat komposit antara lain: timbangan digital, alat press hidrolik berkapasitas 10 ton dengan mekanisme tuas, cetakan, mika lembaran, dan gunting. Untuk penyiapan dan pembuatan spesimen digunakan gergaji piringan dengan putaran ~7000 rpm dan mata potong bertabur serbuk intan, dan amplas untuk menghaluskan bidang bekas potongan. Sedangkan untuk pengambilan data uji tarik digunakan UTM (Gotech), untuk uji *flexural* digunakan UTM (Controllab), dan untuk pengambilan foto makro digunakan kamera digital (Canon power shoot SX 120 IS, 10 MP).

Pengujian

Pengujian tarik dilaksanakan menurut standar ASTM D3039 dengan perubahan tebal spesimen karena diameter fibernya yang jauh lebih besar dibandingkan dengan diameter fiber sintetis. Untuk menghindari rusaknya daerah penjepitan akibat beban desak yang berlebihan, maka kedua muka pada kedua ujung setiap spesimen dipasang tab yang terbuat dari bahan aluminium setebal ~0,8 mm (Sudarisman, 2009). Bentuk dan ukuran spesimen uji tarik menurut standar yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.

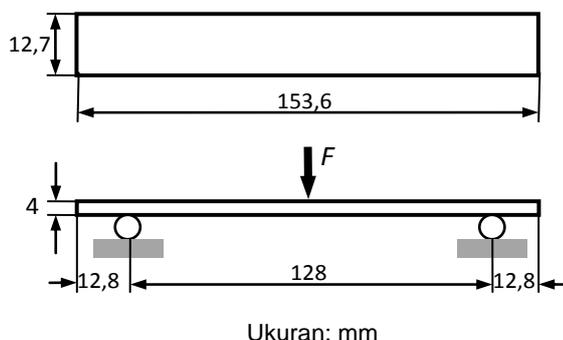


GAMBAR 1. Spesimen uji tarik (ASTM D3039)

mas ing- mas ing uns ur (gra m) seti ap plat

konfigurasi pembebanan tiga titik, Gambar 2, menurut ASTM D790 dengan $S/d = 32$ untuk memastikan bahwa spesimen uji gagal karena lenturan bukan karena besarnya tegangan geser pada sumbu netralnya.

Daerah patahan spesimen kemudian diambil fotonya untuk analisis moda gagal. Selanjutnya, beberapa spesimen tersebut dipilih untuk



GAMBAR 2. Konfigurasi uji flexural (ASTM D709)

dipotong dan difoto penampang lintangnya untuk keperluan analisis sebaran dan kadar fibernya. Analisis kadar fiber dilakukan dengan bantuan perangkat lunak terbuka, yang disebut ImageJ (Anonim,)

Sebelum dibenamkan ke dalam matrik beberapa serat secara acak diambil sebagai sampel untuk diuji guna mengetahui sifat-sifat mekanisnya dengan melakukan pengujian serat tunggal. Pengujian serat tunggal dilaksanakan menurut standar ASTM D3379.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian serat tunggal

Dari pengujian serat tunggal menurut ASTM D 3379 diperoleh kekuatan tarik seperti pada Tabel 3.

TABEL 3. Hasil pengujian serat tunggal ASTM D 3379

| Serat | F (kg) | A (mm ²) | L_0 (mm) | σ_f (N/mm ²) | ϵ_f (mm/m) | E (GPa) |
|-----------------------------|-------------|---------------------------|---------------|------------------------------------|------------------------|--------------|
| 1 | 1,70 | 0,3168 | 9,0 | 52,64 | 0,30 | 0,175. |
| 2 | 2,91 | 0,2016 | 10, | 141,60 | 0,33 | 0,425. |
| 3 | 1,55 | 0,1144 | 9,0 | 132,92 | 0,30 | 0,443. |
| 4 | 1,77 | 0,1100 | 8,7 | 157,85 | 0,29 | 0,544. |
| 5 | 1,54 | 0,0648 | 9,0 | 233,63 | 0,30 | 0,777. |
| Rata-rata serat 1-5 | | | | 143,63 | 0,305 | 0,473. |
| Rata-rata serat 2, 3, dan 4 | | | | 144,12 | 0,308 | 0,471. |

Fraksi volume serat

Pengamatan pada foto makro menunjukkan bahwa pada setiap fraksi volume, sebaran serat tidak merata, seperti terlihat pada Gambar 3. Foto tersebut juga digunakan untuk menghitung fraksi volume aktual specimen dengan bantuan perangkat lunak terbuka ImageJ yang hasilnya disajikan pada Tabel 4.

(a)



(b)



(d)



GAMBAR 3. Foto makro penampang lintang spesimen komposit sabut kelapa/poliester. (a) 10,7%, (b) 17,6%, (c) 27,4% dan (d) 40,5%.

Perhitungan fraksi volume dengan analisis foto makro ini di ambil dari "Area Fraction" pada data *summary* yang dihasilkan *Image-J*.

TABEL 4. Hasil analisis foto makro perhitungan V_f

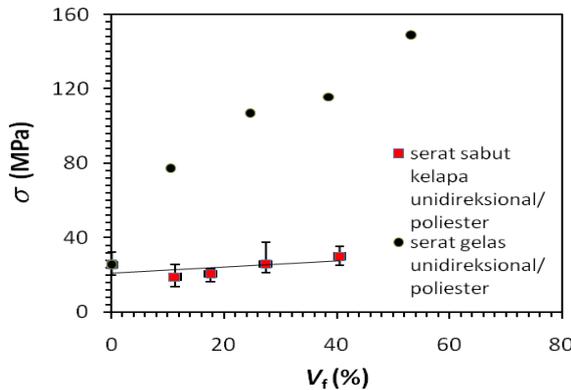
| V_f Rencana (%) | 10 | 20 | 30 | 40 |
|-------------------|------|------|------|------|
| V_f Aktual (%) | 10,7 | 17,6 | 27,4 | 40,5 |

Gambar 3 menunjukkan kesesuaian dengan hasil yang diberikan pada Tabel 4. Selain itu, Gambar 3 juga menunjukkan bahwa ternyata geometri serat sabut kelapa memiliki penampang lintang yang tidak berbentuk lingkaran, dengan bentuk dan ukuran variasi yang sangat bervariasi. Bintik-bintik putih pada gambar tersebut bukan rongga udara atau *void*, melainkan fiber yang mengalami *chipping* akibat pemotongan dan pengasahan permukaan specimen.

Sifat-sifat tarik

Kekuatan tarik

Kekuatan tarik material komposit yang dihitung dengan persamaan 1 untuk beberapa harga V_f yang diamati disajikan pada Gambar 4.



GAMBAR 4. Perbandingan kekuatan tarik komposit serat bermatrik poliester

Grafik di atas menunjukkan kekuatan tarik poliester, $V_f = 0\%$, adalah 25,34 MPa, sedangkan komposit serat sabut kelapa unidireksional/poliester memiliki kekuatan tarik rata-rata sebesar pada $V_f = 10,7\%$ mengalami penurunan menjadi 18,92 MPa, naik kembali pada $V_f = 17,6\%$ menjadi 20,60 MPa, pada $V_f = 27,4\%$ menjadi 25,86 MPa, dan $V_f = 40,5\%$ sebesar 30,01 MPa. Nilai tertinggi kekuatatan tarik yaitu pada $V_f = 40,5\%$, dan nilai terendah pada $V_f = 10,7\%$. Hal ini sesuai dengan *Rule of Mixtures* (persamaan (7)) dengan kekuatan serat 144,12 MPa lebih besar dari kekuatan matriknya yaitu 25,34 MPa, maka naiknya fraksi volume akan menaikkan pula kekuatan kompositnya.

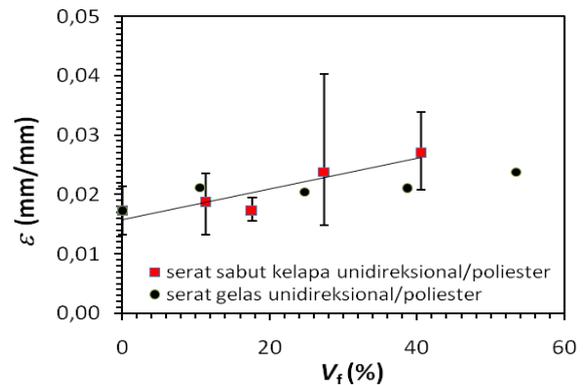
Untuk melihat perbedaan kekuatan tarik maka dilakukan perbandingan dengan penelitian lain yang dilakukan oleh Sutriawan (2011). Berdasarkan grafik perbandingan di atas komposit dengan serat gelas unidireksional/poliester pada $V_f = 53,34\%$ merupakan harga tertinggi yaitu 148,69 MPa dan pada serat sabut kelapa unidireksional/poliester tertinggi pada $V_f = 40,5\%$ yaitu 30,01 MPa. Kekuatan terendah untuk serat gelas unidireksional/poliester pada $V_f = 0\%$ yaitu 25,34 MPa. Berbeda dengan serat sabut kelapa unidireksional/poliester yaitu nilai terendah pada $V_f = 10,7\%$ yaitu 18,92 MPa, disebabkan matrik tidak dapat meneruskan beban terhadap serat karena kurang terbasahnya serat oleh matrik sehingga rekatan

antara serat dan matrik kurang sempurna. Dibuktikan dari hasil foto patahan kegagalannya yaitu *debonding* diikuti dengan *fiber pull-out* (Gambar 7).

Dapat disimpulkan bahwa kekuatan serat gelas unidireksional/poliester lebih tinggi dibandingkan dengan serat sabut kelapa unidireksional/poliester.

Regangan tarik

Regangan tarik yang dihitung dengan persamaan (2) untuk berbagai nilai V_f dapat di lihat pada Gambar 5.



GAMBAR 5. Perbandingan regangan tarik komposit serat bermatrik poliester

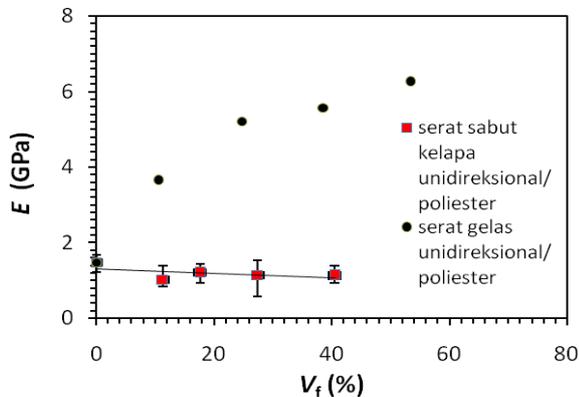
Gambar 5 komposit sabut kelapa unidireksional/poliester menunjukkan regangan tarik patah rata-rata, V_f , meningkat seiring dengan naiknya V_f , yakni antara 0,017 mm/mm, sampai dengan 0,027 mm/mm. Hal ini sesuai dengan *Rule of Mixtures* (persamaan (8)) dengan regangan serat, $\epsilon_f = 0,305$ mm/mm, lebih besar dari regangan matriknya, $\epsilon_m = 0,017$ mm/mm, maka naiknya fraksi volume akan menaikkan pula regangan kompositnya.

Penelitian tentang komposit serat gelas unidireksional/poliester yang dilakukan oleh Sutriawan (2011) menunjukkan bahwa regangan tarik tertinggi diperoleh pada $V_f = 53,34\%$ yaitu sebesar 0,0238 mm/mm. sedangkan pada penelitian ini yang menggunakan serat sabut kelapa unidireksional/poliester diperoleh regangan tarik tertinggi pada V_f tertinggi, 40,5 %, yaitu 0,027 mm/mm. Pada $V_f = 17,6\%$ terjadi penurunan dari nilai $V_f = 10,7\%$ (Gambar 5), yang diduga akibat tidak meratanya distribusi serat yang menyebabkan terjadi kegagalan ikatan antarmuka serat-matrik sehingga komposit mengalami kegagalan lebih awal. Ternyata bahwa serat

sabut kelapa meregang lebih besar dari pada serat gelas.

Modulus elastisitas tarik, E

Nilai E yang dihitung dengan persamaan (3)



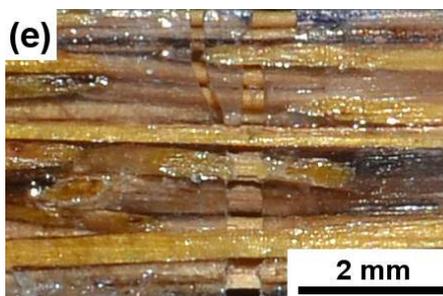
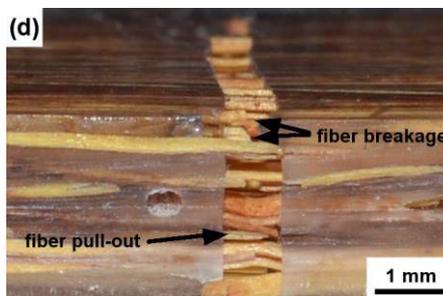
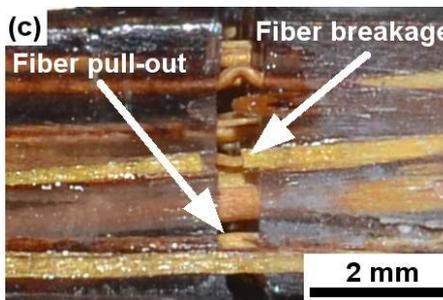
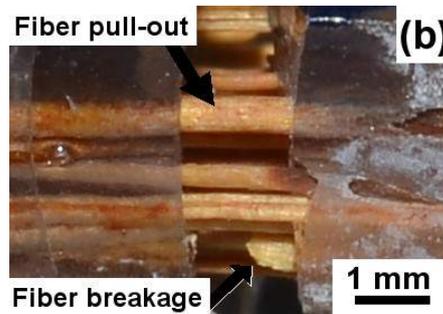
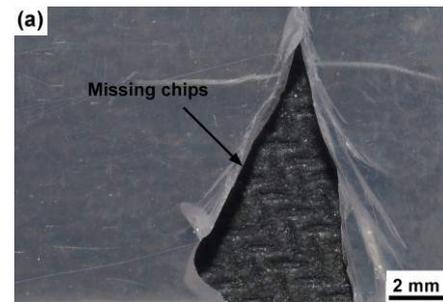
GAMBAR 6. Perbandingan modulus elastisitas komposit serat bermatrik poliester

untuk beberapa nilai V_f yang diteliti disajikan pada Gambar 6.

Gambar 6 menunjukkan bahwa untuk komposit serat sabut kelapa unidireksional/poliester nilai E meningkat seiring dengan naiknya kadar serat pada V_f sampai dengan 27,4% (1,51 GPa). Hal ini sesuai dengan *Rule of Mixtures* (persamaan (9)) dengan modulus elastisitas serat yaitu 0,471 GPa lebih kecil dari nilai E matriknya yaitu 1,58 GPa, maka naiknya V_f akan menurunkan pula nilai E kompositnya, lalu turun pada kadar serat 40,5% (1,35 GPa).

Untuk melihat perbedaan nilai E tarik maka dilakukan perbandingan dengan penelitian lain yang dilakukan oleh Sutriawan (2011). Perbedaan grafik tersebut seperti pada Gambar 6.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai E tarik untuk serat gelas unidireksional/poliester mencapai harga tertinggi pada $V_f = 53,34\%$ yaitu 6,26 GPa dan terendah pada $V_f = 0\%$ yaitu 1,47 GPa. Berbeda dibandingkan dengan komposit serat sabut kelapa unidireksional/poliester, nilai tertingginya pada $V_f = 0\%$ yaitu 1,47 GPa dan paling rendah pada $V_f = 10,7\%$ yaitu 1,02 GPa. Hal ini juga dipengaruhi karena pada $V_f = 10,7\%$, 17,6%, 27,4% dan 40,5% terjadi kegagalan *fiber pull-out* (Gambar 7), sehingga modulus elastisitasnya rendah.



GAMBAR 7. Penampang patahan tarik: (a) $V_f = 0\%$, (b) $V_f = 10,7\%$, (c) $V_f = 17,6\%$, (d) $V_f = 27,4\%$, dan (e) $V_f = 40,5\%$

Sehingga jelas bahwa komposit serat gelas unidireksional/poliester memiliki nilai E tarik yang lebih tinggi jika dibandingkan komposit serat sabut kelapa.

Moda patah

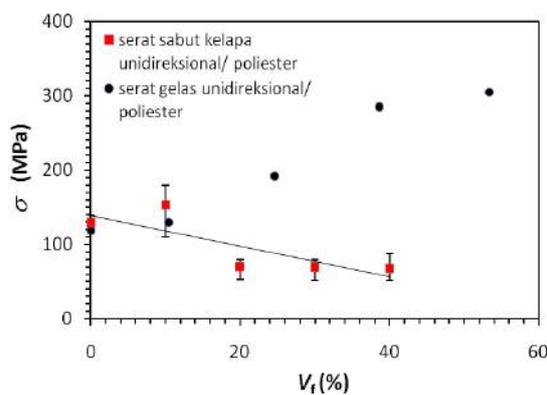
Spesimen poliester, $V_f = 0\%$, mengalami patah banyak dan hancur, sedangkan material komposit serat sabut kelapa unidireksional/poliester pada $V_f = 10,7\%$, $17,6\%$, dan $27,4\%$ terjadi patah tunggal diikuti *fiber pull-out* dan *debonding*, untuk $V_f = 40,5\%$ terjadi patah tunggal dan *fiber pul-out*. Kegagalan ini terjadi karena matrik belum menyatu sempurna dengan serat mengakibatkan serat tercabut dari matrik akibat beban tarik ketika matrik mengalami retak, sehingga kemampuan untuk menahan beban akan berkurang, namun komposit tersebut masih mampu menahan beban walaupun beban yang mampu ditahan lebih kecil daripada beban maksimum. Saat matrik retak, beban akan ditransfer dari matrik ke serat ditempat persinggungan retak. Seiring dengan bertambahnya deformasi, kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat, selanjutnya serat akan tercabut dari matrik akibat *debonding*.

Sifat-sifat lentur (flexural)

Kekuatan lentur

Pengaruh V_f terhadap kekuatan bending untuk beberapa variasi harga V_f ditunjukkan pada Gambar 8.

Grafik hasil pengujian bending pada komposit



GAMBAR 8. Pengaruh V_f kekuatan *flexural* komposit serat bermatrik poliester

serat sabut kelapa/poliester pada Gambar 8. menunjukkan kekuatan bending rata-rata pada variasi $V_f = 0\%$ sebesar 128,62 MPa, pada $V_f = 10,7\%$ sebesar 153,92 MPa, kemudian terus turun pada $V_f = 17,6\%$ menjadi 70,45 MPa, pada $V_f = 27,4\%$ menjadi 68,87 MPa, dan naik

kembali pada $V_f = 40,5\%$ menjadi 68,62 MPa. Hal ini tidak sesuai dengan *Rule of Mixtures* (persamaan 2.6.) dengan kekuatan serat 144,12 MPa lebih besar dari kekuatan matriknya yaitu 128,62 MPa maka naiknya fraksi volume akan menaikkan pula kekuatan kompositnya.

Untuk melihat perbedaan kekuatan bending maka dilakukan perbandingan dengan penelitian lain yang dilakukan oleh Sutriawan (2011). Perbedaan grafik tersebut seperti pada Gambar 8.

Berdasarkan grafik di atas komposit serat gelas unidireksional/poliester kekuatan bending tertinggi pada $V_f = 53,34\%$ sebesar 305,34 MPa, dan kekuatan terkecil pada $V_f = 0\%$ yaitu 119,12 MPa. Berbeda dengan serat sabut kelapa unidireksional/poliester memiliki kekuatan tertinggi pada $V_f = 10,7\%$ yaitu 153,92 MPa dan terendah pada $V_f = 40,5\%$ yaitu 68,62 MPa. Pada $V_f = 40,5\%$ memiliki nilai paling rendah disebabkan tidak meratanya serat sehingga beban tidak dapat dilanjutkan oleh serat dikarenakan terjadi kegagalan yaitu *debonding* yang dilanjutkan *fiber pull-out* (Gambar 11).

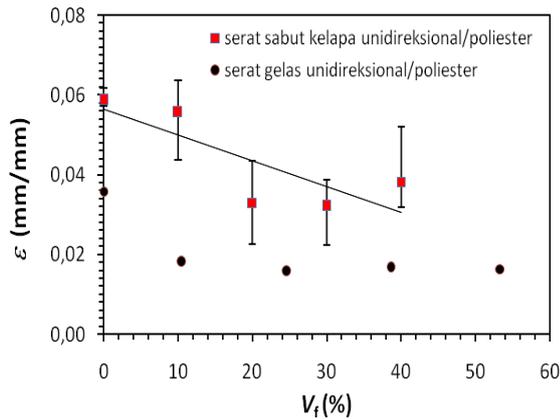
Dari grafik di atas dapat disimpulkan kekuatan serat gelas lebih besar dibandingkan serat sabut kelapa.

Regangan lentur

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara V_f dengan regangan lentur patah material komposit serat bermatrik poliester.

Serat sabut kelapa unidireksional/poliester (Gambar 9) menunjukkan regangan rata-rata pada $V_f = 0\%$ sebesar 0,059 mm/mm, kemudian regangan turun pada $V_f = 10,7\%$ menjadi 0,056 mm/mm lalu menurun kembali pada $V_f = 17,6\%$ menjadi 0,033 mm/mm, pada $V_f = 27,4\%$ sebesar 0,032 mm/mm, kemudian naik pada $V_f = 40,5\%$ menjadi 0,038 mm/mm. Hal ini tidak sesuai dengan *Rule of Mixtures* (persamaan 8) dengan regangan serat 0,308 mm/mm lebih besar dari regangan matriknya yaitu 0,059 mm/mm, maka dengan naiknya V_f akan menaikkan pula regangan kompositnya.

Untuk melihat perbedaan regangan bending maka dilakukan perbandingan dengan penelitian lain yang dilakukan oleh Sutriawan (2011). Perbedaan grafik tersebut seperti pada Gambar 9.

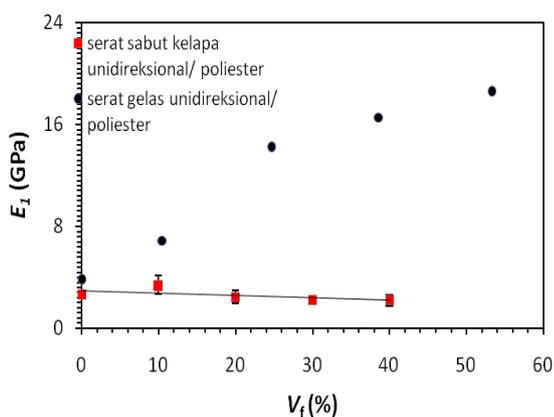


GAMBAR 9. Pengaruh V_f terhadap regangan *flexural* patah komposit serat bermatrik poliester

Dari grafik hasil pengujian bending pada komposit serat gelas unidireksional/polyester di atas regangan tertinggi pada $V_f = 0$ % sebesar 0,0358 mm/mm dan untuk serat sabut kelapa unidireksional/poliester nilai tertinggi juga pada 0 % yaitu 0,059 mm/mm. Hal ini dipengaruhi oleh ketebalan dari spesimen, juga semakin bertambahnya serat sehingga komposit semakin kaku serta didominasi banyaknya lepas ikatan antara serat dengan matrik yang diakibatkan oleh kekuatan geser di permukaan serat. Seperti terlihat pada foto patahan pada Gambar 11.

Modulus elastisitas lentur

Hasil analisis pengujian lentur untuk beberapa harga V_f yang diteliti disajikan pada Gambar 10.



GAMBAR 10. Pengaruh V_f terhadap modulus *flexural* komposit serat bermatrik poliester

Gambar 10 menunjukkan data bahwa serat sabut kelapa unidireksional/poliester memiliki modulus rata-rata pada $V_f = 0$ % yaitu 2,634 GPa, pada $V_f = 10,7$ %

mengalami kenaikan menjadi 3,242 GPa. Pada $V_f = 17,6$ % mengalami penurunan menjadi 2,432 GPa, pada $V_f = 27,4$ % menjadi 2,215 GPa dan pada $V_f = 40,5$ % menjadi 2,192 GPa. Hal ini tidak sesuai dengan *Rule of Mixtures* (persamaan 9) dengan modulus elastisitas serat 0,471 GPa lebih kecil dari modulus elastisitas matriknya yaitu 2,634 GPa, maka dengan naiknya fraksi volume akan menurunkan pula modulus elastisitasnya kompositnya.

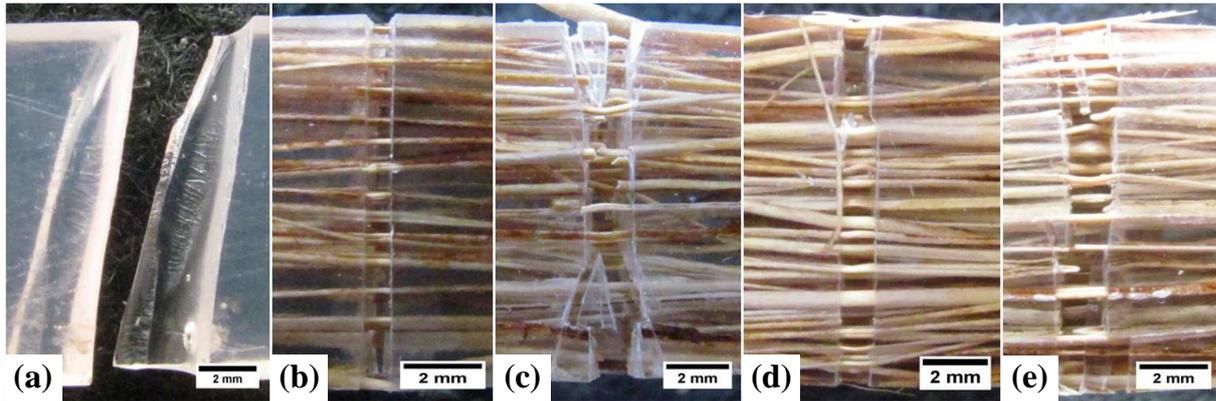
Untuk melihat perbedaan modulus elastisitas maka dilakukan perbandingan dengan penelitian lain yang dilakukan oleh Sutriawan (2011). Perbedaan grafik tersebut seperti pada Gambar 10.

Berdasarkan grafik di atas komposit harga tertinggi untuk serat gelas unidireksional/poliester pada $V_f = 53,34$ % yaitu 18,554 GPa dan terendah pada $V_f = 0$ % yaitu 3,763 GPa. Untuk serat sabut kelapa unidireksional/poliester nilai tertinggi pada $V_f = 10,7$ % yaitu 3,242 GPa dan terendah pada $V_f = 27,4$ % yaitu 2,215 GPa.

Moda patah uji flexural

Untuk mengetahui karakteristik penampang patahan pada material komposit dari spesimen benda uji setelah dilakukan pengujian bending, maka dilakukan pengamatan foto makro (Gambar 11) pada patahan serta pengamatan struktur mikro pada sisi tekan dan tarik terlihat pada Gambar 11.

Pada fraksi volume 0 % tidak menggunakan serat sebagai penguat, sehingga matrik menjadi satu-satunya media yang menerima beban bending. Oleh karena itu pula harga kekuatan bending pada ke lima spesimen dengan fraksi volume serat 0 % ini adalah yang paling tinggi dibandingkan dengan spesimen yang lain. Hal ini disebabkan pada $V_f = 10,7$ % dan 27,4 % terjadi *fiber pul-out* serta untuk $V_f = 17,6$ % dan 40,5 % terjadi *debonding* diikuti *fiber pull-out* serta terjadi *fiber breakage*. Kegagalan ini terjadi akibat kurang terbasahnya serat oleh matrik sehingga beban tidak bisa



GAMBAR 11. Moda patah lentur serat sabut kelapa unidireksional/poliester: (a) $V_f = 0\%$, (b) $V_f = 10,7\%$, (c) $V_f = 17,6\%$, (d) $V_f = 27,4\%$, dan (e) $V_f = 40,5\%$

dilanjutkan oleh serat. Bisa disimpulkan jika terjadi *debonding*, semakin besar V_f maka kekuatannya akan semakin turun.

Pada $V_f = 17,6\%$ terjadi *fiber pul-out* dan *debonding* dan pada $V_f = 27,4\%$ terjadi *fiber pull-out*, serat tercabut dari matrik akibat beban bending ketika matrik mengalami retak, sehingga kemampuan untuk menahan beban akan berkurang, namun komposit tersebut masih mampu menahan beban walaupun beban yang mampu ditahan lebih kecil daripada beban maksimum. Saat matrik retak, beban akan ditransfer dari matrik ke serat ditempat persinggungan retak. Seiring dengan bertambahnya deformasi, kemampuan untuk mendukung beban berasal dari serat, selanjutnya serat akan tercabut dari matrik akibat *debonding*.

KESIMPULAN

Berdasarkan pada analisis dan perhitungan data dari hasil pengujian tentang pengaruh fraksi volume serat sabut kelapa unidireksional/poliester, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis foto makro pada spesimen uji tarik dan uji bending untuk fraksi volume serat yang direncanakan secara teoritis, dengan menggunakan ρ_f yang dihasilkan dari pengujian massa jenis yaitu $0,54 \text{ (g/cm}^3\text{)}$ sebesar 10%, 20%, 30% dan 40%, ternyata fraksi volume serat aktualnya berturut-turut sebesar 10,7%, 17,6%, 27,4% dan 40,5%.

2. Hasil pengujian tarik dengan semakin bertambahnya fraksi volume serat semakin meningkatkan kekuatan dan regangan tarik, namun menurunkan modulus elastisitas tarik. Kekuatan tarik terendah pada $V_f = 10,7\%$ sebesar 18,92 MPa dan tertinggi pada $V_f = 40,5\%$ sebesar 30,01 MPa. Untuk regangannya mengalami kenaikan dengan harga regangan terendah yaitu pada $V_f = 10,7\%$ dan 17,6% sebesar 0,0172 mm/mm dan tertinggi pada $V_f = 40,5$ sebesar 0,0270 mm/mm. Untuk harga modulus elastisitas mengalami penurunan dengan harga terendah pada $V_f = 10,7\%$ yaitu 1,22 GPa dan tertinggi pada $V_f = 0\%$ sebesar 1,58 GPa. Berdasarkan hasil pengamatan dengan foto mikro dan makro didapatkan kegagalan yaitu pada $V_f = 0\%$ terjadi patah banyak lalu pada $V_f = 10,7\%$, 17,6% dan 27,4% terjadi patah tunggal diikuti *fiber pull-out* dan *debonding* dan pada $V_f = 40,5$ terjadi patah tunggal dan *fiber pul-out*.
3. Hasil pengujian bending dengan semakin bertambahnya fraksi volume serat harga kekuatan, regangan dan modulus elastisitas turun. Harga kekuatan bending terendah pada $V_f = 40,5\%$ sebesar 68,62 MPa dan tertinggi pada $V_f = 0\%$ sebesar 128,62 MPa. Untuk regangan bending juga mengalami penurunan dengan harga terendah pada $V_f = 27,4\%$ sebesar 0,032 mm/mm. Lalu harga modulus elastisitas juga mengalami penurunan dengan harga

terendah pada $V_f = 40,5\%$ sebesar 2,192 GPa dan harga tertinggi pada $V_f = 10,7\%$ sebesar 3,242 GPa. Pada pengamatan foto makro penampang patahan untuk $V_f = 0\%$ mengalami patah tunggal, sedangkan untuk $V_f = 10,7\%$ mengalami patah tunggal serta *fiber pul-out* dan pada $V_f = 27,4\%$ mengalami patah tunggal serta *fiber pul-out*. Lalu untuk $V_f = 17,6\%$ dan $40,5\%$ mengalami patah tunggal, *debonding* diikuti *fiber pull-out*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1998, "Annual Book ASTM Standard", USA.
- Hakim, A., 2007, "Forum Sains Indonesia, Teknologi Material Komposit" 27/9/2010
- Prasetyo, B., 2007, "Kajian Perlakuan Alkali Terhadap Kekuatan Bending Bahan Komposit Serat Sabut Kelapa/Poliester", Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Rahayu, L.R., 2007, "Pengaruh Perlakuan Alkali Serat Terhadap Kekuatan Bending Komposit Berpenguat Limbah Serat Rami Acak Dengan Matrik Poliester", Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Rao, K.M.M. dan Rao, K.M., "Extraction and tensile properties of natural fibres: vakka, date and bamboo", *Composite Structures*, Vol. 77, 2007: 288-295.
- Sabari, I., 2009, "Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik, Harga Impak dan Kemampuan Serap Bunyi Dari Komposit Serat Sabut Kelapa Anyaman 3D" Skripsi Teknik Mesin UMM.
- Saputra, Y.E., 2007, "Pengaruh Perlakuan Alkali (NaOH) Terhadap Kekuatan Bending Komposit Limbah Serat Aren/Poliester", Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- Saryanto, 2010, "Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Pada Pelapisan Komposit Menggunakan Timah Putih" Skripsi Teknik Mesin, UMS.
- Sudarisman, 2009, "Flexural behaviour of hybrid FRP composites", thesis, Curtin University of Technology, Australia.
- Surdia, T., dan Saito, S., 2005, Material Teknik, Pradnya Paramita
- Sutriawan, A., 2011, "Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Tarik dan Bending Pada Komposit Unidireksional Serat Gelas/Polyester" Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- http://www.frpservices.com/html/html_files/datasheets/SHCPs268.pdf, diunduh tanggal 1 Maret 2011.

PENULIS:

Sudarisman

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia.

Email: sudarisman05@yahoo.com.au

Berli Paripurna Kamiel

Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia.

Slamet Rahadi

Alumni, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia.