

## Karakterisasi Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Lamina Serat Anyam Sisal Dan Gelas Diperkuat Polyester

(Characterization of Tensile Strength Laminate Hybrid Composite of Woven Sisal Fibers and Fiberglass Reinforced Polyester)

FERRIAWAN YUDHANTO, SUDARISMAN, M.RIDLWAN

### ABSTRACT

Hybrid fiber composite is a combination of two or more types of fiber that can be based on the architecture or type of the reinforcement. In this study, smoothly spun agave sisalana and cotton yarn were woven to produce sisal-cotton hybrid fabric. The sisal-cotton hybrid fabric (S) was combined with woven glass fabric (FG) to produce hybrid fiber reinforcing system. Four variations of hybrid fiber reinforcement, i.e. three layers of woven glass fabric (FG-FG-FG), glass-sisal-glass fabrics (FG-S-FG), sisal-glass-sisal fabrics (S-FG-S), and three layers of woven sisal-cotton fabric (S-S-S), each embedded in polyester resin were fabricated using cold press mold method. It was expected that the hybrid fiber composite exhibited new properties derived from both types of fiber so that the advantages of each fiber type would appear on the mechanical properties of the hybrid composite systems. The properties being evaluated were tensile properties and density. The results showed that the highest tensile strength of the hybrid systems (FG-S-FG: 117 MPa) is a combination of those of both types of reinforcement, tend to obey the rule of mixtures, i.e. higher than that of natural fiber composite (S-S-S: 48 MPa) but lower than that of glass fiber composite (FG-FG-FG: 133 MPa). Tensile strain-to-failure was noted being sharply increase from 0.33% for GFRP composit up to above 1.07% by replacing the middle layer of FG reinforcement with S reinforcement. Whilst the density of the S-FG-S hybrid system seems to obey the rule of mixtures, that of the FG-S-FG hybrid system was observed lower than expected. This may due to the resin requires longer time to wet the fibers so that the air between fibers did not posses enough time to evacuate at the jell time being reached such that producing void leading to lowering the density.

**Key words:** Hybrid Fiber Composite, Sisal, Glass, Tensile Properties, Density

### PENDAHULUAN

Serat alami (*natural fiber*) adalah serat yang berasal dari tumbuhan atau hewan yang bersulur-sulur seperti benang. Untuk mendapatkan bentuk serat, diperlukan beberapa tahap pemrosesan tergantung pada karakter bahan dasarnya. Serat dari tumbuhan antara lain kapas, pelepah pisang, enceng gondok, dan rami. Sedangkan serat dari hewan misalnya wool, sutra, dan bulu burung.

Keuntungan mendasar yang dimiliki serat alami adalah jumlahnya melimpah, memiliki *specific cost* yang rendah, dapat diperbaharui (*renewable*) dan didaur ulang serta tidak mencemari lingkungan. *Agave Sisalana Perrine* (*Agave SP*) merupakan salah satu jenis tanaman

penghasil serat dari daunnya sehingga tergolong tanaman serat daun. Serat ini banyak digunakan untuk tali-temali dan juga untuk pembuatan karung, tali ikan, jala, sapu, keset serta produk kerajinan komersial yang lain karena sifatnya yang kuat, tidak mulur dan tahan terhadap air laut (Sastrosupadi, 2006). Dengan demikian substitusi penggunaan bahan-bahan sintesis dengan bahan alami yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui menjadi persyaratan produk. Pemanfaatan bahan-bahan alami ini terutama serat untuk media penguatan belum banyak diaplikasikan pada bagian struktur yang mampu menerima beban dari luar khususnya untuk aplikasi-aplikasi khusus.

Adanya komposit *hybrid* yang merupakan gabungan dari beberapa lapisan yang searah (*unidirectional*) yang disusun dengan jumlah

dan urutan tertentu, belum optimalnya penggunaan komposit *hybrid* merupakan peluang yang baik untuk diteliti lebih lanjut untuk pemakaian aplikasi struktur komposit secara lebih luas.

Alavudeen *et. al.* (2014) meneliti sifat-sifat mekanis dari 2 jenis serat alami yaitu serat pisang dan serat kenaf. Serat dibuat spesimen dengan ukuran 300 mm x 300 mm x 4 mm dengan orientasi acak (*random*) dan orientasi yang terstruktur yaitu anyaman (*plain weave*). Eksperimen memvariasikan serat tersebut dalam 6 variasi yaitu BP (Banan Plain), KP (*Kenaf Plain*), HP (*Hybrid Plain*), BR (*Banana Random*), KR (*Kenaf Random*), HR (*Hybrid Random*). Dari hasil pengujian tarik (*tensile strength*) didapatkan hasil terendah pada BR dan KR yaitu 58-64 MPa sedangkan untuk hybrid random hanya dapat mencapai nilai 68 MPa. Sedangkan untuk variasi *plain weave* memiliki nilai yang lebih baik dari variasi acak yaitu BP 74 MPa, KP 115 MPa dan HP 140 MPa. Hal ini menunjukkan bahwa gabungan antara dua serat alami dalam bentuk orientasi anyaman terstruktur memiliki nilai kekuatan tarik yang sangat baik dan regangan yang baik pula.

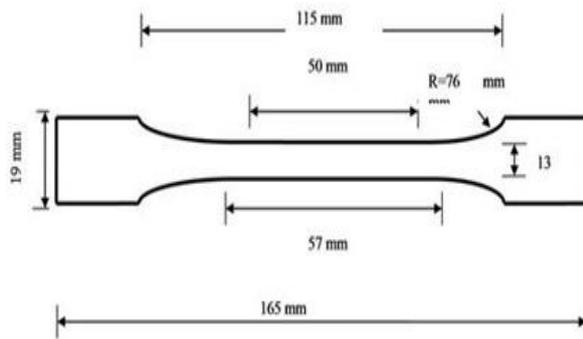
Yahaya *et. al.* (2014) melakukan penelitian terhadap komposit *hybrid* dengan metode manufaktur *hand lay up* menawarkan solusi pengurangan material sintetis yang tidak ramah lingkungan tetapi tetap memiliki kekuatan yang baik terhadap beban pada struktur komposit. Variasi yang dilakukan adalah berdasarkan fraksi berat yaitu aramid (Kevlar)/kenaf beturut turut yaitu 78/22 (H1), 60/40 (H2), 50/50 (H3), 26/74 (H4), 32/68 (H5), 100/0 dan 0/100. Dari hasil pengujian tarik didapatkan hasil bahwa 100/0 (100% Kevlar) memiliki nilai yang paling tinggi yaitu 240 MPa sedangkan tegangan tarik untuk hybrid komposit H1 memiliki nilai tegangan 200 MPa, hybrid H2 turun lagi menjadi 150 MPa dan hybrid H3 hanya 100 MPa. Hybrid komposit dibawah rasio 50:50 memiliki harga yang lebih rendah lagi yaitu untuk variasi H4 (50 MPa) dan H5 (60 MPa) sedangkan untuk semua kenaf hanya 16 MPa. Nilai regangan terbaik ditunjukkan oleh H4 (32/68) dengan nilai 14% artinya dengan bertambahnya fraksi serat alami maka regangan semakin tinggi. Selanjutnya H1, H2

dan H5 juga memiliki regangan yang baik berkisar di 11-12%. Dari penelitian ini diambil kesimpulan bahwa komposit *hybrid* sintetis dan serat alami masih mempunyai ketahanan tegangan tarik dan regangan yang baik untuk dapat diaplikasikan di produk-produk komposit.

Rasindradita G. (2012) melakukan penelitian pengaruh penambahan persentase fraksi volume *hollow glass microsphere* komposit hibrida lamina dengan penguat serat anyaman terhadap karakteristik tarik dan bending. Untuk mendapatkan material komposit yang memiliki berat lebih ringan tanpa mengurangi kelebihan dari material komposit, maka saat ini dikembangkan material berupa polimer *foam* komposit. Material ini diproduksi dengan cara mencampur resin dengan jenis filler *Hollow Glass Microsphere* (HGM). Filler HGS berbentuk *spherical* dan terdiri dari permukaan kaca yang kaku serta mengandung *inert gas* didalamnya sehingga memiliki sifat yang unik seperti berat jenis yang rendah (0,3 – 0,6 g/cc), kekuatan tekan tinggi (3000 – 30.000 psi), serta titik leleh yang tinggi (600 °C) dan konduktivitas termal yang rendah. Dari penelitian ini dapat disimpulkan peningkatan fraksi volume *filler* 10% *hollow glass microsphere* pada komposit hibrida lamina dapat menaikkan tegangan tarik serta regangan tarik dan pada penambahan 20% dan 30% *hollow glass microsphere* menurunkan nilai tegangan dan regangan tarik.

## METODE

Pembuatan produk komposit *hybrid* dengan metode *press mold* dengan menggunakan dua jenis serat yaitu anyaman serat gelas (*woven glass fiber* atau *fabric*) dan anyaman serat sisal *hybrid* kemudian dibuat dengan komposisi 3 lapisan material penguat (*3-layer reinforcement*) yang kemudian dibasahi dengan resin lalu dipress menggunakan dua alat press berkekuatan 2 ton. Panel yang sudah jadi yang berukuran p x l x t 20 x 10 x 3,5 cm kemudian dibentuk menjadi spesimen uji tarik mengacu ke standar ASTM D 638 (Gambar 1).



GAMBAR 1. Standar Uji tarik ASTM D 638

Pengujian tarik ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekuatan tarik (*tensile strength*), regangan patah (*strain-to-failure*), dan modulus elastis (*elastic modulus*) menggunakan *Universal Testing Machine* Servopulser (Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta). Persamaan yang linier hubungan antara tegangan dan regangan dapat digambarkan seperti rumus di bawah ini:

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (1)$$

Tegangan dapat diartikan sebagai perbandingan antara gaya dibagi dengan luas penampang mula atau awal ;

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2)$$

Regangan dapat diartikan nilai selisih panjang akhir dengan panjang mula dibagi dengan panjang semula dikalikan dengan prosentasi ;

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (3)$$

Modulus elastisitas adalah nilai atau angka yang digunakan untuk mengukur ketahanan bahan atau objek atau spesimen untuk mengalami deformasi elastis ketika gaya diterapkan pada benda itu , dengan cara membandingkan nilai tegangan dengan regangan ;

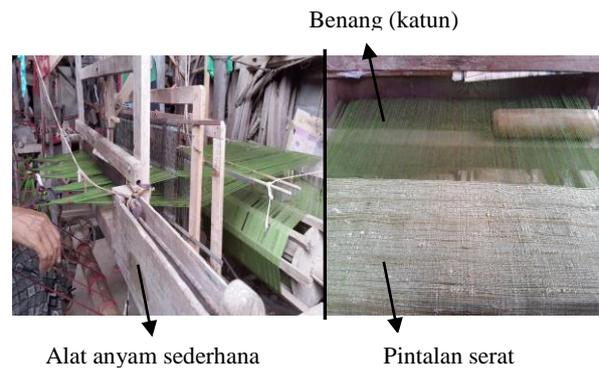
$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

Dengan catatan :

$\sigma$  = Kekuatan Tarik (N/mm<sup>2</sup>)

$F$  = Gaya (N)

$A_0$  = Luas permukaan awal (mm<sup>2</sup>)



Alat anyam sederhana

Pintalan serat

GAMBAR 2. Proses Manufaktur Anyaman Serat Sisal dan Benang sintetis

$E$  = Modulus Elastisitas (Gpa)

$\varepsilon$  = Perpanjangan atau regangan (%)

$\Delta L$  = Selisih panjang akhir dan mula (mm)

$L_0$  = Panjang Awal (mm)

Densitas bahan adalah nilai perbandingan massa benda dengan volume benda

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Dengan catatan :

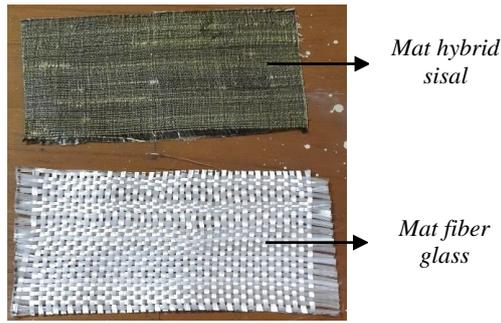
$m$  = massa benda (gram)

$v$  = volume benda (cm<sup>3</sup>)

$\rho$  = massa jenis (gram/cm<sup>3</sup>)

Proses manufaktur pembuatan anyaman serat sisal menggunakan mesin anyam sederhana seperti pada Gambar 2. Serat sisal terlebih dahulu dicuci dalam air bersih dan dikeringkan dengan bantuan dijemur di bawah matahari selama 1 hari. Kemudian serat dipilin dan dipintal halus melalui alat pintal sederhana terbuat dari kayu. Pintalan serat sisal ini kemudian dianyam melalui alat anyaman sederhana di Desa Gamplong, Sleman, Yogyakarta. Desa ini terkenal dengan hasil tenun kainnya maupun kerajinan anyaman dari serat alam.

Variasi yang dilakukan 4 (empat) jenis dengan kode variasi seras sisal (S) dan *Glass Fiber* (FG). Variasi pertama yaitu 3 layer semua serat sisal (S-S-S), variasi kedua (FG-S-FG), variasi ketiga (S-FG-S) dan yang keempat semua serat glass (FG-FG-FG). Bentuk *fabric* (anyaman) serat glass dan *fabric* (anyaman) hybrid serat sisal ditunjukkan pada Gambar 3.



GAMBAR 3. Jenis serat yang dilaminasi menjadi 3 ply laminate hybrid composite



GAMBAR 4. Contoh spesimen uji tarik FG-FG-FG dan S-FG-S

Bahan matriks yang digunakan adalah poliester jenis resin *unsaturated polyester* Yucalac 157 BTQN ditambah dengan MEKPO (Metil Etil Keton Peroksida) sebagai katalisnya.

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

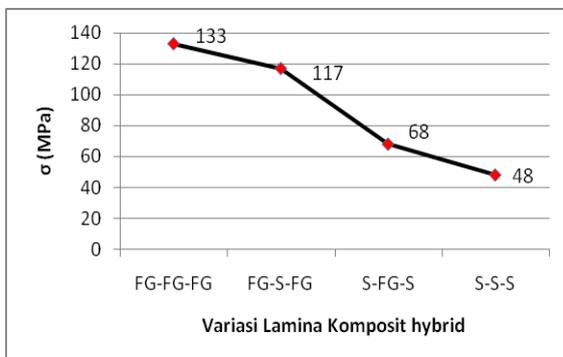
Pengujian tarik (*tensile test*) dilakukan terhadap 4 (empat) variasi. Masing-masing variasi terdiri dari 4 spesimen uji tarik sehingga semua spesimen berjumlah 16 buah. Adapun spesimen yang akan diuji seperti pada Gambar 4.

Kekuatan tarik (*tensile strength*) diperoleh kecenderungan menurun sesuai seiring dengan bertambahnya jumlah lapisan penguat serat gelas yang digantikan dengan serat sisal.

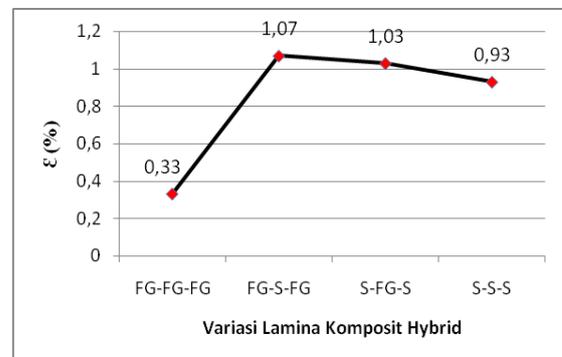
Kekuatan tarik tertinggi diperoleh 133 MPa untuk specimen dengan 3 layer glass fiber

*fabric*. Hasil komposit *hybrid* terbaik ada di *hybrid* 1 (FG-S-FG) sebesar 117 MPa, sedangkan pada *hybrid* 2 (S-FG-S) diperoleh 68 Mpa, dan yang paling rendah ada pada variasi 3 layer *fabric* sisal sebesar 48 MPa.

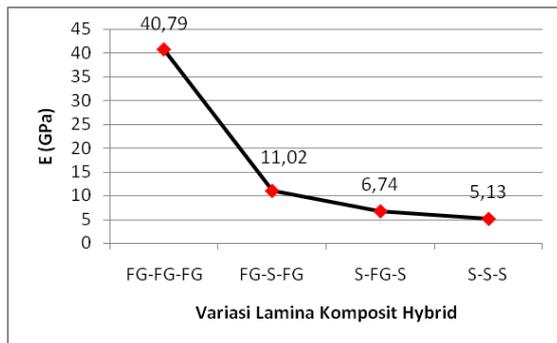
Regangan patah menunjukkan kecenderungan yang terbalik. Pada variasi 3 layer *mat glass fiber fabric* berada pada posisi terendah di antara lainnya yaitu 0,33%. Jika kita lihat dari Gambar 5, regangan patah pada 3 layer *fabric* sisal 0,93% sedangkan pada *hybrid* antara *fabric* serat sisal dan *glass fiber fabric* didapatkan regangan komposit *hybrid* yang lebih tinggi diantara serat alam sisal maupun serat sintetis gelas (*fiber glass*) yaitu di atas 1%. Dari data ini dapat diambil kesimpulan juga bahwa komposit serat gelas memiliki sifat getas. Hasil dari regangan komposit lamina *fiber glass*, *hybrid* dan sisal dapat dilihat pada Gambar 6.



GAMBAR 5. Hasil Tegangan Tarik



GAMBAR 6. Hasil Uji Regangan

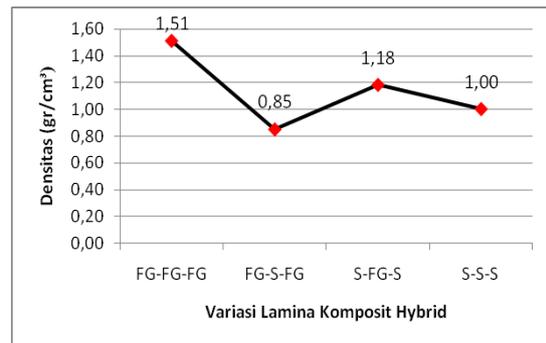


GAMBAR 7. Hasil Modulus Elastisitas

Grafik di atas menunjukkan perbandingan modulus elastisitas spesimen komposit *fabric fiberglass*, komposit *hybrid fabric* dan *fabric sisal*.

Hasil dari perhitungan modulus elastisitas bahan komposit *hybrid* didapatkan grafik cenderung menurun, Gambar 7, dengan nilai tertinggi didapatkan pada spesimen komposit berpenguat 3 layer serat gelas yaitu 40,79 GPa dan terendah pada spesimen komposit berpenguat 3 layer serat sisal sebesar 5,13 GPa. Hal ini sesuai dengan hukum bahan-bahan campuran. Dalam hal ini karena serat kaca memiliki modulus Young (76-78 GPa (Wallenberger, Watson, dan Li, 2001)) yang jauh lebih tinggi dari modulus elastisitas serat sisal (8,41-34,16 GPa (Joseph, dkk., 1999)) sehingga makin tinggi kandungan serat gelasnya akan makin tinggi pula modulus elastisitasnya.

Penghitungan densitas atau massa jenis bahan komposit *hybrid* dilakukan dengan membandingkan berat spesimen terhadap volumenya. Dengan alasan yang sama dengan pada modulus elastisitas, densitas spesimen



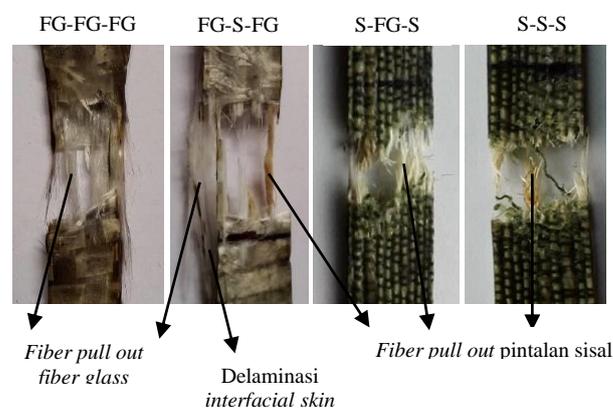
GAMBAR 8. Hasil Evaluasi Densitas

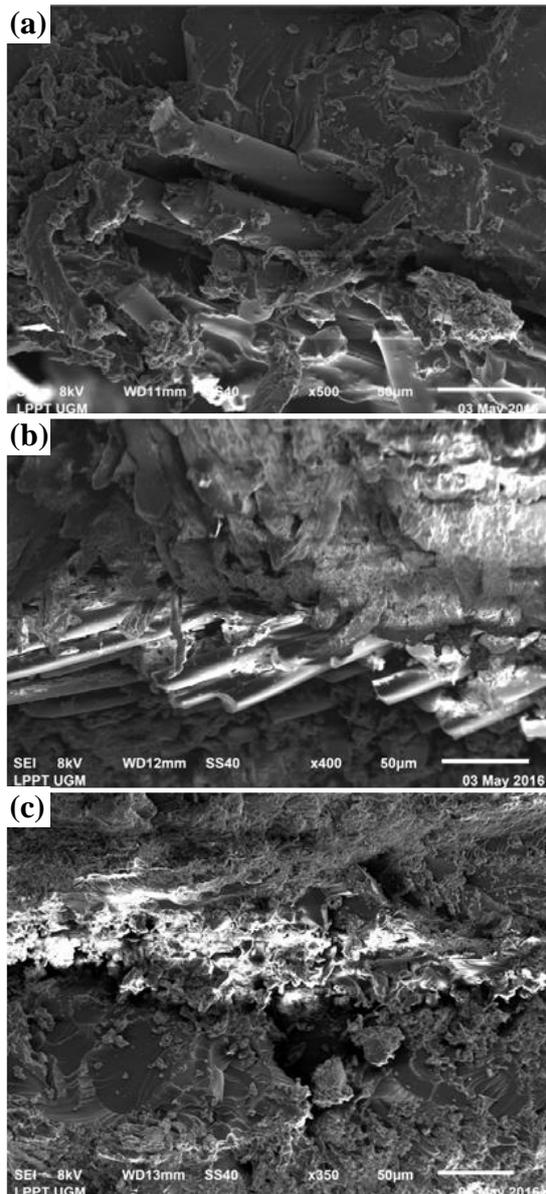
komposit berpenguat 3 *ply glass fiber* memiliki densitas yang paling tinggi yaitu 1,51 gr/cm diantara yang lain, dan densitas terendah adalah pada spesimen komposit FG-S-FG, didapatkan hasil 0,85 g/cm<sup>3</sup>. Hasil yang rendah ini disebabkan adanya void atau udara terjebak dalam lapisan tengah komposit *hybrid* yaitu pada *hybrid fabric* sisal sehingga menyebabkan nilai massa jenisnya kecil.

Posisi lapisan serat alam yang berada di tengah menyebabkan pembasahannya oleh matrik cair terlambat, sehingga belum dicapai pembasahan penuh ketika matrik cair mulai membentuk gel. Akibatnya udara yang masih terjebak diantara fiber sisal tidak dapat ditekan keluar dan membentuk gelembung udara atau void. Pada dasarnya membasahi serat sintetik seperti serat gelas dengan resin lebih mudah sehingga jarang terjadi *porous*.

*Curing* pada matrik poliester adalah proses reaksi kimia pada resin yang dipicu oleh katalis, sedangkan pada matrik epoksi merupakan reaksi kimia antara resin dengan *hardener*.

Foto-foto makro patahan setelah uji tarik diperlihatkan pada Gambar 9 di atas.

GAMBAR 9. Patahan komposit *hybrid* serat sisal-*fiberglass*



GAMBAR 10. Photo SEM: (a) Ikatan yang baik antara fiberglass dengan matriks, (b) Ikatan 3 Lapisan fabric dari variasi Sisal-Fiberglass-Sisal (S-FG-S), (c) Ikatan yang kurang baik antara hybrid fabric sisal dengan matriks

Pengujian metalografi SEM (*Scanning Electron Microscope*) pada spesimen komposit *hybrid* dilakukan di LPPT (Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu) UGM. Hasil pengujian SEM menunjukkan pada foto FG-S-FG terjadi porous atau kurang sempurnanya ikatan antara matriks dan *hybrid fabric* serat sisal. Pada variasi lapisan anyam murni fiberglass didapatkan matriks sempurna mengikat serat. Dan terakhir lapisan anyam murni sisal didapat ikatan yang masih kurang baik akibat kurang meratanya cairan resin yang mengisi

celah-celah anyaman serat alam sisal (Gambar 10).

## KESIMPULAN

Dengan kekuatan 68 MPa (S-FG-S) sampai dengan 117 MPa (FG-S-FG) komposit *hybrid fabric* serat alam sisal dan *fabric* serat gelas (*fiberglass*) dapat dijadikan bahan alternatif untuk aplikasi komposit struktur yang mempertimbangkan kekuatan bahan seperti pada pembuatan lambung kapal dengan kekuatan tarik minimal 85 MPa (Biro Klasifikasi Indonesia), pembuatan sambungan kaki buatan (soket *prosthesis*) dengan kekuatan tarik minimal 80 MPa (ISO10328-3) dan Helm pada pengendara sepeda motor dengan kekuatan tarik minimal 34 MPa (SNI 1811-2007).

Setelah dilakukan pengujian tarik dapat diketahui bahwa serat *agave sisalana* yang sudah dianyam bersifat ulet dan tidak getas serta cenderung memiliki regangan yang relatif tinggi. Jenis patahan juga menunjukkan arah keuletan yang tinggi yaitu bentuk patahan didominasi oleh *fiber pull out*.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Bapak Sunhaji selaku teknisi pada Laboratorium Bahan Teknik Universitas Gadjah Mada (UGM) dan Deni Andriansyah *Composite Research Group* (CRG) di Laboratorium Proses Produksi Universitas Islam Indonesia (UII).

## DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book of Standards, D790-02, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*<sup>1</sup>, ASTM, 2002.
- Anonim, 2001, *Technical data Sheet*, PT *Justus Sakti Raya Corporation*, Jakarta.
- Alavudeen, A., N. Rajini, S. Karthikeyan, M. Thiruchitrabalam, and N. Venkateshwareen, 2015, *Mechanical properties of banana/kenaf fiber-reinforced hybrid polyester composites*:

- Effect of woven fabric and random orientation. Materials & Design 66 : 246-257.*
- BS ISO 10328-3: 1996, *Prosthetics, Structural Testing of Lower-Limb Prostheses, Principal Structural Tests.* <http://www.iso.org>.
- Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), 2006, *Peraturan Untuk Material non-metal.* Jakarta
- Gibson, O.F., 1994, *Principle of Composite Materials Mechanics*, McGraw-Hill Inc., New York, USA.
- Lukkassen, D, Meidell, A, 2003, *Advanced Materials and Structures, and their Fabrication Processes*, Third edition, Narvik University College, HiN
- Jones, R.M., 1999, *Mechanics of Composite Materials*, Mc Graw Hill, New York. USA.
- Joseph, K., Filho, R.D.T., James, B., Thomas, S., dan de Carvalho, L.H., 1999. *A review on sisal fiber reinforced polymer composites.* Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 3(3): p.367-379, 1999.
- Rasindradita M dan Berata W., 2013, *Pengaruh Penambahan Prosentase Fraksi Volume Hollow Glass Mircosphere Komposit Hibrida Lamina dengan Penguat Serat Anyaman Terhadap Karakteristik Tarik dan Bending.* Tugas Akhir Teknik Mesin, FTI- ITS, Surabaya
- Sastrosupadi A., 2006, *Potensi Jawa Timur Sebagai Penghasil Serat Alam untuk Berbagai Agro Industri.* Sinar Tani Edisi 12-18 April 2006
- Surdia T, Saito S., 1992, *Pengetahuan Bahan Teknik.* Pradnya Paramita, Jakarta, Indonesia
- SNI 1811-2007,, 2007, *Helm Pengendara Kendaraan Bermotor Beroda Dua.* Badan Standarisasi Nasional Indonesia
- Wallenberger, F.T., Watson, J.C., dan Li, H., 2001. *Glass fibers.* ASM Handbook, Vol. 21: Composites.
- Yahaya, R., Sapuan., S.M., Jawaid, M., Leman, Z. and Zainudin, E.S., 2014, *Mechanical performance of woven kenaf-Kevlar hybrid composites.* Journal of Reinforced Plastics and composites, 33 (24), pp.2242-2254.

---

 PENULIS:

Ferriawan Yudhanto

Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, 55183.

E-Mail : ferriawan@umy.ac.id

Sudarisman

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan Lingkar Selatan, Tamantirto, Kasihan, Bantul, Yogyakarta, 55183.

Muhammad Ridlwan

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jalan Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55501.