

SIFAT TARIK KOMPOSIT SERAT DAUN AGEK TANPA PERLAKUAN KIMIA DENGAN Matrik *POLYESTER* DAN *EPOXY*

Afid Nugroho

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada
e-mail: afidnugroho83@gmail.com

Kusmono, Hendri Hestiawan

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada
e-mail: kusmono@ugm.ac.id; hestiawan1@yahoo.com

Abstrak

Komposit polimer berpenguat serat alam mempunyai prospek yang sangat baik untuk dikembangkan di negara berkembang, seperti Indonesia. Pengembangan teknologi komposit berpenguat serat alam sejalan dengan kebijakan pemerintah untuk menggali potensi local genius yang ada. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh matrik yang digunakan dalam pembuatan komposit terhadap kekuatan tarik komposit serat daun agel yang dianyam tanpa perlakuan kimia, mengetahui ikatan mekanik dan menyelidiki mekanisme perpatahan komposit. Penelitian dilakukan dengan menggunakan satu jenis serat alam yaitu serat daun agel yang telah dianyam dengan ukuran 20x20 cm sebanyak 6 lembar sedangkan matriknya menggunakan unsaturated polyester dan epoxy. Metode pembuatan komposit menggunakan vacuum bagging. Pengujian tarik (tensile test) yang dilakukan dengan mesin uji tarik Tensilon, bentuk dan ukuran spesimen sesuai dengan ukuran standar ASTM D 638. Berdasarkan hasil uji tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik komposit serat daun agel dengan matrik epoxy adalah 31 MPa lebih tinggi dibandingkan dengan matrik unsaturated polyester yang hanya 25 MPa. Bentuk perpatahan yang terjadi menunjukkan adanya fiber pull out karena ikatan (mechanical bonding) antara serat dan matrik yang rendah.

Kata kunci: serat daun agel, Tanpa Perlakuan, unsaturated polyester, epoxy, Sifat Tarik.

Abstract

Natural fiber reinforcement polymer composites have good prospects for development in developing countries, such as Indonesia. Composite technology development of natural fiber line with government policy to explore the potential of the existing local genius. The aim of this research is to know the influence of matrix used in making composite to tensile strength of agel leaf fiber composite woven without chemical treatment, to know mechanical bond and to investigate composite fracture mechanism. Research carried out by using one type of natural fibers are leaf fibers that have been woven agel with size 20x20 cm 6 plys while matrix using unsaturated polyester and epoxy. Methods of making composites using vacuum bagging. Tensile test conducted by Tensilon tensile test machine, the shape and size of the specimens in accordance with ASTM standard D 638. Based on the results of tensile tests showed that the tensile strength fiber composite leaf agel with epoxy matrix is 31 MPa higher than the matrix unsaturated polyester which is only 25 MPa. Form of fracture happens indicate fiber pull out because of bonding (mechanical bonding) between the fiber and the matrix is low.

Keywords: agel leaf fiber, without treatment, unsaturated polyester, epoxy, tensile properties.

PENDAHULUAN

Komposit polimer berpenguat serat alam mempunyai prospek yang sangat baik untuk dikembangkan di negara berkembang, seperti Indonesia. Pengembangan teknologi komposit berpenguat serat alam sejalan dengan kebijakan pemerintah untuk menggali potensi *local genius* yang ada. Keberhasilan pengembangan komposit serat alam ini diharapkan mampu meningkatkan nilai teknologi dan nilai ekonomi serat alam (Jamasri, 2008). Walaupun tak sepenuhnya dapat menggeser serat sintesis, pemanfaatan serat alam merupakan langkah bijak dalam hal lingkungan hidup. Salah satu serat alam yang terdapat di Indonesia adalah serat daun agel yang berasal dari pohon gebang (*Corypha gebanga*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Daunnya yang besar sering digunakan untuk atap rumah, sedangkan seratnya digunakan sebagai bahan utama tali-temali, tas, topi, kursi dan kerajinan lainnya. Pemanfaatan agel yang tahan terhadap air laut untuk tali kapal diperkirakan telah dilakukan sebelum daerah yang sekarang disebut sebagai Pantura (Tuban, Lamongan, Gresik, Jepara) menjadi pelabuhan dan tempat galangan kapal pada zaman kerajaan Majapahit tahun 1400-an (H 2006). Berdasarkan kenyataan tersebut, maka serat daun agel berpotensi untuk dijadikan material penguat komposit. Pemanfaatan serat daun agel sebagai material penguat komposit akan meningkatkan nilai tambah dari pohon gebang (*Corypha gebanga*).



Gambar 1. Pohon gebang

Serat alam memiliki beberapa kelebihan, antara lain lebih ramah lingkungan, *density* rendah, dapat didaur ulang, dapat diuraikan alam, tidak beracun, biaya rendah, konsumsi energi rendah, sifat mekanis spesifik tinggi, serta sifat non-abrasif dan penahan panas yang baik (Mohanty dkk. 2002); (Sreenivasan dkk. 2011); (Nguong dkk. 2013). Walaupun demikian serat alam juga memiliki kelemahan, antara lain tingkat kelembaban tinggi, sifat ketahanan air dan variasi ukuran yang masih tidak seragam (Baillie, 2005).

Kualitas sifat fisis dan mekanis serat alam sangat bergantung dari tempat tumbuh, lokasi geografis, komposisi kimia dan umur tanaman. Permasalahan yang dihadapi dalam memanfaatkan serat alam adalah sifat mekanis yang masih relatif rendah dibandingkan dengan serat sintesis (Joseph dkk. 1999). Hassan dkk. (2010) setelah melakukan penelitian, menyebutkan bahwa salah satu kelemahan dari penguat serat alam adalah kompatibilitas rendah antara matrik yang bersifat *hydrophobic* dan serat alam yang bersifat *hydrophilic*. Sifat *hydrophilic* merupakan kemampuan serat dalam menyerap kandungan air dari lingkungan bebas, sedangkan *hydrophobic* memiliki sifat menolak air. Kandungan air yang dimiliki serat mempengaruhi sifat kimia, fisis, dan mekanisnya serta dapat mengurangi kemampuan rekat antara serat dan matrik polimer (Swamy dkk. 2004).

Sifat mekanis komposit serat sangat dipengaruhi oleh banyak faktor antara lain: jenis serat, jenis matrik (resin), rasio serat terhadap resin, geometri dan orientasi serat pada komposit (Callister, 2007). Jenis matrik dapat dikelompokkan dalam 3 jenis yaitu *thermoplastic*, *thermoset* dan *elastomer*. Matrik yang banyak digunakan merupakan jenis polimer *thermoset* antara lain resin *epoxy*, *polyester*, dan *phenol* (Mwaikambo & Ansell, 2002). Prasetyaningrum dkk., (2009) melaporkan bahwa resin poliester memiliki kekuatan mekanik yang baik dan didukung oleh harga yang lebih ekonomis karena memiliki sifat-sifat berupa: 1) gaya adhesi yang cukup baik, namun lebih rendah dari epoxy, 2) ketahanan yang baik terhadap panas, bahan kimia, asam, maupun basa, dan 3) membentuk komposit yang baik dengan kayu, logam, serat gelas, plastik, dan serat alam. Di samping

keunggulan yang dimilikinya, poliester juga memiliki kelemahan, antara lain: sifat ketahanan nyala api dan ketahanan panas lebih rendah dibandingkan resin *phenolyc*.

Komposit dengan matrik thermoset dan penguat serat alam telah banyak diteliti. Beberapa contoh penelitian sebelumnya antara lain: komposit serat rami-poliester, dimana serat rami kontinyu direndam di dalam larutan alkali (5% NaOH) dengan variasi waktu perendaman 0, 2, 4, dan 6 jam. Komposit dibuat dengan metode cetak tekan untuk fraksi volume serat (V_f) sekitar 35%. Spesimen uji tarik dibuat sesuai dengan standar ASTM D-638. Semua spesimen dilakukan *post cure* pada suhu 62°C selama 4 jam. Hasil menunjukkan bahwa kekuatan dan regangan tarik komposit memiliki harga optimum untuk perlakuan serat 2 jam, yaitu 190.27 Mpa dan 0.44%. Komposit yang diperkuat serat yang dikenai perlakuan 6 jam memiliki kekuatan terendah. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat perlakuan 0, 2, dan 4 jam diklasifikasikan sebagai jenis patah *slitting in multiple area*. Sebaliknya, penampang patahan komposit yang diperkuat serat perlakuan 6 jam memiliki jenis patah tunggal. Penampang patahan komposit yang diperkuat serat tanpa perlakuan menunjukkan adanya *fiber pull out* (Diharjo, 2006). Alavudeen dkk., (2014) melakukan penelitian tentang sifat mekanik komposit serat pisang dan kenaf dengan matrik *unsaturated polyester*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh arah serat yang dianyam dan acak dari serat pisang dan kenaf terhadap sifat mekanik. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah serat pisang, kenaf dan poliester. Metode pembuatannya menggunakan *hand layup*. Perlakuan pada serat sebelum menjadi komposit adalah dengan perlakuan alkali dan silane agar meningkatkan kekuatan mekanik pada ikatan permukaannya dengan matrik. Pengujian mekanik yang dilakukan antara lain kekuatan tarik, kekuatan *bending* dan kekuatan impak. Hasil penelitian menunjukkan komposit *hybrid* dengan anyaman memiliki kekuatan tarik, *bending* dan impak yang paling tinggi. Yudhanto dkk., (2016) meneliti karakterisasi kekuatan tarik komposit *hybrid* lamina serat anyam sisal dan gelas dengan matriks poliester. Kekuatan tarik 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%. 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 sintesis gelas (*fiber glass*) yaitu di atas 1%. Dari data ini dapat diambil kesimpulan juga bahwa komposit serat gelas memiliki sifat getas. Owen & Ati (2014) melakukan penelitian pengaruh alkali terhadap sifat mekanik dari komposit serat *jute* yang diperkuat *epoxy*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa perlakuan alkali meningkatkan sifat mekanik komposit serat *jute* yang diperkuat *epoxy*. Setelah perlakuan kimia sifat mekanik komposit serat *jute* yang diperkuat *epoxy* meningkat yakni dari 15.53 MPa menjadi 19.86 MPa dan juga dari 12.79 MPa menjadi 19.58 MPa setelah dilakukan *treatment* pada serat *jute*.

Hasil penelitian awal yang dilakukan oleh Hestiawan dkk., (2016) menunjukkan kekuatan tarik (*tensile strength*) dari serat bundle daun agel tanpa perlakuan kimia dan beberapa perlakuan kimia seperti alkali dan silane. Kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada serat bundle daun agel dengan perlakuan kimia alkali yaitu 4% NaOH selama 1 jam sebesar 1464 MPa. Sedangkan pada serat bundle daun agel tanpa perlakuan kekuatan tariknya sekitar 1000 MPa. Berdasarkan data di atas serat daun agel memungkinkan untuk dijadikan material penguat komposit.

Namun pada penelitian ini akan dipelajari pengaruh dari matrik yang berbeda yakni *unsaturated polyester* dan *epoxy* yang digunakan pada pembuatan komposit serat daun agel tanpa perlakuan kimia yang telah dianyam (*woven/0-90^{\circ}*) dengan metode *vacuum bagging* terhadap sifat tarik bahan komposit dan ikatan mekaniknya. Karakteristik mekanisme patahannya diamati menggunakan foto makro. Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengilhami para peneliti selanjutnya untuk mengkaji pemanfaatan serat daun agel dan serat alam lain sebagai penguat komposit.

Sifat tarik komposit

Salah satu faktor penting yang menentukan karakteristik dari komposit adalah perbandingan matrik dan penguat/serat. Perbandingan ini dapat ditunjukkan dalam bentuk fraksi volume serat (V_f) atau fraksi berat serat (W_f). Namun, formulasi kekuatan komposit lebih banyak menggunakan fraksi volume serat. Berdasarkan teori *Rule of Mixture* (ROM), kekuatan tarik dan modulus elastisitas komposit berpenguat serat searah kontinyu dapat dihitung dengan persamaan (Gibson, 1994):

$$\sigma_c = \sigma_f v_f + \sigma_m v_m \quad (1)$$

$$E_c = E_f v_f + E_m v_m \quad (2)$$

$$v_f + v_m = 1 \quad (3)$$

dengan: σ_c = kekuatan tarik komposit (MPa)
 σ_f = kekuatan tarik serat (MPa)
 σ_m = kekuatan tarik matrik (MPa)
 E_c = modulus elastisitas komposit (MPa)
 E_f = modulus elastisitas serat (MPa)
 E_m = modulus elastisitas matrik (MPa).

Berdasarkan data hasil uji tarik komposit, kekuatan tarik dan modulus elastisitas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (4)$$

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (6)$$

dengan: σ_c = tegangan komposit (MPa)
 P = beban (N)
 A = luas penampang (mm^2)
 E_c = modulus elastisitas komposit (MPa)
 ε = regangan komposit
 ΔL = selisih panjang akhir dan mula (mm)
 L_0 = panjang awal (mm)

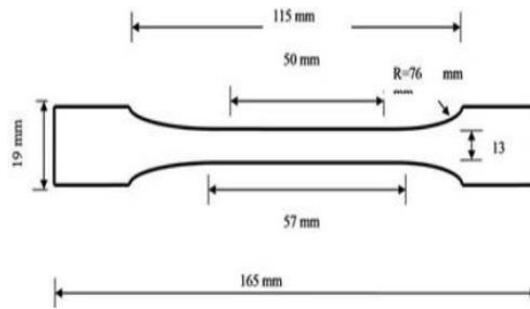
METODE

Pembuatan produk komposit serat daun agel anyam (*woven*)-*unsaturated polyester/epoxy* dengan metode *vacuum bagging*. Proses manufaktur pembuatan anyaman serat daun agel menggunakan mesin anyam sederhana. Proses penenunan dilakukan di sentra kerajinan serat alam di Desa Sentolo, Kulonprogo, Yogyakarta. Bahan matrik yang digunakan adalah *unsaturated polyester* (UPRs) 157 BQTN dengan hardener MEKPO (metil etil keton peroksida) dengan kadar 1% (v/v) dan resin *epoxy* berjenis Bisphenol A-epichlorohydrin dengan hardener yang digunakan adalah dengan jenis Polyaminoamide dengan kadar 1:1 (v/v). Kedua matrik disuplai oleh PT. Justus Kimia Raya Jakarta.

Komposit dibuat dengan komposisi 6 lapisan serat daun agel (6-layer) yang kemudian dibasahi dengan resin sampai lapisan terakhir, selanjutnya ditutup *release film* dan *breather fabric* untuk menyerap resin lalu dilakukan proses vakum. Peralatan *vacuum bagging* ditunjukkan pada Gambar 2. Panel yang sudah jadi berukuran 20 x 20 x cm dengan ketebalan 3 mm untuk matrik *unsaturated polyester* dan 2.5 mm untuk matrik *epoxy*. Kemudian dibentuk menjadi spesimen uji tarik mengacu ke standar ASTM D 638 (Gambar 3).



Gambar 2. Peralatan *vacuum bagging*



Gambar 3. Standar Uji tarik ASTM D 638

Variasi yang dilakukan 2 (dua) jenis dengan kode variasi serat daun agel-*Unsaturated Polyester* (ALF-UP) dan serat daun agel-*epoxy* (ALF-E). Bentuk fabric (anyaman) serat daun agel ditunjukkan pada Gambar 4. Pembuatan spesimen dan pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Aerostruktur, Pustekbang, LAPAN. Uji tarik menggunakan mesin *Universal Testing Machine* (UTM) RTF-2410 Tensilon kapasitas 100kN dengan *test speed* 1mm/min.



Gambar 4. Anyaman serat daun agel

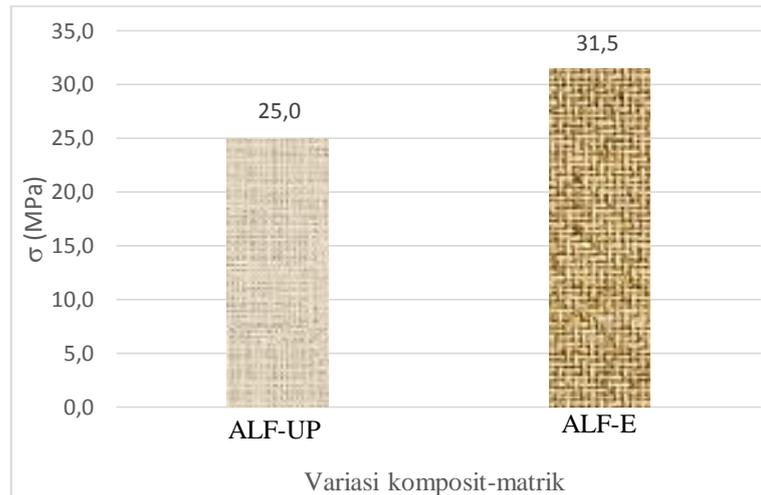
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian tarik dilakukan terhadap 2 (dua) variasi. Masing-masing variasi terdiri dari 5 spesimen uji tarik sehingga semua spesimen berjumlah 10 buah. Adapun spesimen yang akan diuji seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Spesimen Uji Tarik

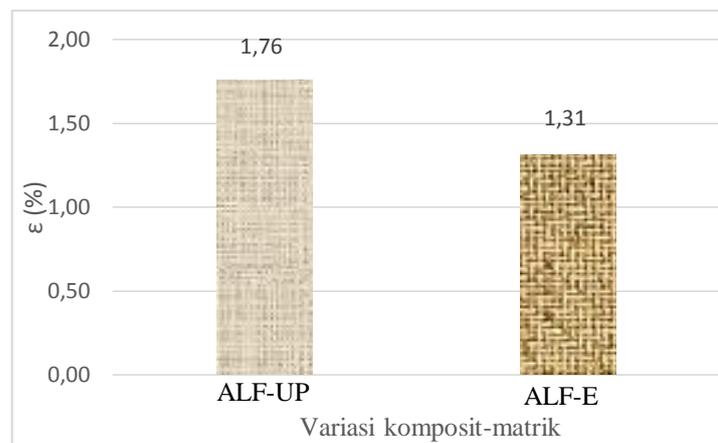
Kekuatan tarik diperoleh yang tinggi adalah pada komposit dengan komposisi 6 lapis serat daun agel anyam yang menggunakan matrik epoxy yaitu sebesar 31.5 MPa. Sedangkan pada komposit yang menggunakan matrik *unsaturated polyester* kekuatannya adalah 25 MPa. hal ini sangat mungkin terjadi karena kekuatan tarik dari epoxy memang lebih baik dari *unsaturated polyester*. Hasil pengujian tarik dapat dilihat pada Gambar 6, 7, 8.



Gambar 6. Perbandingan kekuatan tarik terhadap penggunaan matrik

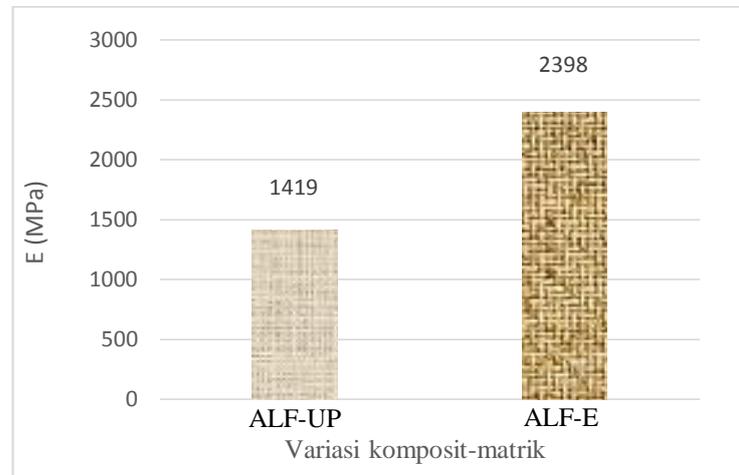
Kekuatan tarik yang terjadi pada komposit terlihat lebih kecil bila dibandingkan dengan kekuatan tarik dua material penyusunnya. Apabila dibandingkan dengan nilai kekuatan tarik spesifikasi standar kedua matrik (*Unsaturated Polyester* dan *Epoxy*) yang dikeluarkan oleh pihak perusahaan PT. Justus Kimia Raya, Jakarta terdapat perbedaan. Hasil uji tarik ini memberikan nilai kekuatan tarik yang lebih rendah. Hal ini bisa disebabkan oleh beberapa faktor, yaitu porositas yang cukup tinggi pada komposit, kondisi serat yang kurang seragam, bentuk anyaman dari serat daun agel yang tidak kencang/kendur ditambah adanya sambungan pada anyaman, terjadinya delaminasi antara serat dan matriks, dan ikatan permukaan yang rendah antara serat dengan matriks. Namun jika dibandingkan dengan penelitian (Jokosisworo, 2009) bahwa resin murni *unsaturated polyester* yang diuji tarik hanya sebesar 12.7 MPa kekuatannya dan komposit serat kulit rotan (0/90⁰) – *unsaturated polyester* dengan kekuatan tarik 21.65 MPa maka komposit serat daun agel ini lebih baik.

Lapisan serat alam yang masih belum diberi perlakuan kimia menyebabkan pembasahannya oleh matrik cair terlambat, sehingga belum dicapai pembasahan penuh ketika matrik cair mulai membentuk gel. Akibatnya udara yang masih terjebak diantara serat daun agel tidak dapat ditekan keluar dan membentuk gelembung udara atau void. Apalagi ditambah dengan proses pembuatan yang menggunakan metode *vacuum bagging* dimana sebelum matriks dapat membasahi serat sudah banyak yang terhisap oleh *breather fabric* yang berfungsi menyerap matriks yang berlebih. Pada dasarnya membasahi serat sintetik seperti serat gelas dengan resin lebih mudah sehingga jarang terjadi *porous*. *Curing* pada matrik *unsaturated polyester* adalah proses reaksi kimia pada resin yang dipicu oleh katalis, sedangkan pada matrik *epoxy* merupakan reaksi kimia antara resin dengan *hardener*.



Gambar 7. Perbandingan nilai regangan terhadap penggunaan matrik

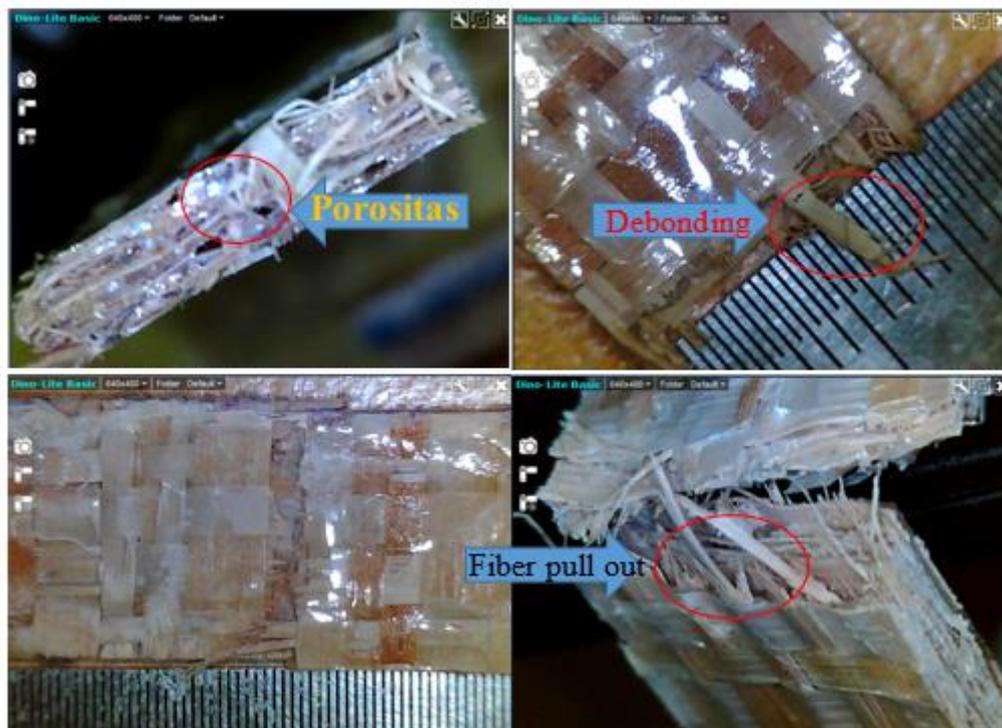
Gambar 7 menunjukkan nilai regangan komposit dimana regangan patah pada komposit serat daun agel dengan matrik *unsaturated polyester* lebih tinggi yakni 1.76% dibanding dengan regangan komposit dengan matrik *epoxy* yang hanya 1.31%. Dari data ini dapat diambil kesimpulan juga bahwa komposit serat daun agel dengan matrik *epoxy* lebih getas. Semakin kuat ikatannya, regangan yang terjadi akan semakin kecil mendekati regangan tarik resin yang lebih kecil dari regangan serat.



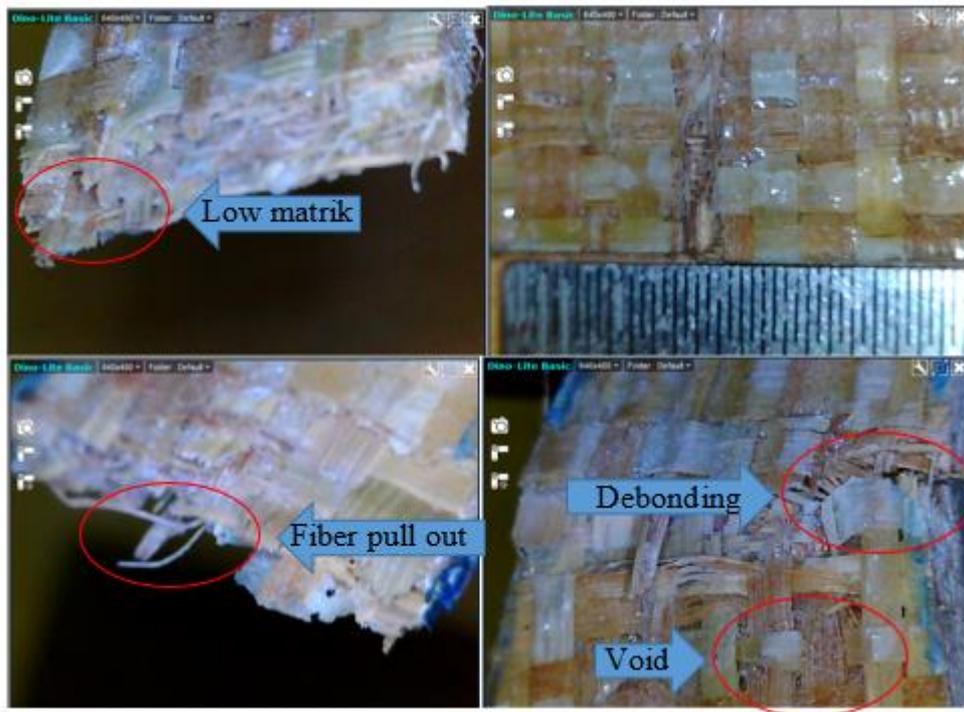
Gambar 8. Perbandingan modulus elastisitas terhadap penggunaan matrik

Grafik 8 di atas menunjukkan perbandingan modulus elastisitas spesimen komposit serat daun agel dengan matrik *unsaturated polyester* dan *epoxy*. Berdasarkan dari perhitungan pada rumus 5 modulus elastisitas *epoxy* lebih tinggi dari matrik *unsaturated polyester*.

Foto-foto makro patahan setelah uji tarik diperlihatkan pada Gambar 9 dan 10.



Gambar 9. Patahan komposit ALF-UP



Gambar 10. Patahan komposit ALF-E

Kegagalan dari komposit ini jelas terlihat pada Gambar 9 untuk yang menggunakan matrik *unsaturated polyester* dan Gambar 10 untuk komposit yang menggunakan matrik *epoxy*. Pada komposit dengan serat alam tanpa perlakuan ini secara umum dapat dikatakan ikatan (*mechanical bonding*) antara serat dan *unsaturated polyester* maupun *epoxy* menjadi tidak sempurna karena terhalang oleh adanya lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat. Lapisan yang menyerupai lilin di permukaan serat, seperti lignin, hemiselulosa, dan kotoran lainnya sangat berpengaruh terhadap sifat tarik komposit.

Pada komposit serat agel tanpa perlakuan ini, kegagalan didominasi oleh lepasnya ikatan antara serat dengan matrik (*debonding*) yang diakibatkan oleh tegangan geser di permukaan serat. Kegagalan tersebut didominasi oleh lepasnya ikatan serat dan matrik yang tidak mampu mengikat serat secara baik. Jenis kegagalan ini sering disebut dengan istilah "fiber pull out". Pada kondisi kegagalan ini, matrik dan serat sebenarnya masih mampu menahan beban dan meregang yang lebih besar. Namun, berhubung ikatan antara serat dan matrik gagal, maka komposit pun mengalami kegagalan lebih awal. Besarnya regangan dan tegangan ketika gagal juga menjadi lebih rendah.

PENUTUP

Simpulan

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Komposit yang dibuat dari serat daun agel tanpa perlakuan kimia dengan matrik *epoxy* (ALF-E) memiliki kekuatan tarik yang lebih besar, yaitu $\sigma = 31.5$ MPa dibanding dengan matrik *unsaturated polyester* (ALF-UP), yaitu $\sigma = 25$ MPa. Namun untuk nilai regangan (ALF-E) lebih rendah dibanding komposit (ALF-UP).
2. Ikatan matrik *epoxy* terhadap serat daun agel lebih baik dibanding ikatan matrik *unsaturated polyester*.
3. Penampang patahan komposit yang dibuat dari serat agel tanpa perlakuan didominasi perilaku kegagalan *fiber pull out*.

Saran

Saran yang dapat diberikan sehingga dicapai hasil yang lebih baik adalah sebagai berikut. Sebaiknya dilakukan penelitian tentang cara pemisahan serat daun agel yang lebih baik, sehingga didapatkan serat daun agel yang lebih seragam dan bisa digunakan untuk produksi dalam jumlah yang relatif lebih besar. Dalam proses penganyaman serat harus sedemikian teliti sehingga tidak ada serat yang putus, atau terlalu kendur sehingga akan mempengaruhi dalam hasil uji tarik. Perlu penelitian lanjutan terkait perlakuan kimia dari serat daun agel

ataupun dibuat komposit hibrid untuk meningkatkan sifat mekanis. Dalam pembuatan spesimen, perlu diperhatikan untuk menjaga ketelitian mulai dari penyiapan alat dan bahan, pembuatan spesimen, hingga uji tarik, yang bertujuan agar diperoleh hasil yang lebih baik. Hendaknya dalam proses finishing atau pengamplasan terhadap spesimen dilakukan sehalus mungkin dan ukuran spesimen perlu diperhatikan keseragamannya agar tidak terjadi kegagalan pada permukaan spesimen dan didapatkan spesimen yang seragam.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada staf pada Laboratorium Teknologi Aerostruktur, Pustekbang, LAPAN yang telah membantu dalam penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Annual Book of Standards, D638-02a, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics¹, ASTM, 2002.
- Alavudeen, A. et al., 2014. Mechanical properties of banana / kenaf fiber-reinforced hybrid polyester composites : Effect of woven fabric and random orientation. *Materials and Design*, 66, pp.246–257.
- Baillie, C., 2005. *Green Composites: Polymer Composites and the Environment* Caroline Baillie, ed., CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Callister, W.D., 2007. *Materials Science and Engineering An Introduction SEVENTH*., John Wiley & Sons, Inc. New York.
- Diharjo, K., 2006. Pengaruh Perlakuan Alkali terhadap Sifat Tarik Bahan Komposit Serat Rami-Polyester. *TEKNIK MESIN*, 8(1), pp.8–13.
- Gibson, O.F., 1994. *Principle of Composite Materials Mechanics*, McGraw-Hill Inc., New York, USA. Lukkassen,.
- H, S., 2006. *Hutan Jati dan Kemakmuran : Problema dan Strategi Pemecahannya*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Hassan, A. et al., 2010. A Review on Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber-Reinforced Polymer Composite Materials.
- Hestiawan, H., Jamasri & Kusmono, 2016. A Preliminary Study : Influence of Alkali Treatment on Physical And Mechanical Properties of Agel Leaf Fiber (*Corypha gebanga*). *Applied Mechanics and Materials*, 842, pp.61–66.
- Jamasri, 2008. Prospek Pengembangan Komposit Serat Alam di Indonesia, Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Jokosisworo, S., 2009. Pengaruh penggunaan serat kulit rotan sebagai penguat pada komposit polimer dengan matriks POLYESTER YUKALAC 157 TERHADAP KEKUATAN TARIK DAN DAN TEKUK. *TEKNIK*, 30(3), pp.191–197.
- Joseph, K. et al., 1999. A REVIEW ON SISAL FIBER REINFORCED POLYMER. , (83), pp.367–379.
- Mohanty, A.K., Misra, M. & Drzal, L.T., 2002. Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources : Opportunities and Challenges in the Green Materials World. , 10(April), pp.19–26.
- Mwaikambo, L.Y. & Ansell, M.P., 2002. Chemical modification of hemp , sisal , jute , and kapok fibers by alkalization Chemical Modification of Hemp , Sisal , Jute , and Kapok Fibers by Alkalization. *Journal of Applied Polymers Science*, 84(June), pp.2222–2234.
- Nguong, C.W., Lee, S.N.B. & Sujan, D., 2013. A Review on Natural Fibre Reinforced Polymer Composites. , 7(1), pp.33–40.
- Owen, M.M. & Ati, C.T., 2014. ISSN 2277-7156 THE EFFECTS OF ALKALI TREATMENT ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF JUTE FABRIC REINFORCED EPOXY COMPOSITES. , 4(2), pp.32–40.
- Prasetyaningrum, A., Rokhati, N. & Rahayu, K., 2009. Optimasi proses pembuatan serat eceng gondok untuk menghasilkan komposit serat dengan kualitas fisik dan mekanik yang tinggi. *Riptek*, 3(1), pp.45–50.
- Sreenivasan, V.S. et al., 2011. Mechanical properties of randomly oriented short *Sansevieria cylindrica* fibre / polyester composites. *Materials and Design*, 32(4), pp.2444–2455. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2010.11.042>.

- Swamy, R.P., Kumar, G.C.M. & Vraushabhendrapa, Y., 2004. Study of Areca-reinforced Phenol Formaldehyde Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 23(13).
- Yudhanto, F., Sudarisman & M.Ridlwan, 2016. Karakterisasi Kekuatan Tarik Komposit Hybrid Lamina Serat Anyam Sisal Dan Gelas Diperkuat Polyester. , 19(1), pp.48–54.