

**PERILAKU CREEP PADA KOMPOSIT POLYESTER
DENGAN SERAT KULIT BAMBU APUS
(GIGANTOCHLOA APUS (J.A & J. H. SCHULTES) KURZ)**

M. Ikhsan Taufik *) Sugiyanto **) Zulhanif **)
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Lampung

Abstract

Bamboo is used as raw material wicker and crafts are emerging as a new solution for use as new materials that are more environmentally friendly and have better mechanical strength. Research by utilizing bamboo as reinforcement fibers and polyester resin matrix aims to determine the mechanical strength of the resulting composite merging the two. Bamboo fiber composites made with various volume fractions of 10%, 15% and 20% using polyester resin and catalyst MEKPO ratio 100:1. The composite is prepared by hand lay-up by using a glass as a mold. Bamboo fibers used as reinforcement composites, is expected to increase the tensile strength and creep strength of each variation. In addition to observing the microstructure using SEM (Scanning Electron Microscope) to determine the failure mechanisms that occur on the fracture surface.

From this study the authors concluded that bamboo fiber composites have the potential for further development because the tensile test results are directly proportional to the addition of fiber to the highest tensile strength was 86.01 MPa at 20% volume fraction, whereas the average creep testing best time of 529.63 seconds on 10% volume fraction, the failure mechanism of the plates shown in SEM is a form of fiber breaking, pull out and de bonding.

Keywords : Creep, komposit polyester, bamboo

PENDAHULUAN

Perkembangan rekayasa teknologi masa kini tidak hanya bertujuan untuk membantu umat manusia, namun juga harus mempertimbangkan aspek lingkungan. Segala hal yang berkaitan dengan ramah lingkungan kini menjadi topik yang sangat menarik. Bahkan banyak negara di dunia kini berupaya membuat produk yang ramah lingkungan tanpa melupakan tujuan awal produk tersebut diciptakan. Hal ini juga menuntut adanya perkembangan bahan-bahan komposit yang lebih ramah lingkungan.

Pengembangan material komposit serat bambu juga didasarkan pada isu lingkungan saat ini. Penggunaan serat alam menjadi menguntungkan karena serat alam dapat diperbaharui, ramah lingkungan dan sampahnya dapat didaur ulang. Bandingkan dengan serat sintesis seperti serat kaca yang hampir kesemua bahannya tidak dapat diperbaharui dan sampahnya tidak dapat didaur ulang. Hal inilah yang makin menguatkan para

peneliti untuk terus mengembangkan material komposit serat alam.

Kata komposit (*Composite*) merupakan kata sifat yang berarti susunan atau gabungan. *Composite* ini berasal dari kata kerja “*to compose*” berarti menyusun atau menggabung. Jadi, komposit dapat diartikan sebagai dua atau lebih bahan/material yang dikombinasikan menjadi satu, dalam skala makroskopik, sehingga menjadi satu kesatuan. Dengan kata lain, secara mikro, material komposit dapat dikatakan sebagai material yang heterogen. Sedangkan dalam skala makro, material tersebut di anggap homogen.

Ada empat jenis komposit berdasarkan penguatnya yaitu: komposit partikel, komposit laminat, komposit serpihan dan komposit serat.

Resin yang dipilih untuk penelitian ini adalah *Unsaturated polyester resin YUKALAC 157 BQTN-EX*. Resin ini secara khusus cocok untuk proses manufaktur FRP dengan *hand lay up* dan *spray up molding*. Secara luas, resin ini

digunakan dalam pembuatan kapal nelayan, bak mandi, material bangunan, dan produk FRP lainnya.

Tabel 1. Sifat resin poliester tak jenuh YUKALAC 157 BQTN-EX:

<i>Specific Gravity (25°C)</i>	1,10 ± 0,02
<i>Viscositas (Poise, at 25°C)</i>	4,5 - 5,0
<i>Thixotropic Index</i> - <i>Gel Time (Minutes, At 30°C)</i> - <i>Curing Condition</i>	<i>More than 1,5</i> 20 - 30 + MEKPO = 1 Part
<i>Storage Life At 25°C In The Dark (Months)</i>	<i>Less than 6</i>
<i>Flash Point Range, °C</i>	26 - 37

Serat yang digunakan untuk penelitian ini yaitu serat bambu apus/bambu tali. Mengapa serat ini yang dipilih untuk menjadi *filler* komposit ini karena jumlahnya yang sangat berlimpah dan dapat ditemui di semua wilayah Indonesia. Suatu hasil pengujian tentang sifat mekanis bambu di Indonesia yang menyatakan bahwa bambu memiliki nilai kekuatan tarik (tegangan patah untuk tarikan) sebesar 1.000 sampai 4.000 kg/cm² yang setara dengan besi baja berkualitas sedang. Besarnya nilai kekuatan tarik dari bambu merupakan pilihan alternatif, karena bambu mempunyai potensi yang tinggi, murah, kuat, dan kemampuan seperti besi baja sebagai tulangan beton.

Tabel 2. Sifat mekanik serat bambu apus

Tensile Strength (MPa)	140-230
Young Modulus (GPa)	11-17
Density (g/cm ³)	0.6-1.1

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perilaku *creep* pada material komposit serat bambu.
2. Mengukur *lifetime* komposit serat bambu dari hasil pengujian *creep*.

METODOLOGI PENELITIAN

Bahan:

Serat kulit bambu apus, matrix : resin polyester, katalis, wax, NaOH, dan aquades.

Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi alat cetak (cetakan kaca), timbangan, gergaji, gelas ukur, kuas cat, amplas, gurinda, penggaris, mesin uji tarik, mesin uji creep dan mesin uji SEM.

1. Persiapan Serat

Langkah-langkah persiapan serat adalah sebagai berikut :

- a. Mula-mula batang bambu dipotong sepanjang ruas/buku (*node*) dan dibelah menjadi beberapa bagian.
- b. Kemudian kulit bagian luar dikupas.
- c. Setelah itu dilakukan proses mengirak/mengiris bambu hingga didapatkan ukuran serat dengan ketebalan ± 0,5 mm dan lebar ± 1,0 mm dan dengan panjang disesuaikan dengan cetakan.
- d. Serat kemudian direndam dengan larutan alkali 5% NaOH selama 2 jam.
- e. Serat kemudian dibilas dengan air bersih.
- f. Serat kemudian dikeringkan dengan oven bersuhu ± 40°C selama 2 jam.

2. Pencetakan Komposit Dan Pressing

Proses pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay-up*. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- a. Cetakan kaca yang telah dibentuk dibersihkan, kemudian melapisi permukaannya dengan *mirror glaze* secara merata agar komposit tidak menempel pada cetakan.
- b. Membuat campuran resin dengan katalis dengan perbandingan 100:1, kemudian diaduk secara merata dan didiamkan selama 5 menit agar gelembung udara yang terkandung di campuran terlepas.
- c. Langkah berikutnya adalah mengoleskan permukaan cetakan dengan campuran resin tadi hingga merata.
- d. Selanjutnya masukkan serat bambu (orientasi arah serat sejajar) di atasnya sesuai perbandingan volume yang telah ditentukan dengan mencampurkan resin di atasnya hingga penuh cetakan.

- e. Letakkan kaca di atasnya agar permukaan komposit menjadi rata, kemudian beri beban di atasnya.
- f. Biarkan mengering selama ± 24 jam.

3. Post-Curing dan Finishing Spesimen Uji

Setelah spesimen dikeluarkan dari cetakan, kemudian dilakukan proses *post-curing* terhadap spesimen uji dengan menggunakan *furnace* seperti pada gambar. Temperatur yang digunakan dalam proses *post-curing* ini adalah 62°C dengan waktu penahanan selama 4 jam^[14].

Post-curing dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan *interface* komposit.

Langkah-langkah proses *post-curing* adalah :

- a. Menyiapkan spesimen uji.
- b. Memasukkan spesimen ke dalam *furnace*.
- c. Memutar saklar ke posisi "ON" untuk menghidupkan *furnace*.
- d. Mengatur suhu yang diinginkan dengan kenaikan 5°C per menit dan pada puncaknya ditahan selama empat jam.
- e. Memutar saklar pada posisi "OFF" setelah proses *post-curing* selesai.
- f. Mengeluarkan spesimen uji dari *furnace*.

Setelah *post-curing*, spesimen kemudian diukur geometrinya agar sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Jika belum sesuai, spesimen diampelas dengan *grinder* hingga geometrinya sesuai dengan standar yang digunakan.

Tabel 3. Jumlah spesimen uji

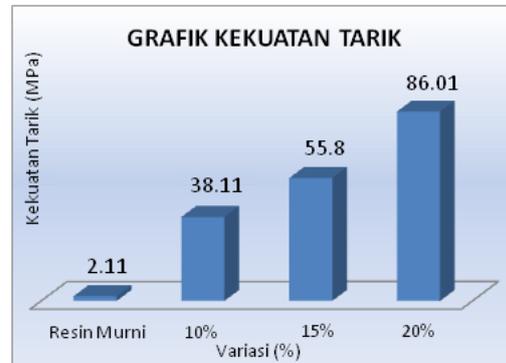
Komposit Serat Bambu		
10% serat	15% serat	20% serat
3	3	3

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Tarik

Dari pengujian yang telah dilaksanakan

didapatkan data-data hasil pengujian komposit polimer serat bambu terlihat pada tabel di bawah ini:



Gambar 1. Grafik kekuatan tarik

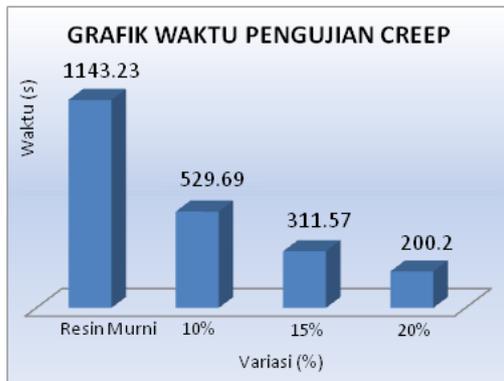
Pada grafik di atas dapat dijelaskan bahwa kekuatan tarik (*tensile strength*) pada spesimen resin murni sebesar 2.11 MPa. Sedangkan tegangan tarik maksimum komposit polimer serat bambu dengan komposisi 10% 15% dan 20% berturut-turut adalah 38.11 MPa, 55,8 MPa, 86.01 MPa. Sehingga dapat dilihat perbedaan antara spesimen resin murni dengan komposit serat bambu dengan komposisi 10%, 15%, dan 20%. Spesimen resin murni memiliki kemampuan mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan komposit serat bambu dengan variasi serat. Dengan demikian dapat dijelaskan bahwa penambahan serat pada komposit sangat berpengaruh pada kekuatan tariknya yang berarti kekuatan tarik dari komposit yang berpenguat serat bambu jauh lebih kuat dari pada spesimen resin murni.

Karena adanya serat di dalam resin, pembebanan yang diterima oleh spesimen pertama kali diserap oleh serat, sehingga saat spesimen tersebut di tarik serat cenderung mempertahankan spesimen agar tidak cepat putus.

Perbandingan diantara ketiga variasi komposisi serat bambu 10%, 15%, dan 20%, kekuatan tarik terbaik dengan komposisi serat bambu 20%. Dengan demikian dapat disimpulkan semakin banyak penambahan serat kekuatan tariknya semakin meningkat.

B. Hasil Pengujian Creep

Dari pengujian yang telah dilaksanakan didapatkan data-data hasil pengujian *creep*:

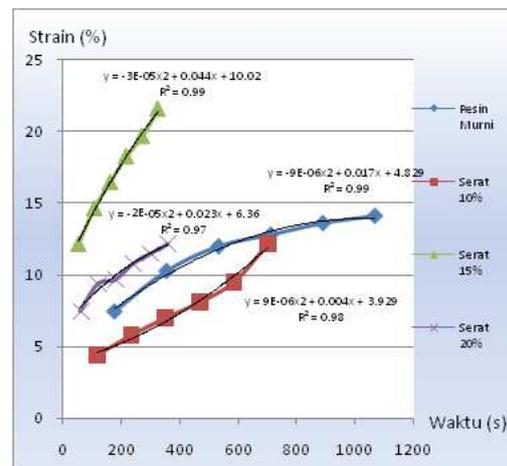


Gambar 2. Grafik waktu pengujian *creep*

Pada grafik di atas dapat dijelaskan perbedaan waktu pengujian *creep*. Berbeda dengan hasil pengujian tarik dimana grafiknya cenderung meningkat tapi pada grafik waktu pengujian *creep* grafik yang didapatkan cenderung menurun, dimana spesimen murni memiliki waktu *creep* paling baik dibandingkan dengan semua spesimen dengan variasi serat. Sedangkan diantara ketiga variasi serat yang memiliki waktu pengujian *creep* terbaik pada komposisi serat 10% dan yang terendah adalah komposisi serat 20%. Hal ini berarti:

1. Penambahan serat pada setiap bahan menyebabkan turunnya tingkat elastisitas atau kelenturan dari bahan tersebut.
2. Peningkatan komposisi serat jelas dapat memperbaiki kelenturan dari bahan komposit, tapi menyebabkan bahan komposit tersebut menjadi semakin getas pada pengujian *creep*.
3. Apabila dilihat pada grafik 1 dan 2, penambahan komposisi serat bambu dapat meningkatkan kekuatan tarik tapi sekaligus membuat bahan tersebut semakin getas.

Pengujian *creep* yang telah dilakukan mendapatkan hasil sebuah grafik sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik hasil pengujian *creep*

Dapat dilihat dari grafik komposisi serat 10% di atas waktu *creep* terbaik waktu penarikan *creep*-nya mencapai 704 detik sampai batas daerah sekunder. Komposisi serat 15% di atas waktu pengujian *creep* terbaik mencapai 325.9 detik sampai batas daerah sekunder. Komposisi serat 20%, dimana waktu penarikan *creep* terbaiknya mencapai 360 detik sampai batas sekunder. Waktu pengujian *creep* spesimen resin murni mencapai 1066.7 detik.

Kemudian dibandingkan setiap komposisi serat 10% 15%, dan 20%, komposit dengan komposisi serat 20 % mempunyai kekakuan yang lebih dibandingkan dengan bahan yang lain. Meskipun dari waktu terbaik dari komposisi serat 20% lebih baik dari komposisi serat 15% tetapi dari rata-rata waktu yang didapatkan komposisi serat 20% adalah yang terkecil. Hal ini disebabkan penambahan serat yang mengakibatkan ketidak elastisan bahan sehingga ketika dilakukan pengujian *creep*, pemuluran bahan tersebut kecil.

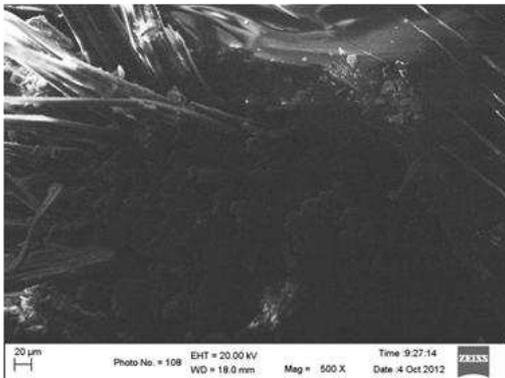
Dari keseluruhan pengujian *creep* yang telah dilakukan, hasil terbaik dihasilkan oleh pengujian spesimen 1 dengan komposisi 10%. Dengan ini dapat dijelaskan bahwa spesimen 1 dengan komposisi 10% mempunyai daerah *creep* terbaik dibandingkan bahan yang lain karena mempunyai kelenturan bahan dan waktu *creep* yang lebih baik di banding bahan yang lainnya.

Dengan hasil yang seperti itu, dapat dijelaskan bahwa komposit dengan serat bambu ini kelenturannya sangat dipengaruhi oleh serat dimana semakin banyak serat maka semakin kuat juga semakin getas.

C. Pengujian SEM (Scanning Electron Microscope)

Setelah pengujian creep dilakukan, kemudian dilakukan pengujian SEM (Scanning Electron Microscope) yang bertujuan untuk melihat penampang patahan dari bahan komposit serat bambu.

➤ Komposit variasi serat 10%

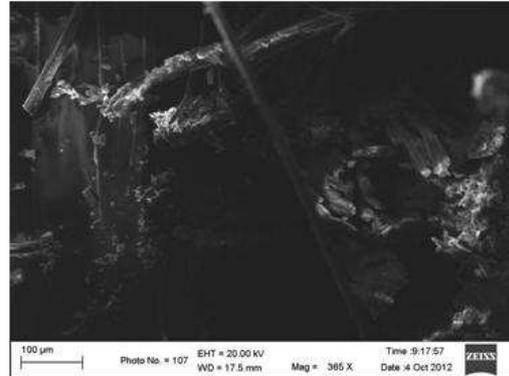


Gambar 4. Penampang patahan komposit 10% dengan pembesaran 500x

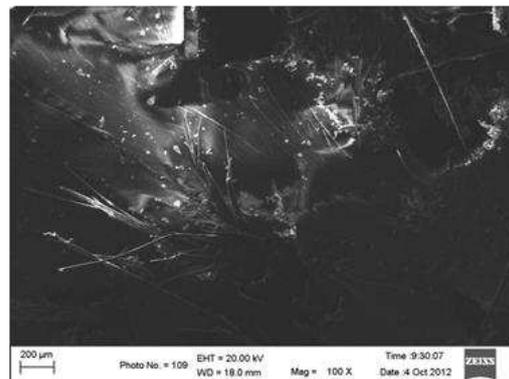
Dari gambar penampang patahan di atas dapat dilihat *fiber breaking* dan serat yang tidak melekat (*de bonding*). Karena pada fraksi volum serat 10% memiliki ruang matrik yang lebih banyak untuk mengikat serat sehingga ketika ditarik serat banyak mengalami putus. Kemudian dapat dilihat dari penampang serat yang terlihat dari gambar, dari satu helai serat masih memiliki bagian-bagian serat di dalamnya sehingga dapat diasumsikan bahwa serat bambu mempunyai kekakuan karena terdiri dari serat-serat penyusun didalamnya yang mengikat komposit 10% tersebut lebih kaku daripada resin murni.

Pada gambar 5 berikut terjadi kerusakan serat yang diakibatkan oleh penarikan pada pengujian yang dilakukan. *Fiber breaking* terjadi akibat ikatan matrik dengan serat lebih baik daripada bagian serat yang terlepas (*fiber pull out*). *Fiber breaking* dan *Pull out* dapat

menyebabkan kegagalan dalam pengujian karena serat dan matrik tidak menyatu dengan sempurna.



Gambar 5. Penampang patahan komposit 10% dengan pembesaran 365x

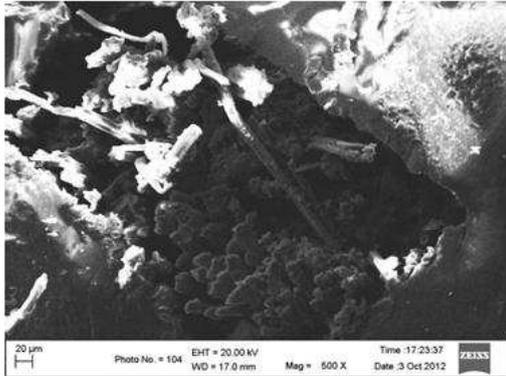


Gambar 6. Penampang patahan komposit 10% dengan pembesaran 100x

Dari pengamatan yang dilakukan terlihat *Fiber breaking* dan *Fiber pull out*. Dari ciri struktur mikro yang terlihat volume serat 10% memiliki ruang matrik yang lebih banyak untuk mengikat serat. Sehingga pada waktu pengujian, serat yang memiliki kekuatan lebih besar dan mempunyai ikatan lebih baik akan terjadi *fiber breaking* dan serat yang memiliki kekuatan tarik dan ikatan dengan matrik lebih kecil akan terjadi *pull out* atau terlepasnya serat dari matrik. Hal ini berpengaruh pada kekuatan tarik dan kekuatan *creep*nya dimana komposisi penambahan serat akan berpengaruh meningkatkan kekakuan dan meningkatkan kekuatan mekaniknya. Dengan adanya serat tersebut komposit menjadi tidak elastik karena sifat serat bambu yang memiliki kekakuan pada setiap helai seratnya karena di dalamnya

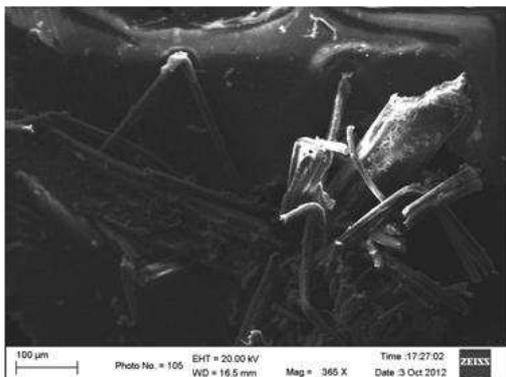
terdiri dari serat-serat halus sebagai penyusun sehingga membuat serat bambu memiliki kekakuan.

➤ Komposit variasi serat 20%



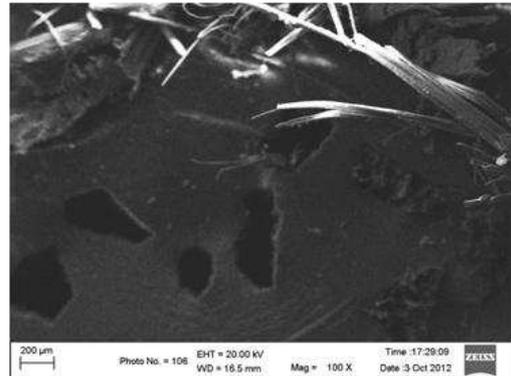
Gambar 7. Penampang patahan komposit 20% dengan pembesaran 500x

Pada gambar 7 terlihat sebuah serat yang terputus saat terjadinya penarikan, serat yang terlihat pada gambar diatas, terlihat serat tidak merekat (*de bonding*) dengan matriknya yang kemungkinan diakibatkan oleh daya ikat antara serat dan matrik kurang baik sehingga pada waktu pengujian serat terlepas dari matrik. Dapat dilihat dari penampang serat pada gambar di atas, satu buah serat bambu yang berukuran ≥ 1 mm, didalamnya masih terdiri dari serat-serat halus yang membentuknya. Oleh sebab itu, serat bambu tersebut mempunyai kekakuan pada setiap helai seratnya sehingga pada komposisi variasi serat 20% mempunyai kekakuan lebih dari komposisi serat yang lainnya.



Gambar 8. Penampang patahan komposit 20% dengan pembesaran 365x

Dari pengamatan SEM yang terlihat serat mengalami kerusakan (*fiber breaking*) pada waktu pengujian. Kerusakan tersebut dapat terjadi akibat kurang merekatnya serat dengan matrik yang akibatnya komposit tersebut menjadi gagal dalam pengujian yang dilakukan.



Gambar 9. Penampang patahan komposit 20% dengan pembesaran 100x

Dari pengamatan SEM yang dilakukan terlihat *Fiber breaking* dan *Fiber pull out* pada penampang patahan. Dari ciri struktur mikro yang terlihat volume serat 20% memiliki ruang matrik yang lebih kecil untuk mengikat serat. *Fiber pull out* dapat terjadi akibat kekuatan ikatan matrik kurang baik.

Dari kedua komposisi serat yang digunakan untuk perbandingan dan analisa terhadap mekanisme kerusakan yang terjadi, dapat diketahui pada komposisi 10% didapati adanya *fiber pull out* yang lebih sedikit dibandingkan komposisi 20% yang disebabkan oleh ruang matrik yang lebih besar untuk mengikat matrik sehingga kekuatan ikatannya lebih baik. Pada komposisi serat 20% memungkinkan distribusi *load* yang lebih sempurna dibandingkan dengan komposisi 10% karena serat berperan untuk menahan beban yang diberikan kepada komposit.

Dari kedua variasi serat yang telah diamati dengan SEM, dapat dianalisis bahwa kekakuan komposit tersebut dapat disebabkan oleh penambahan serat yang dilakukan, karena pada struktur serat bambu tersebut terdapat serat-serat halus yang menyusunnya. Dengan

struktur serat bambu yang sedemikian tersebut dapat diasumsikan bahwa serat bambu tersebut mempunyai kekakuan, sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa komposit serat bambu akan bertambah kekakuannya berbanding lurus dengan bertambahnya variasi serat.

SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil pengujian creep yang telah dilakukan pada bahan komposit resin poliester dengan penguat serat kulit bambu apus, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kekuatan tarik dari bahan komposit poliester dengan penguat serat bambu cenderung meningkat, berbanding lurus dengan kenaikan komposisi serat.
2. Hasil pengujian creep terbaik terdapat pada bahan komposit dengan komposisi serat 10% dengan waktu rata-rata pengujian selama 529.69 detik dan waktu terendah dari pengujian creep dengan komposisi serat 20% dengan waktu rata-rata pengujian selama 200.20 detik.
3. Setelah diamati dengan SEM, dapat dianalisis bahwa kekakuan komposit tersebut dapat disebabkan oleh penambahan serat pada setiap bahan. Penambahan serat dapat menyebabkan turunnya tingkat elastisitas atau kelenturan dari bahan tersebut. Peningkatan komposisi serat jelas dapat memperbaiki kelenturan dari bahan komposit, tapi menyebabkan bahan komposit tersebut menjadi semakin getas pada pengujian creep.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Batubara, Ridwanti, S.Hut., *Pemanfaatan Bambu di Indonesia*, Fakultas Pertanian, Program Ilmu Kehutanan, Universitas Sumatera Utara, 2002.
- [2] Prasetya, Eko, *Studi Eksperimental Komposit Alami dengan Bahan Ebonit Dan Bambu*. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2010.
- [3] Yanjun Xu, Sun-Young Lee, Qinglin Wu. Creep Analysis of Bamboo High-Density Polyethylene Composites: Effect of Interfacial Treatment and Fiber Loading Level, Louisiana State University Agricultural Center, Baton Rouge, Louisiana
- [4] Prasetyo, Agung Y., *Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu (Bagas) Menjadi Serat Penguat Pada Komposit Dengan Matrik Resin Polyester*, Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung, 2009.
- [5] Sugeng S, Bambang, Dr. Ir., *Material Komposit sub bab Tinjauan Terhadap Beberapa perilaku Mekanik dari Material Komposit*, Laporan Kegiatan Tenaga Ahli Dalam Negeri, PAU-Ilmu Rekayasa-ITB Bandung, 1990.
- [6] Gurdal, dkk., *Design and Optimization of Laminated Composite Material*, John Wiley and Sons inc, New York, 1999.
- [7] Purwanto, Eko H., *Sifat Fisis Dan Mekanis Fraksi Volume 5%,10%,15%, 20%, 25% Core Arang Bambu Apus Pada Komposit Sandwich Dengan Cara Tuang*, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2009.
- [8] Timings, L.R., *Engineering Materials*. Adisson Wesley Longman Limited, Singapura, 1998.
- [9] Sjorstrom, E., *In Wood Chemistry: Fundamentals And Applications*, Academic Press, London, 169 (1981).
- [10] S. Hattalia, A. Benaboura, F. Hampichavant, A. Nourmamode, and A. Castellan, *Polym. Degrade. Stab.*, 75, 259 (2002).
- [11] W. Hoareu, W.G. Trindade, B. Siegmund, A. Alain Castellan, and E. Frollini, *Polym. Degrade. Stab.*, 86, 567 (2004).
- [12] A. Valades-Gonzales, J.M Cervantes-Uc, R. Olayo, And P.J. Herrera-Franco, *Compos. B*, 30, 30 (1999).
- [13] M. Samsuri, dkk., *Pemanfaatan Sellulosa Bagas Untuk Produksi Ethanol Melalui Sakarifikasi Dan Fermentasi Serentak Dengan Enzim Xylanase*. Makara, Teknologi, Vol. 11, No. 1 April 2007.
- [14] Khoathane, Moshibudi C., *The Processing Properties of Natural Fiber*

- Reinforced Higher α -Olefin Based Thermoplastics*, Departemen of Polymer Technology, Faculty of Engineering, Tshwane University of Technology, September 2005.
- [15] Anonim, Universitas Sumatera Utara.
- [16] Widnyana, K., *Bambu Dengan Berbagai Manfaatnya*, Fakultas Pertanian, Universitas Mahasaraswati, Denpasar, 2008.
- [17] Surdia, Tata., dkk., *Pengetahuan Bahan Teknik. Cet 2*, Pradnya Paramita, Jakarta, 1992.
- [18] Groover, Mikell. P., *Fundamental of Modern Manufacturing: Materials, Proses and System*, Prentise Hall, New Jersey, 1996.
- [19] Hyer, M. W., *Stress Analysis of Fiber Reinforced Composite Material*, Mc Graw Hill, New York, 1997.
- [20] Jamasri, Diharjo K., dkk., *Rekayasa dan Manufaktur Bahan Komposit Sandwich Berpenguat Serat Kenaf dengan Core Limbah Kaayu Sengon Laut untuk Komponen Gerbong Kereta Api*, Fakultas Teknik UNS, Penelitian, Dikti, Hibah Bersaing, 2005.
- [21] Anonym, *Technical Data Sheet of Unsaturated Polyester YUKALAC 157 BQTN-EX*, Justus Kimia Raya Industry, Jakarta.
- [22] K. Jayaraman, *Compos. Sci. Technol.*, 63, 367 (2003).
- [23] R. Kahraman, S. Abbasi, and B. Abu Sharkh., *Int. J polym. Matter.*, 54, 483 (2005).
- [24] I.V. Weyenberg, T. C. Truong, B. Vangrimde, and I. Verpoest, *Compos. A*, 37, 1368 (2006).
- [25] S. Joseph, K. Joseph, and Thomas, *Int. J. Polym. Mater.*, 55, 925 (2006).
- [26] Finley, W. N., Lai, J. S. Onaran, K. 1975., *Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials*, North Holland Publishing Company, Amsterdam.
- [27] B. Satriyo Soemantri, 1991., *Analisis Tegangan dan Perkiraan Umur Material dalam Kondisi Creep*, Makalah Seminar Mekanika Bahan, PAU, UGM, Yogyakarta.
- [28] Sugiyanto, *Perilaku Creep Komposit Epoksi Dengan Serat Gelas (Glass Fiber Reinforced Plastics) Dalam Pengaruh Suhu, Waktu Dan Beban-Beban Statis*, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.