

Analisis arah dan perlakuan serat tapis serta rasio epoxy hardener terhadap sifat fisis dan mekanis komposit tapis/epoxy

Putu Lokantara⁽¹⁾ dan Ngakan Putu Gede Suardana⁽²⁾

^{(1),(2)} Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Tapis kelapa sebagai salah satu serat alami saat ini ketersediaannya sangat berlimpah, namun tidak lagi dimanfaatkan dan dibuang sebagai limbah. Padahal serat tapis kelapa masih dapat digunakan sebagai salah satu serat alami alternatif untuk bahan komposit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perilaku perubahan sifat fisis dan mekanis bahan komposit dengan menggunakan serat alami yaitu tapis kelapa sebagai penguat dan epoxy 7120 dengan hardener Versamid 140 sebagai matrik. Perlakuan terhadap serat dilakukan dengan NaOH dan KMnO₄ dengan prosentase masing-masing 0,5%, 1%, and 2% berat. Perbandingan epoxy dan hardener yaitu 7:3 dan 6:4, serta orientasi serat tapis 0°, 45° dan 90°. Pengujian spesimen dilakukan dengan uji tarik dengan standar ASTM D3039 dan uji three point bending dengan standar ASTM D790. Hasil dari penelitian didapatkan bahwa perlakuan serat tapis dengan zat kimia KMnO₄ memberikan efek yang lebih baik dibandingkan dengan NaOH. Variasi prosentase 0,5%, 1%, and 2% berat NaOH dan KMnO₄ memberi pengaruh dimana semakin besar prosentasenya permukaan serat menjadi semakin bersih, kadar wax berkurang dan lebih kasar sehingga ikatan serat dengan matrik semakin kuat sehingga meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan bending serta modulus bending. Variasi orientasi serat tapis 0°, 45° dan 90° memberi pengaruh secara significant terhadap kekuatan tarik komposit baik dengan perlakuan NaOH maupun KMnO₄. Kekuatan tarik maksimum terdapat pada komposit yang memiliki orientasi serat 45°. Ratio epoxy/hardener 7:3 memberi efek lebih besar dibandingkan ratio 6:4, kecuali modulus elastisitas. Kekuatan tarik, modulus elastisitas dan kekuatan bending tertinggi berturut-turut sebesar 70,23 MPa, 466,24 GPa dan 97,81 MPa dicapai pada komposit dengan ratio epoxy/hardener 7:3 dan 2% KMnO₄ dan orientasi serat 45°. Sedangkan modulus elastisitas tertinggi 385,48 GPa dicapai komposit dengan ratio epoxy/hardener 6:4, 2% KMnO₄ dan orientasi serat 90°.

Kata kunci: Kekuatan tarik, kekuatan bending, ratio epoxy/hardener, NaOH, KmnO₄

Abstract

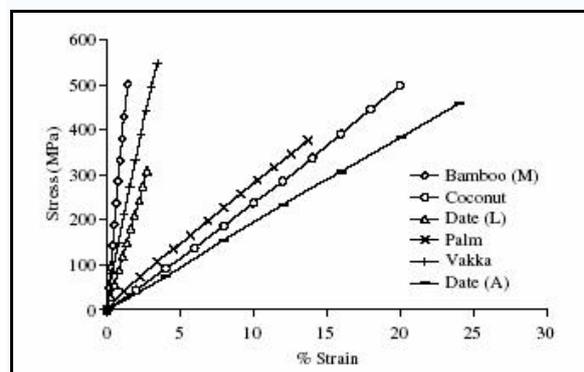
Tapis kelapa (Coconut filter) as natural fiber, in this time its resources very copius but no longer be exploited and thrown off hand as waste though in fact its used for other material dissimilar inovatif and high economic valuable that is as one of natural fiber alternative to be composite. The objective of this research is to investigate the behavior changing of physical and mechanical properties of composite tapis kelapa as reinforcement and epoxy 7120 with hardener Versamid 140 as matrix. The fiber is treated with the chemical NaOH and KMnO₄ with percentage 0.5%, 1%, and 2% in weight, respectively. The ratio of epoxy and hardener is 7:3 and 6:4, and fiber orientation 0°, 45°, dan 90°. For testing of the specimen in tensile test with ASTM standard D3039 and three point bending test with ASTM standard D790. The result of this research obtained that fiber treatment with KMnO₄ give the better effect to machine properties compared to NaOH. Variation of percentage 0.5%, 1%, and 2% NaOH and KMnO₄ give the effect in fiber surface which higher percentage make the cleaner of surface, decrease of wax contain, and roughness of fiber surface so that stronger of linkage of fiber and matrix and increase of tensile strength, bending strength, and bending modulus of the composite. The highest tensile strength, modulus of elasticity and bending strength are 70.23 MPa, 446.24 GPa and 97.81 MPa respectively reached at composite with ratio epoxy/hardener 7:3; by 2% KMnO₄ and fiber orientation 45°. While the highest modulus of elasticity is 385.48 GPa reached at composite with the ratio epoxy/hardener 6:4; 2% KMnO₄ and fiber orientation 90°.

Keywords: Tensile Strength, bending strength, ratio of epoxy/hardener, NaOH, KMnO₄

1. Pendahuluan

Penggunaan Polimer dan komposit dewasa ini kian meningkat di segala bidang kehidupan seperti untuk bumper mobil, bodi kendaraan, bodi pesawat terbang, peralatan olahraga dan lain-lain. Komposit berpenguat serat banyak diaplikasikan pada alat-alat yang membutuhkan material yang mempunyai perpaduan dua sifat dasar yaitu kuat namun juga ringan.

Trend perkembangan komposit dewasa ini beralih dari komposit dengan material penyusun sintetis ke komposit dengan material penyusun dari bahan alami. Baik material untuk matrik maupun serat (penguat) telah dilakukan banyak penelitian untuk mendapatkan bahan natural yang layak untuk digunakan selanjutnya sebagai alternatif pengganti bahan-bahan sintetis penyusun komposit.



Gambar 1. Grafik hubungan tegangan-regangan dari serat alami.

Tabel 1. Sifat-sifat tarik dari beberapa serat alami

Tensile properties of various natural fibers

Name of the fiber	% Tensile strain	Average tensile strength (MPa)	Average tensile modulus (GPa)	Specific tensile strength (MPa/(kg m ⁻³))	Specific tensile modulus (MPa/(kg m ⁻³))
Vakka	3.46	549	15.85	0.6778	19.56
Date (L)	2.73	309	11.32	0.3121	11.44
Date (A)	24.00	459	1.91	0.4781	1.99
Bamboo (M)	1.40	503	35.91	0.5527	39.47
Bamboo (C)	1.73	341	19.67	0.3831	22.10
Palm	13.71	377	2.75	0.3660	2.67
Coconut	20.00	500	2.50	0.4348	2.17
Banana	3.36	600	17.85	0.4444	13.22
Sisal	5.45	567	10.40	0.3910	7.17

Serat alami memiliki beberapa keuntungan dibandingkan dengan serat sintesis, seperti beratnya lebih ringan, dapat diolah secara alami dan ramah lingkungan. Dan juga serat alami juga merupakan bahan terbarukan dan mempunyai kekuatan dan kekakuan yang relatif tinggi dan tidak menyebabkan iritasi kulit [1]. Keuntungan-keuntungan lainnya adalah kualitas dapat divariasikan dan stabilitas panas yang rendah.

Beberapa penelitian tentang serat alami sudah dilakukan oleh beberapa peneliti., Sifat-sifat tarik dari beberapa serat alami [2] terlihat pada Gambar 1 di atas.

Kekuatan tarik spesifik dan modulus tarik spesifik dari beberapa serat alami seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Penelitian komposit dengan penguat jerami-serbuk kayu diperoleh hasil bahwa panjang dan lebar dari jerami tidak memberikan pengaruh terhadap modulus bending pada papan komposit. Penelitian komposit dengan serat batang pohon pisang yang dirajut [3], didapatkan tegangan maksimum dari serat tersebut adalah 14.14 MN/m² and modulus Young's 0.976 GN/m². Penelitian menggunakan serat kelapa dengan pelapisan lilin pada permukaannya [4], didapatkan tegangan tarik yang meningkat secara linier dengan panjang serat di dalam matriks. Pengaruh ukuran sekam, semakin kecil ukurannya semakin tinggi ketangguhan bengkoknya (*flexural toughness*) dan juga tegangan tariknya (*tensile strength*). Dengan memvariasikan persentase NaOH dan KmnO₄ 0.5%, 1% dan 2% [5] didapat perbedaan pengaruh yang terjadi pada permukaan serat sekam padi.

Dari referensi tersebut penulis melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh arah dan metode perlakuan serat tapis serta *ratio epoxy hardener* terhadap sifat fisis dan mekanis komposit *epoxy* dengan penguat tapis kelapa. Perlakuan terhadap serat tersebut adalah perendaman dengan bahan kimia NaOH dan KMnO₄ dengan persentase masing-masing 0.5%, 1% dan 2% berat [6] selama 15

menit. Perbandingan antara *epoxy* dan *hardener* dari komposit yang akan dibuat yaitu 7 : 3 dan 6 : 4. Orientasi serat tapis 0° , 45° dan 90° pada spesimen uji. Pengujian spesimen yang dilakukan adalah uji tarik dengan standar ASTM D3039 dan uji *three point bending* dengan standar ASTM D790.

2. Metode Penelitian

Alat

- ❖ Cetakan yang terbuat dari keramik dan selotip;
- ❖ Mesin uji universal untuk uji tarik ;
- ❖ Alat uji bending tiga titik (*three point bending*);
- ❖ Alat ukur : jangka sorong, timbangan, gelas ukur, *timer (stop watch)* dan alat ukur defleksi.

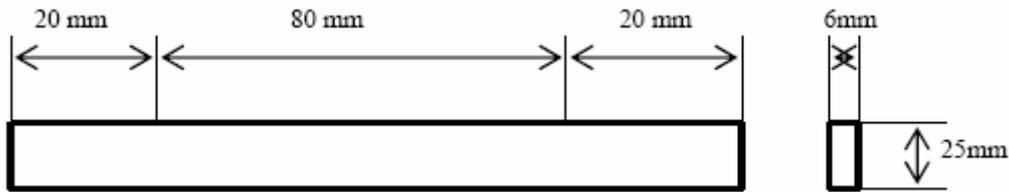
Bahan

- Matrik : *Epoxy Resin 7120* , *hardener versamid 140, NaOH, KmnO₄*
- Serat : tapis kelapa.

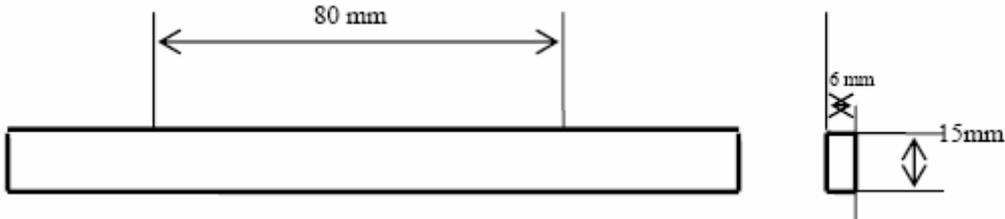
Langkah Penelitian

Pembuatan Spesimen Uji

1. Tapis kelapa dikeringkan secara alami di bawah sinar matahari selama 7 hari.
2. Tapis kelapa dipotong sesuai dengan orientasi serat 0°, 45° dan 90°.
3. Rendam tapis kelapa yang telah terpotong tersebut masing-masing ke dalam larutan zat kimia NaOH dan KMnO₄ selama 15 menit sesuai persentase berat larutan yaitu 0.5%, 1% dan 2%, bilas sampai bersih pada air yang mengalir selama 7-8 menit .
4. Keringkan kembali tapis kelapa tersebut selama 2 hari.
5. Campurkan *epoxy* dan *hardener* dengan perbandingan berat masing-masing 6 : 4 dan 7:3, kemudian diaduk sampai rata.
6. Campuran *epoxy* dituang merata sebagai lapisan pertama ke dalam cetakan.



Gambar 2. Spesimen uji tarik menurut ASTM D3039



Gambar 3. Spesimen uji bending menurut ASTM D790-03

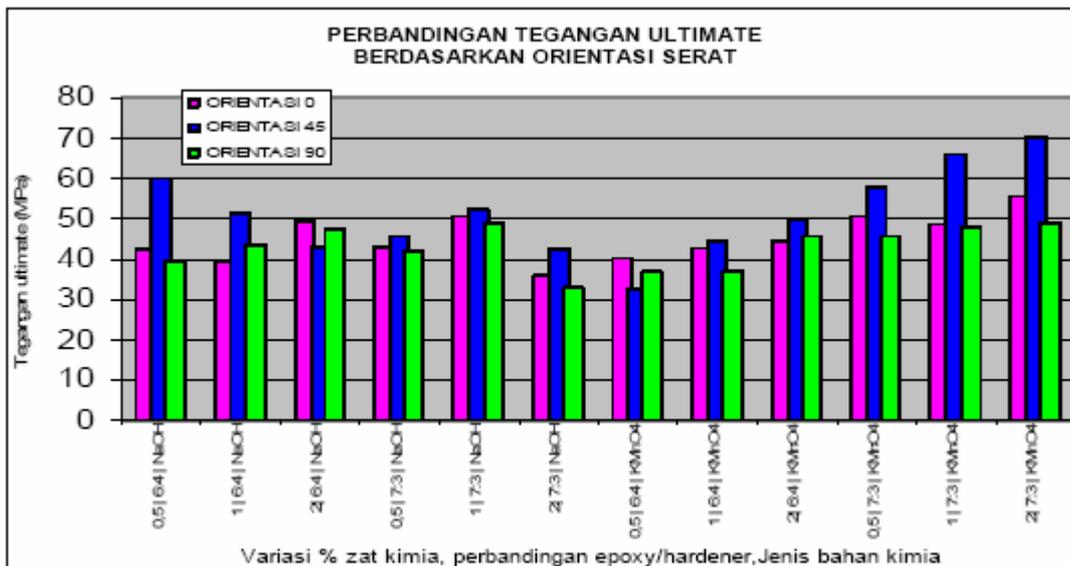
7. Lakukan pembersihan terhadap *void* hingga *void* berkurang dan tidak terdapat *void* yang secara visual diameternya tidak lebih dari 1 mm.
8. Letakkan tapis kelapa di atasnya sebagai lapisan ke dua, tuang campuran *Epoxy-Hardener* sampai cetakan penuh.
9. Lakukan pembersihan terhadap *void* seperti langkah ke 7.
10. Keringkan komposit pada suhu kamar selama 2 hari. Setelah benar-benar kering, keluarkan komposit dari cetakan.
11. Lakukan pengamatan pada komposit terhadap ada tidaknya *void* yang terjadi dengan cara menerawang lembaran komposit. Diameter *void* tidak boleh lebih dari 1 mm. *Void* tidak

- boleh mengumpul pada suatu tempat (radius jarak antar *void* yang diizinkan adalah 1 cm).
12. Bentuklah spesimen uji sesuai dengan standar ASTM D790-03 (untuk uji bending) dan standar ASTM D3039 (untuk uji tarik) (gambar 2 dan 3).
13. Lakukan pengamatan terhadap kelengkungan spesimen uji agar tidak melebihi 1 mm.

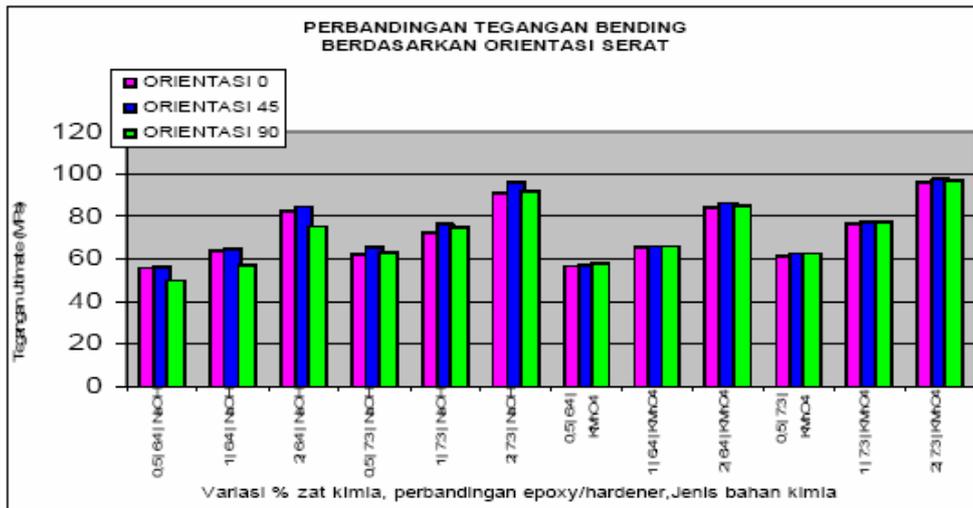
3. Hasil dan Pembahasan

Sifat mekanis Komposit Epoxy/tapis kelapa

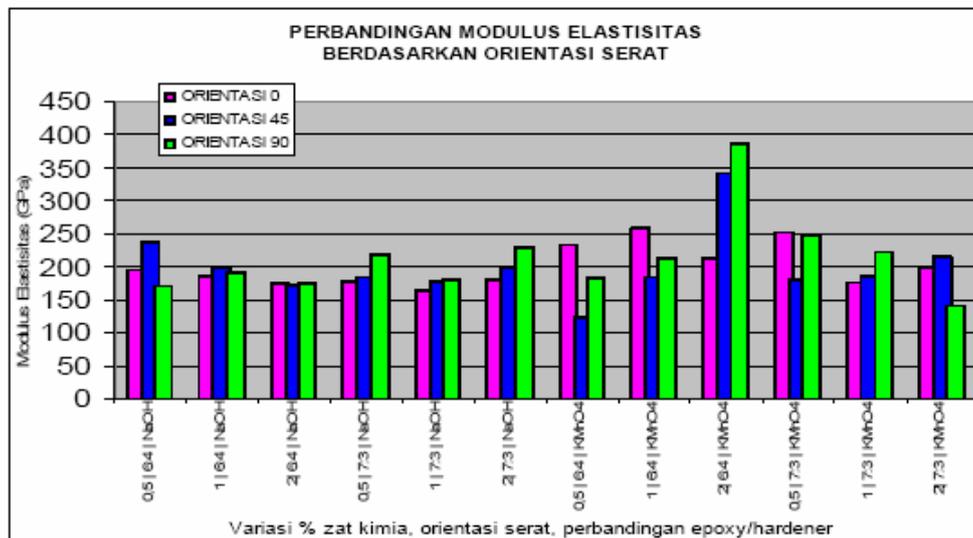
Sifat mekanis seperti kekuatan tarik, kekuatan *bending*, modulus elastisitas dan modulus *bending* dari material komposit polimer epoxy/tapis kelapa dengan variasi dari variabel yang diuji dituangkan dalam bentuk grafik seperti gambar-gambar di bawah ini.



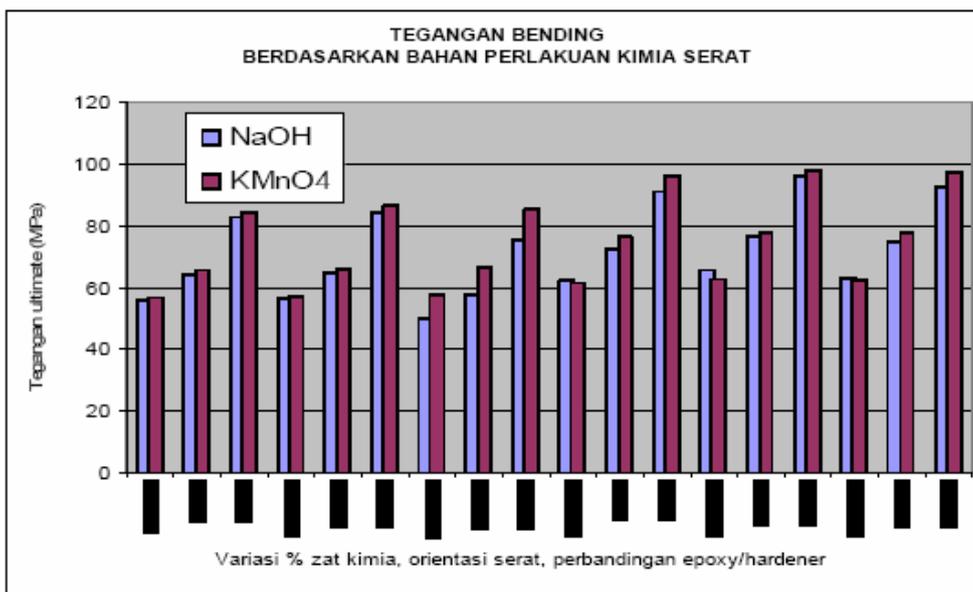
Gambar 4. Grafik perbandingan tegangan maksimum berdasarkan orientasi serat



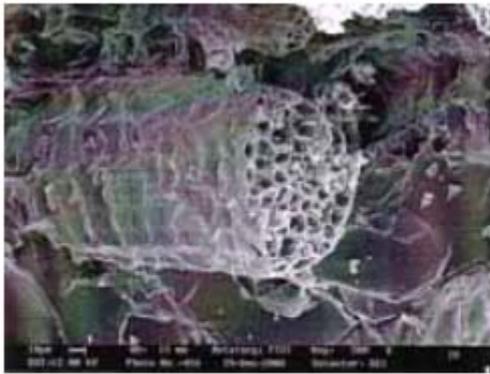
Gambar 5. Grafik perbandingan tegangan bending berdasarkan orientasi serat



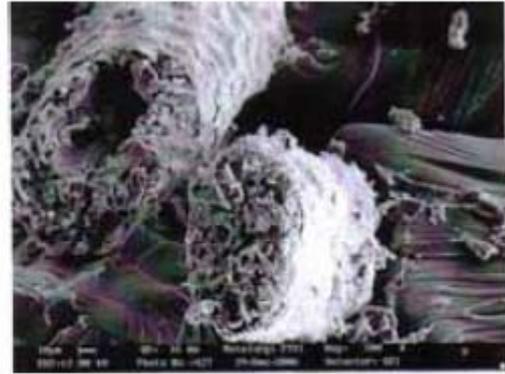
Gambar 6. Grafik perbandingan modulus elastisitas berdasarkan orientasi serat



Gambar 7. Tegangan bending berdasarkan bahan perlakuan kimia serat

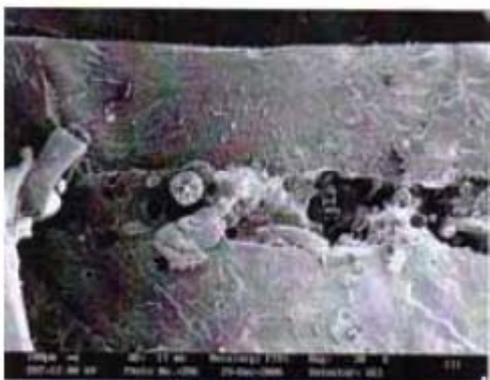


a. treatment serat dengan NaOH

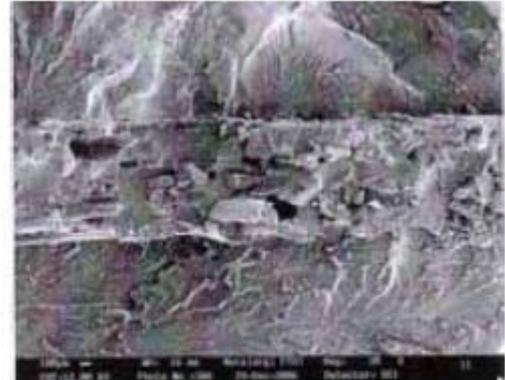


b. Treatment serat dengan KMnO₄

Gambar 8. Foto SEM patahan komposit dengan serat tapis kelapa



a. Arah serat 0°



b. Arah serat 90°

Gambar 9. Foto SEM patahan komposit serat tapis kelapa

Data hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan serat tapis kelapa dengan zat kimia KMnO₄ memberi efek lebih baik terhadap sifat mekanik komposit dibandingkan dengan NaOH, hal ini dapat dilihat pula dari hasil foto SEM (*Scanning Electron Microscope*) bahwa bentuk patahan komposit dengan serat tapis kelapa yang di-treatment dengan KMnO₄ tidak beraturan, yang artinya ikatan antara matrik dengan seratnya lebih kuat.

Walaupun demikian kedua zat kimia tersebut adalah berfungsi untuk menghilangkan lapisan lilin, kotoran dan sebagainya, hanya saja terjadi perubahan warna pada serat agak kehitaman akibat perlakuan KMnO₄, sedangkan dengan perlakuan NaOH tidak terjadi perubahan warna. Variasi persentase NaOH dan KMnO₄ pada proses perlakuan serat pada penelitian ini memberi pengaruh yang signifikan terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending komposit hasil penelitian ini

Hal ini terjadi karena NaOH dan KMnO₄ dengan variasi persentase 0.5%, 1% dan 2% memberikan pengaruh pada permukaan serat yang mana semakin besar persentasenya akan menjadikan permukaan serat lebih bersih, kadar wax berkurang dan lebih

kasar sehingga ikatan serat dengan matrik semakin kuat dan meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan bending, serta modulus bending dari komposit yang dibentuknya. Peningkatan persentase NaOH untuk bahan perlakuan serat ternyata justru berbanding terbalik dengan defleksi dan regangan maksimum yang dapat dicapai. Hal ini terjadi karena penambahan persentase NaOH menyebabkan ikatan serat dengan matrik meningkat sehingga kekakuan komposit yang terbentuk meningkat dan mengakibatkan defleksi yang terjadi akan berkurang. Gambar 4, 5, 6, dan 7 menunjukkan bahwa dengan orientasi serat 45° pada komposit menghasilkan sifat mekanik yang lebih baik dari orientasi 0° dan 90°. Hal ini terjadi karena serat dari tapis kelapa terjalin alami (*natural woven fiber*), yang mana di dalamnya terdapat tiga lapisan serat dengan arah serat yang berbeda.

Serat bagian atas dan bawah tapis lebih besar daripada serat yang letaknya di tengah yang berupa serabut-serabut kecil. Orientasi serat yang diambil sebagai acuan adalah arah serat yang dominan. Sehingga pada saat pemberian beban pada pengujian tarik, serat yang orientasi 45° memiliki

kekuatan yang lebih besar. Berdasarkan grafik dan anova diperoleh hasil bahwa variasi orientasi serat 0^0 , 45^0 dan 90^0 memberi pengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik komposit baik dengan perlakuan serat NaOH maupun KMnO_4 . Sedangkan kekuatan *bending*, modulus elastisitas dan modulus *bendingnya* tidak dipengaruhi oleh orientasi serat tersebut. Kekuatan tarik maksimum terdapat pada komposit yang memiliki orientasi serat 45^0 dan diikuti oleh komposit dengan orientasi serat 0^0 . Berdasarkan foto makro benda uji masing-masing jenis komposit, memperlihatkan jenis patahan *lateral* tetapi lokasi patahan yang terjadi beragam. Keadaan ini mungkin disebabkan karena proses pembentukan dan pemasangan benda uji pada alat uji yang kurang sempurna sehingga terjadi cacat berupa goresan dan takikan yang menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan di daerah tersebut. Foto SEM pada Gambar 8 memperlihatkan bahwa bentuk patahan komposit dengan orientasi serat 90^0 lebih rata dibandingkan dengan 0^0 , karena arah serat yang dominan melintang terhadap tarikan sehingga ikatan matrik dengan serat ke arah memanjang tidak kuat, sedangkan yang 0^0 karena arah serat dominan searah dengan pembebanan sehingga ikatannya cukup kuat, terlihat dari bentuk patahan serat tidak rata seperti Gambar 9.

Dari pengujian yang telah dilakukan, terbukti bahwa benda uji dengan komposisi 6 : 4 lebih rendah kekuatannya, hal ini dapat dilihat dari foto jenis patahan pada masing-masing benda uji, dengan komposisi *epoxy-hardener* 6 : 4 terlihat rata-rata patahan lebih ulet daripada komposisi 7 : 3.

Jadi komposisi *hardener* berlebih mengakibatkan ikatan matrik dengan penguat belum terjadi dengan sempurna karena matrik mengering lebih cepat, sehingga dapat menurunkan kekuatan tarik maupun *bending* komposit tersebut. Hal ini juga dikuatkan dari analisa yang dilakukan terhadap foto makro yang diambil setelah semua spesimen diuji. Dalam foto makro terlihat bahwa spesimen rasio 7:3 cenderung mempunyai tipe patahan putus berhamburan (*explode crack*) sedangkan untuk komposit rasio 6:4 cenderung hanya terjadi retak disertai dengan *split crack* (terbelah antara ikatan matrik dengan tapis sebagai penguatnya atau *delaminasi*). *Explode crack* yang terjadi pada spesimen rasio 7:3 mengindikasikan bahwa spesimen tersebut mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dan keuletan yang rendah. Sedangkan retak disertai dengan *delaminasi* yang terjadi pada komposit rasio 6 : 4 menunjukkan bahwa spesimen dengan rasio tersebut mempunyai keuletan yang lebih baik dan kekakuan yang lebih rendah dari pada spesimen rasio 7:3.

Kekuatan tarik, modulus elastisitas dan kekuatan *bending* tertinggi berturut-turut sebesar 70.23 MPa, 446.24 GPa dan 97.81 Mpa dicapai pada komposit dengan rasio *epoxy-hardener* 7:3 dengan 2% KMnO_4

dan orientasi serat 45^0 . Sedangkan modulus elastisitas tertinggi 385.48 GPa dicapai komposit dengan rasio *epoxy-hardener* 6:4, 2% KMnO_4 dan orientasi 90^0 .

Foto makro terhadap retak yang terjadi pada komposit saat pengujian dan catatan terhadap kondisi spesimen setelah pengujian menunjukkan bahwa terdapat sejumlah spesimen mengalami kerusakan *split crack* sebelum atau bersamaan dengan *reguler crack* (patah normal). Hal ini terjadi karena tapis yang digunakan ternyata mempunyai susunan serat yang terlalu rapat sehingga ikatan antara lapisan *epoxy* bagian bawah dengan bagian atas sangat sedikit.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Sifat mekanis komposit dengan KMnO_4 memberi efek lebih baik dibandingkan dengan NaOH.
2. Variasi persentase 0.5%, 1% dan 2% NaOH dan KMnO_4 memberikan pengaruh pada permukaan serat yang mana semakin besar persentasenya akan menjadikan permukaan serat lebih bersih, kadar *wax* berkurang dan lebih kasar sehingga ikatan serat dengan matrik semakin kuat dan meningkatkan kekuatan tarik, kekuatan *bending*, serta modulus *bending* dari komposit yang dibentuknya.
3. Variasi orientasi serat 0^0 , 45^0 dan 90^0 memberi pengaruh secara signifikan terhadap kekuatan tarik komposit baik dengan perlakuan serat NaOH maupun KMnO_4 . Kekuatan tarik maksimum terdapat pada komposit yang memiliki orientasi serat 45^0 .
4. Ratio *epoxy-hardener* 7:3 memberi efek lebih besar dibandingkan dengan ratio 6:4, kecuali modulus elastisitas.
5. Kekuatan tarik, Modulus elastisitas dan kekuatan *bending* tertinggi berturut-turut sebesar 70.23 MPa, 446.24 GPa dan 97.81 MPa dicapai pada komposit dengan rasio *epoxy-hardener* 7:3 dengan 2% KMnO_4 dan orientasi serat 45^0 . Sedangkan modulus elastisitas tertinggi 385.48 GPa dicapai komposit dengan rasio *epoxy-hardener* 6:4, 2% KMnO_4 dan orientasi 90^0 .

Saran

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan ada beberapa saran untuk penelitian berikutnya, antara lain :

1. Penggunaan tapis kelapa yang rapat ternyata kurang baik untuk penguat komposit yang diperuntukkan untuk menerima beban *bending* karena justru mengurangi ikatan antara matrik (lapisan matrik sebelah atas dengan lapisan matrik sebelah atas). Untuk itu perlu dilakukan penelitian lanjut terhadap seleksi tapis terhadap kekuatan komposit yang dapat dihasilkan atau penelitian tentang metode pencetakan sehingga dapat meningkatkan ikatan antara matrik yang lebih baik

sehingga juga akan meningkatkan kekuatan *bending* komposit.

2. Kendala terbesar dalam penelitian ini adalah meminimalkan adanya *void* pada komposit, khususnya pada bagian bawah lapisan *tapis*. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan *tapis* yang mempunyai struktur yang lebih renggang sehingga udara yang berada di bawah *tapis* tidak terperangkap dan dapat muncul ke permukaan. Perlakuan *vacuum* pada komposit sangat disarankan untuk penelitian selanjutnya.

Daftar Pustaka

- [1] Oksman, K., Skrifvars, M., Selin, J-F., 2003, *Natural fibers as reinforcement in Poly-lactic acid (PLA) composites*, Composites science and technology 63, Scindirect.com, 1317-1324.
- [2] Mohan Rao, K.M., and Mohana Rao, K., 2005, *Extraction and tensile properties of natural fibers: Vakka, date and bamboo*, Elsevier, Composite structures.
- [3] Sapuan, S.M., A. Leenie., M. Harimi., Y.K. Beng., 2005, *Mechanical properties of woven banana fiber reinforced epoxy composites*, Elsevier Ltd, Material and design.
- [4] Brahmakumar, M., Pavithran, C., and Pillai, R.M., 2005, *Coconut fiber reinforced polyethylene composites such as effect of natural waxy surface layer of the fiber on fiber or matrix interfacial bonding and strength of composites*, Elsevier , Composite Science and Technology, 65, 563-569.
- [5] Kim, L.J, 2005, *Effect of surface treatment on the mechanical properties of rice straw fiber*, Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, Korea.
- [6] Sharifah H Aziz and Martin P. Ansell, 2003, *The effect of alkalization and fibre alignment on the mechanical and thermal properties of kenaf and hemp bast fiber composites: Part 1 – polyester resin matrix*, Composites science and technology 64, Scindirect.com, 1219-1230.
- [7] Herrera-Franco, P.J., and Valadez-Gonzalez, A., 2005, *A study of the Mechanical properties of Short Natural –fiber reinforced composites*, Elsevier, Composites part B 36 597-608.
- [8] Lim, J.K. and Shoji, T., 1992, *Microstructural Characteristics and Mechanical Properties of Polymer Injection Weld*, EEP – Vol. 2, Proceedings o the Joint ASME/JSME advances in Electronic Packaging, Book No. G0660B-1992.
- [9] Lim, J.K. and Shoji, T., 1993, *Fiber orientation and weld strength of short glass fiber filled polycarbonate*, JSME international journal, series A, vol.36, No 3.
- [10] Melisa Balkcom, Bruce Welt, Kenneth Berger, 2002, *Notes from the Packaging Laboratory: Poly-lactic Acid -- an Exciting New Packaging Material*, University of Florida, First published December 2002.
- [11] Nagaoka, Tsutomu, 2005, *Long natural fiber pellet: Its properties, applications and manufacturing process*, Mechanical and engineering company Kobe steel Co. LTD, Proceeding of Korea-Japan workshop on natural fibers and wood plastics composites, Korea.
- [12] Munikeche Gowda T., ACB, Naidu, Rajput Chhaya, 1999, *Some mechanical of untreated jute fabric-reinforced polyester composites*, Elsevier, Composite applied science and manufacturing, Part A 30 277-284.
- [13] R. W. Venderbosch, T. Peijst, H. E. H. Meijer and P. L. Lemstra, 1996, *Fibre-reinforced composites with tailored interphases using PPE/epoxy blends as matrix system, Composites Part A*, 27A (1996) W-905, Elsevier.
- [14] Witold Brostow, Josef Kuba´t, and Michael M. Kuba´t, 1996, *Mechanical Properties, Physical Properties of Polymers Handbook*, edited by J. E. Mark, AIP Press, New York.