

REKAYASA BIOKOMPOSIT DARI SEKRESI KUTU LAK DAN SERAT RAMI

¹⁾Mujiyono, ²⁾Prof. Ir. Jamasri, Ph.D, ²⁾Ir. Heru Santoso B.R., M.Eng., Ph.D,
³⁾Ir. J.P. Gentur Sutapa, M.Sc, Ph.D

¹⁾ Promovendus doktor Pascasarjana Teknik Mesin UGM dan Dosen FT UNY

²⁾ Dosen senior Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik UGM

³⁾ Dosen senior Jurusan Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan UGM

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan merekayasa sekresi kutu lak (SKL) menjadi matriks alam untuk membuat biokomposit. SKL dipisahkan dari ranting pohon induk, dicampur spiritus dengan perbandingan berat 1:1 sehingga SKL berubah fase padat menjadi cair. Cairan SKL ini kemudian dipanaskan 100 °C selama 10 menit hingga berubah fase dari cair menjadi jel dan berfungsi sebagai matriks alam yang selanjutnya disebut Matlac. Karakterisasi matriks ini dilakukan dengan FTIR. Kalayakan matriks ini dievaluasi dengan pengujian tarik biokomposit yang diperkuat serat rami menggunakan standard ASTM D 638-03. Serat rami yang dianyam *plain weave* digunakan sebagai *reinforcement* matlac menjadi biokomposit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SKL dapat digunakan sebagai matriks. Spiritus berfungsi sebagai “alat transport” yang membantu SKL mencapai persyaratan matriks yaitu dapat membungkus serat dengan sempurna. Metode pemadatan matlac digunakan sebagai dasar pembuatan biokomposit, yakni pemanasan 180°C selama 15 menit dan dilanjutkan pengepresan cetakan dengan tekanan 40 MPa. Setelah 6 jam biokomposit dapat diambil dari cetakan. Kekuatan tarik biokomposit yang diperkuat anyaman serat rami 0/90/0 adalah 87 MPa yang setara dengan biokomposit sejenis dan biokomposit ini mempunyai sifat adesi yang baik dengan indikator sudut kontak serat-matriks 30°.

Keyword : *sekresi kutu lak, matriks alam matlac, serat rami, biokomposit*

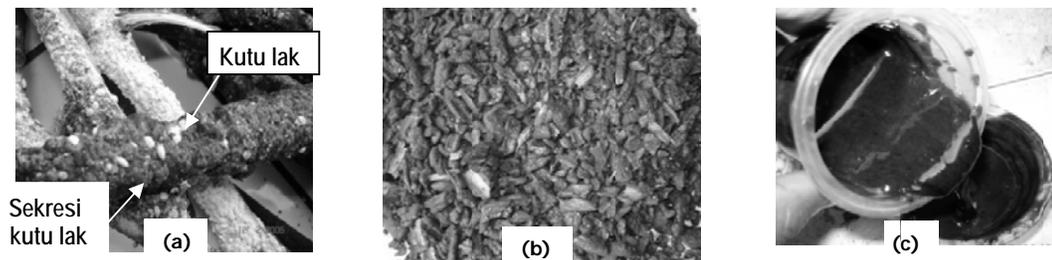
PENDAHULUAN

Limbah plastik yang tidak terurai oleh lingkungan, berkurangnya lokasi pembuangan sampah, penipisan sumber daya minyak, dan dampak emisi selama insinerasi mendorong upaya pengembangan plastik biobased, yaitu suatu material yang diperoleh dari sumber terbarukan [1]. Oleh karena itu pengembangan produk dari *biobased material* sangat diperlukan.

Komposit terdiri dari dua penyusun utama yaitu *reinforcement* dan matriks. Biokomposit adalah material komposit dengan salah satu penyusunnya bersifat natural, misalnya menggunakan *reinforcement* serat alam atau matriks alam [1]. Dibidang otomotif, biokomposit sudah digunakan untuk 50 komponen pada mobil seri mercedes benz [2] dengan pertimbangan lebih ramah lingkungan dan *renewable*. Keberhasilan ini memacu pengembangan biokomposit yang lebih ramah lingkungan yaitu dengan penggunaan matriks alam. Salah satu bahan alam yang berpotensi sebagai matriks adalah sekresi kutu lak yang bersifat natural, *biodegradable* dan tidak beracun [3]. Sekresi ini berbentuk resin yang dihasilkan oleh soft body kutu lak untuk melindungi dari lingkungan yang tidak menguntungkan dan menempel pada ranting pohon induk. SKL merupakan bahan dasar pembuatan shellac yang memiliki daya rekat yang baik, konduktivitas rendah dan koefisien ekspansi kecil [4]. Penyusun utama shellac adalah *aleuritic acid* yang bersifat adesif [5]. Jadi SKL merupakan *biobased material* dengan penyusun utama asam aleuretik. SKL yang melimpah dan dapat dibudidayakan belum dimanfaatkan sebagai bahan dasar matriks alam. Paper ini melaporkan rekayasa SKL menjadi matriks alam untuk biokomposit dengan metode yang relatif sederhana tanpa melalui proses shellac.

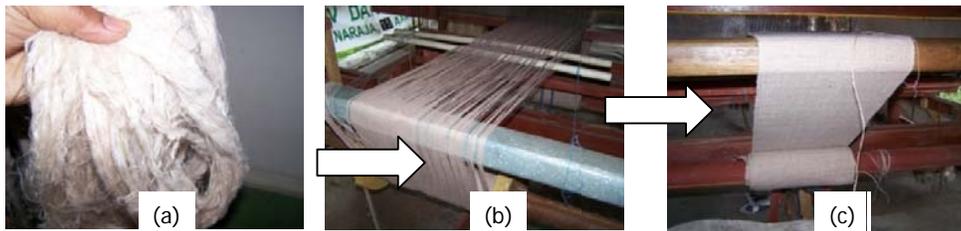
METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian



Gambar 1. Bahan dasar matriks alam (a) Kutu lak (putih) dan sekresinya menempel pada ranting (b) SKL dipisahkan dari ranting (c) Matlac adalah matriks alam dari SKL

Bahan dasar matriks alam untuk biokomposit adalah Sekresi kutu lak (SKL) seperti terlihat pada gambar 1 (a). SKL ini dipisahkan dari ranting pohon induk dengan bentuk tidak teratur seperti terlihat pada gambar 1 (b). Bahan pelarut untuk mencairkan SKL adalah spiritus dengan kandungan 95% ethanol yang di peroleh dari PT. Madukismo, Yogyakarta. Serat rami yang dianyam seperti terlihat pada gambar 2 digunakan sebagai *reinforcement* bikomposit.



Gambar 2. Proses persiapan serat rami sebagai penguat biokomposit (a) serat rami (b) proses tenun serat rami (c) anyaman *plain weave* serat rami

Rekayasa SKL Menjadi Matriks Alam

Dalam rangka memenuhi persyaratan matriks, metode pencairan SKL dilakukan dengan mencampurkan spiritus melalui perbandingan berat 1:1 atau 100%. Metode pepadatan kembali dilakukan dengan pemanasan cairan SKL pada temperatur 40 °C selama periode waktu 30 menit dan ditimbang. Sample 21 botol berisi berisi cairan SKL yang sudah ditimbang beratnya dimasukkan ke dalam oven. Setiap 30 menit, dikeluarkan 3 botol dari oven kemudian ditimbang dan diperiksa fasenya sehingga diperoleh 3 data pada setiap periode waktu. Hal

yang sama juga dilakukan untuk temperatur 50°C, 70°C 90°C, 110°C, 150°C dan 180°C tetapi dengan periode waktu pemanasan berbeda.

Pengujian Fourier Transform Infrared (FTIR)

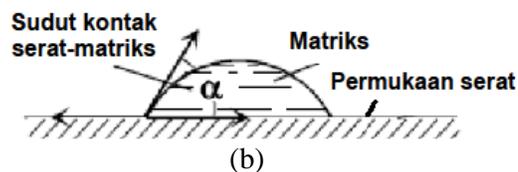
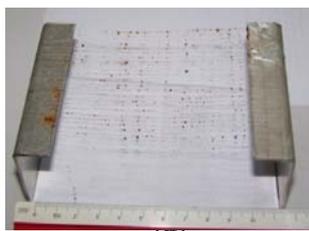
Pengujian FTIR untuk mengetahui gugus fungsi sampel dilakukan dengan menggunakan mesin FTIR Shimadzu seri 8400S dengan *beam splitter plat* Germanium yang dibungkus KBr pada kondisi ruang 20°C dan kelembaban 60%.

Pengujian Tarik Biokomposit

Jumlah sampel biokomposit yang digunakan pada pengujian tarik adalah 6 spesimen dengan ukuran sesuai standar ASTM D638-02 tipe IV dan mesin uji tarik Servo Pulser Shimadzu seri EFH-EB20-40L pada temperatur 25°C.

Pengukuran *Wettability*

Tiga puluh helai serat rami direntangkan pada plat aluminium berbentuk U, kemudian matriks matlac dijatuhkan pada setiap serat seperti terlihat pada Gambar 3 (a). Foto matriks alam yang menempel pada serat rami diambil dengan mikroskop Nikon seri HFX-2 dengan pembesaran 50 kali. Sudut kontak kemudian diukur dengan Image Proplus Analyser pada foto-foto tersebut dengan pengaturan pengambilan seperti terlihat pada Gambar 3 (b).



Gambar 3. Matriks dijatuhkan pada serat rami dan pengukuran sudut kontak

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekayasa SKL Menjadi Matriks Alam

Persyaratan matriks komposit dari beberapa referensi diantaranya Schwarz [6], Feldman [7], Vasiliev dan Morozov [8] dapat dirangkum sebagai

berikut, pertama bahwa matriks harus dapat menahan dan melindungi serat. Berarti matriks harus dapat membungkus serat dengan baik dan tidak menimbulkan *internal strain* berlebihan antara serat dan matriks, kedua bahwa matriks harus dapat menjaga serat selalu pada tempatnya sehingga tidak tercerai berai. Berarti matriks harus dapat berbentuk solid dan ketiga bahwa matriks harus dapat mendistribusikan beban ke serat. Berarti matriks harus mempunyai ikatan yang baik terhadap serat.

SKL dalam fase padat perlu direkayasa agar memenuhi persyaratan sebagai matriks sehingga dapat membungkus serat secara sempurna. Dua metode berhasil diidentifikasi sebagai solusi masalah ini seperti terlihat pada Gambar 4. Metode pertama adalah merubah SKL menjadi fase cair sehingga dapat membasahi serat dengan sempurna, sedangkan metode kedua adalah merubah bentuk SKL menjadi butiran kecil yang seragam agar terjadi peningkatan permukaan kontak dengan serat. Artikel ini hanya melaporkan metode pertama.

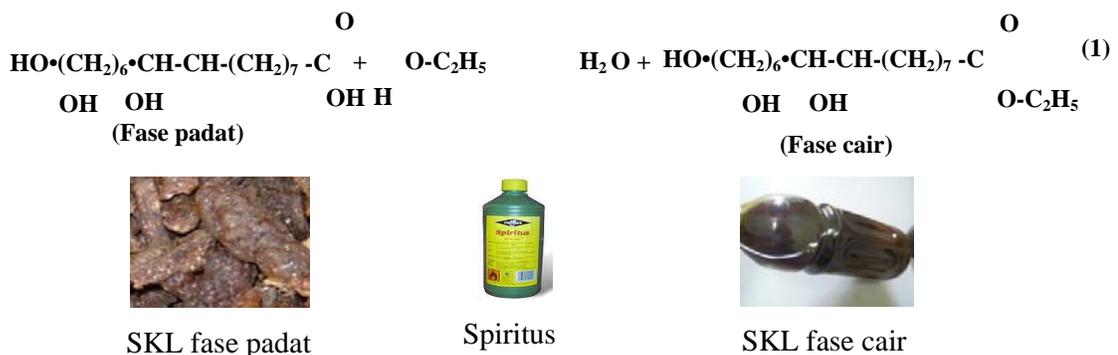


Gambar 4. Identifikasi metode untuk rekayasa SKL menjadi matriks alam

Metode pencairan SKL sebagai solusi pertama mempunyai dua tantangan yaitu bagaimana menemukan **proses pencairan SKL** yang tidak merubah sifat kimianya dan proses pemadatan setelah menjadi matriks. Keberhasilan pembasahan hingga dapat membungkus serat secara sempurna belum memenuhi persyaratan matriks karena tidak bisa menjaga serat pada tempatnya atau masih mudah tercerai berai. Oleh karena itu tantangan kedua yang dihadapi adalah bagaimana cara pemadatan kembali cairan SKL ini agar mampu menjaga serat pada tempatnya dan mempunyai ikatan yang kuat terhadap serat. Keberhasilan menghadapi dua tantangan tersebut, yaitu metode pencairan hingga dapat membasahi serat dengan sempurna dan metode pemadatan setelah serat terbasahi, akan memenuhi syarat sebagai matriks komposit apabila juga didukung oleh ikatan yang kuat terhadap serat sehingga dapat mendistribusikan beban ke serat.

Metode Perubahan SKL Fase Padat Menjadi Cair

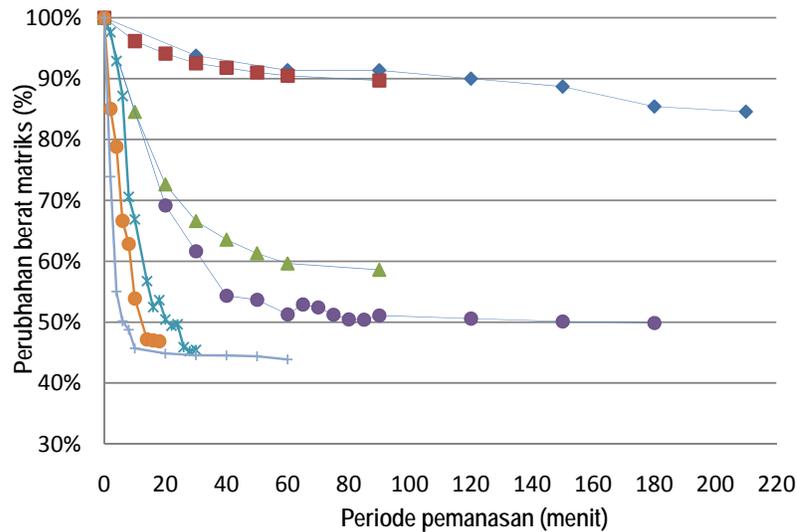
Metode untuk merubah SKL dari fase padat menjadi cair dengan mencampurkan spiritus atau ethanol 95% melalui perbandingan berat 1:1 atau 100%. SKL yang tersusun oleh asam aleuretik dalam fase padat ini akan berubah menjadi fase cair bila campurkan ethanol. Reaksi ini akan menghasilkan cairan SKL dan air sesuai persamaan (1). Perubahan fase campuran ini secara skematik terlihat pada gambar 5.



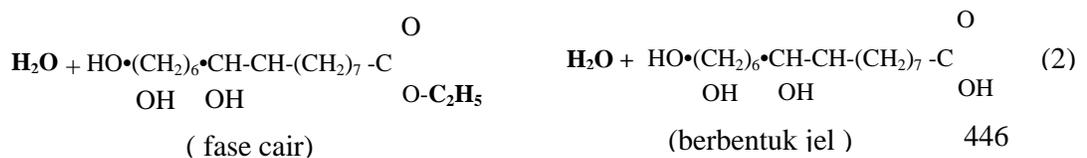
Gambar 5. Skematik pencairan SKL dengan spiritus atau ethaol 95%

4.2.1. Metode Pemadatan Cairan SKL

Pemanasan pada temperatur 40 °C dan 50 °C tidak terjadi perubahan secara signifikan dan bentuk fase matriks tetap cair walaupun dipanaskan hingga lebih dari 3 jam. Hal ini terjadi karena temperatur 40 °C dan 50 °C dibawah temperatur didih ethanol yaitu 70°C, sehingga tidak terjadi penguapan ethanol yang signifikan dan terdeteksi dengan perubahan berat yang relatif kecil seperti terlihat pada Gambar 5. Pemanasan pada temperatur 70 °C dan 90 °C terjadi perubahan bentuk SKL dari fase cair ke jel karena temperatur 70 °C dan 90 °C diatas titik didih ethanol, sehingga dapat menguapkan ethanol melalui persamaan reaksi (2) dan terdeteksi dengan perubahan berat yang signifikan seperti terlihat pada Gambar 6. Tetapi kedua temperatur ini tidak dapat menguapkan air hasil reaksi persamaan (2) sehingga SKL tidak berubah ke fase padat tetapi hanya berbentuk jel seperti terlihat pada Gambar 7. Jadi pemanasan cairan SKL pada temperatur di bawah 100°C belum dapat merubah ke fase padat karena air yang terbentuk dalam reaksi tidak dapat menguap.



Gambar 6. Pengaruh pemanasan terhadap perubahan berat cairan SKL



Pemanasan pada 70°C < T < 100 °C



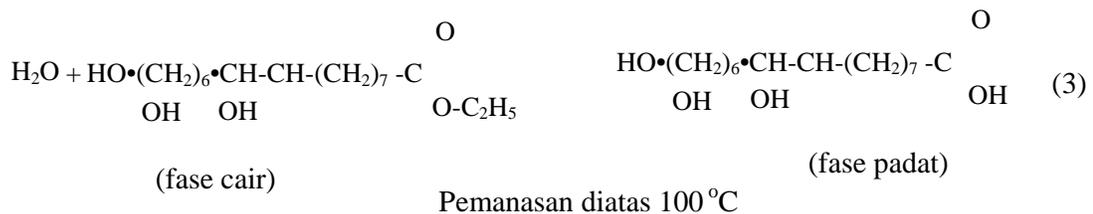
SKL dalam bentuk cairan



SKL dalam bentuk jel

Gambar 7. Skematik perubahan bentuk SKL dari cair ke jel

Pemanasan pada 110 °C, 150 °C dan 180 °C mampu merubah bentuk fase cair SKL menjadi padat karena di atas temperatur didih air. Reaksi pelarutan spiritus terhadap SKL menyebabkan pelepasan ikatan karbonil dalam gugus fungsi karboksilat sehingga menjadi molekul bebas dengan fase cair dan menghasilkan air. Pemanasan pada temperatur diatas 100°C akan mengakibatkan penguapan air yang dihasilkan dari reaksi pelarutan tersebut. Penguapan air ini akan mengembalikan gugus karboksilat dalam struktur kimia *aleuritic acid* pada keadaan normal yaitu berbentuk padat seperti terlihat pada Gambar 8. Hal ini dapat diamati dari hasil FTIR antara sampel SKL dan matriks Matlac seperti terlihat pada Gambar 9 yang menunjukkan tidak ada perubahan gugus fungsi dan ikatan kimia. Oleh karena itu, ketiga temperatur ini dapat dijadikan dasar pembuatan biokomposit dan mesin cetaknya. Perubahan matriks alam ke bentuk padatan memerlukan waktu yang berbeda antara ketiga temperatur tersebut. Pada temperatur 110 °C memerlukan waktu 26 menit untuk merubah bentuk matriks alam menjadi padat, sedangkan temperatur 150 °C dan 180 °C masing-masing 16 menit dan 10 menit seperti terlihat pada Gambar 6.





SKL dalam bentuk cairan

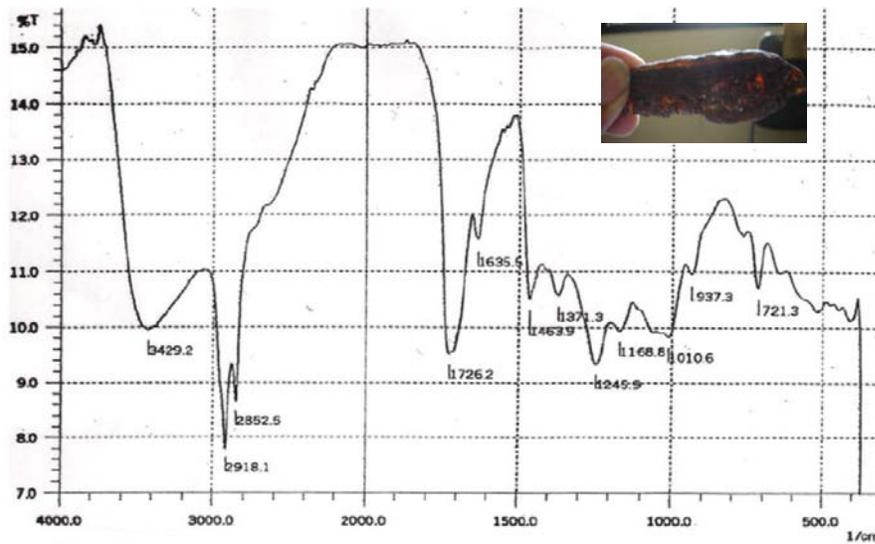


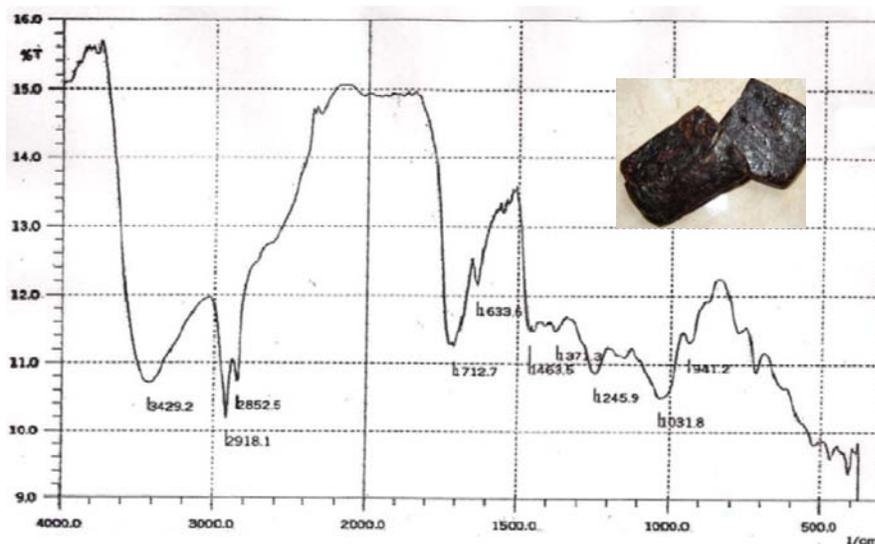
SKL dalam bentuk jel

Gambar 8. Skematik perubahan bentuk SKL dari cair ke padat

Karakterisasi SKL dengan FTIR

Karakterisasi ini digunakan untuk membandingkan struktur kimia antara sampel SKL dan Matlac dengan mempelajari gugus fungsi yang terdeteksi dengan metode FTIR seperti terlihat pada Gambar 9.





Gambar 9. Puncak-puncak serapan berkas *infrared* untuk (a) sampel SKL dan (b) matriks MATLAC

Ikatan atom O-H dalam sampel merupakan gugus fungsi hidroksil dengan rumus (-OH). Ikatan C-H yang muncul pada daerah gelombang $3100-2800\text{ cm}^{-1}$ adalah 2918 dan 2852 cm^{-1} yang merupakan C-H *stretching*, sedangkan ikatan C-H yang terdeteksi pada daerah gelombang $1480-1300\text{ cm}^{-1}$ merupakan C-H *bending*. Oleh karena itu, sampel memiliki gugus fungsi methylene dengan rumus (-CH₂). Hal ini sesuai dengan keterangan yang diungkapkan Derrick (1999) bahwa gugus fungsi methylene mempunyai vibrasi ikatan C-H *stretching* pada daerah gelombang sekitar 2925 (*asymmetric*) dan 2850 (*symmetric*) cm^{-1} serta vibrasi ikatan C-H *bending* pada daerah sekitar 1465 cm^{-1} . menurut Derrick [9] bahwa ikatan karbonil dengan rumus (C=O) yang bersifat sangat polar akan menghasilkan penyerapan energi pada gelombang $1850-1650\text{ cm}^{-1}$. Sampel ini memiliki ikatan karbonil karena terjadi penyerapan energi pada gelombang 1726 cm^{-1} . Apabila ini dikaitkan dengan adanya ikatan (C-O) yang terdeteksi dari munculnya serapan berkas pada gelombang $1300-900\text{ cm}^{-1}$, maka sampel ini memiliki gugus fungsi karboksilat dengan rumus RCOOH yang menyusun asam

aleuretik dan sesusi dengan Brydson [5] bahwa penyusun utama *shellac* dengan bahan dasar SKL adalah asam aleuretik.

Komparasi gugus fungsi hasil analisis dari FTIR matriks Malac dengan sampel SKL sabagai bahan dasarnya disajikan dalam tabel 1. Hasil FTIR ini menunjukkan kesamaan gugus fungsi antara MATLAC dan sampel SKL. Kedua sampel mempunyai puncak serapan 3429 cm^{-1} yang mengindikasikan gugus hidroksil O-H *stretching*, 2918 cm^{-1} dan 2852 cm^{-1} mengindikasikan gugus hidrokarbon C-H *stretching*, 1713 cm^{-1} dan 1726 cm^{-1} mengindikasikan gugus karbonil C=O *stretching*, 1633 cm^{-1} dan 1635 cm^{-1} mengindikasikan rantai karbon C-C *stretching*. Kesamaan ini juga didukung oleh daerah serapan puncak gelombang $1480\text{-}1300\text{ cm}^{-1}$ dengan nilai yang sama yaitu 1463 dan 1371 cm^{-1} , serta daerah $1300\text{-}900\text{ cm}^{-1}$ dengan niai yang sangat mirip yaitu $1245,1165, 1031,941\text{ cm}^{-1}$. Jadi dapat disimpulkan bahwa metode pencairan yang dipilih untuk membuat matriks alam ini tidak merubah struktur kimia dari bahan dasarnya yaitu polimer SKL. Hal ini juga didukung oleh persamaan reaksi (3) dan Gambar 8 yang menunjukkan bahwa penguapan ethanol dan air akan menyebabkan SKL ke bentuk semula yaitu fase padat.

Tabel 1. Identifikasi puncak-puncak serapan *infrared* dari matriks Matlac dan SKL

| Gelombang puncak serapan sampel (cm^{-1}) | Range gelombang (cm^{-1}) | Ikatan atom | Jenis berkas |
|---|--|-------------|-----------------------------|
|  MATLAC |  SKL | | |
| 3429 | 3429 | 3600-3200 | O-H <i>Stretching band</i> |
| 2918 dan 2852 | 2918 dan 2852 | 3100-2800 | C-H <i>Stretching bands</i> |
| 1713 | 1726 | 1740-1640 | C=O <i>Stretching band</i> |
| 1633 | 1635 | 1650-1600 | C-C <i>Stretching band</i> |
| 1463 dan 1371 | 1463 dan 1371 | 1480-1300 | C-H <i>Bending bands</i> |
| 1245,1165, 1031,941 | 1245,1168,1010,937 | 1300-900 | C-O <i>Stretching bands</i> |

Pembuatan Biokomposit dari Matlac dengan Reinforcement Serat Rami

Berdasarkan analisis data metode pencairan dan pepadatan SKL, maka dapat dirumuskan langkah-langkah pembuatan biokomposit dari matriks Matlac dengan penguat serat alam sebagai berikut:

- 1). Matriks alam Matlac dilaburkan dalam permukaan anyaman serat rami hingga merata, kemudian dimasukkan kedalam cetakan $200 \times 200 \times 15 \text{ mm}^3$. Hal yang sama dilakukan untuk lamina kedua hingga ke tiga dengan arah 0/90/0
- 2). Cetakan ditutup dan dipanaskan pada temperatur 180°C
- 3). Setelah 15 menit, cetakan biokomposit ditekan pada 40 MPa dengan mesin cetak dan didinginkan pada temperatur kamar ($\pm 30^\circ\text{C}$).
- 4). Setelah 6 jam, cetakan dibuka dan biokomposit diambil dari cetakan.

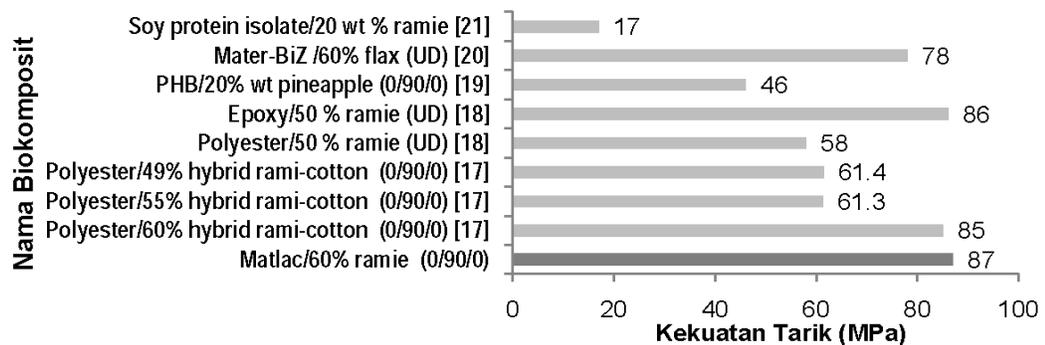
Formula pembuatan biokomposit dari matriks Matlac dengan penguat serat rami dapat dibuktikan dengan produk panel biokomposit datar dan lengkung seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Biokomposit dari matriks Matlac dengan *reinforcement* serat rami

Komparasi terhadap biokomposit sejenis bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan dari biokomposit yang dibuat dari Matlac dengan penguat serat rami. Hasil komparasi menunjukkan bahwa biokomposit Matlac 60 % *plain weave* 0/90/0 memiliki kekuatan tarik $87 \pm 6,9 \text{ MPa}$ yang relatif sama dengan biokomposit sejenis yaitu 46-86 MPa seperti terlihat pada Gambar 11. Oleh

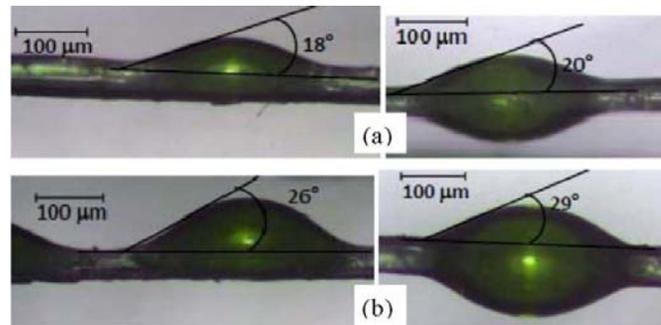
karena itu Matlac mempunyai tingkat kelayakan yang cukup baik bila digunakan sebagai matriks untuk membuat biokomposit, tetapi pengembangan dan modifikasi lebih lanjut masih diperlukan agar menghasilkan biokomposit yang optimal.



Gambar 11. Komparasi beberapa biokomposit

Pengukuran *Wettability*

Menurut Vick [11] bahwa *Wettability* merupakan kondisi suatu permukaan yang menentukan kecepatan cairan akan membasahi dan menyebar pada permukaan itu, atau terusir dan tidak menyebar ke permukaan. *Wettability* antara serat rami dengan matriks alam dipelajari dengan pengukuran sudut kontak antara keduanya. Semakin kecil sudut kontak berarti *Wettability* semakin tinggi karena matriks sebagai media adesif mempunyai kemampuan untuk mengatur pembasahan secara optimal pada permukaan substrat. Menurut Franco dan González [12] bahwa pembasahan baik akan terjadi apabila energi permukaan benda yang dibasahi lebih rendah dari cairan. Menurut Dorn [13], sudut kontak optimal adalah kurang dari 30° . Perilaku matriks pada serat akan menyebar bila sudut kontak 0° , baik bila kurang dari 90° , rendah bila sama dengan 90° dan tidak mampu membasahi bila 180° .



Gambar 12. Sudut kontak antara matriks alam dan serat rami

Pengukuran sudut kontak (θ) seperti terlihat pada Gambar 12 menunjukkan hasil bahwa 90% sudut kontak bernilai $20^\circ < \theta \leq 30^\circ$ dan 10% bernilai $10^\circ < \theta \leq 20^\circ$ dan tidak ditemukan sudut kontak dibawah 10° . Hal yang sama juga terjadi antara rami-epoksi dan rami-polipropilen yang tidak ditemukan sudut kontak dibawah 10° tetapi antara 20° hingga 55° [14]. Apabila dibandingkan dengan rami-epoksi dan rami-polipropilen, sudut kontak rami-matlac memiliki nilai relatif lebih kecil yaitu antara 20° - 30° , sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadi pembasahan yang sempurna antara matriks Matlac dengan serat rami dan hal ini mengindikasikan kekuatan adesi yang baik.

KESIMPULAN

Sekresi kutu lak (SKL) dapat direkayasa menjadi matriks alam (Matlac) untuk biokomposit. Spiritus berfungsi sebagai “alat transport” untuk mencapai persyaratan matriks komposit yaitu dengan membantu pencairan SKL sehingga dapat membungkus serat dengan sempurna dan daya adesi baik dengan indikator sudut kontak matlac-rami 30° . Kekuatan tarik biokomposit yang diperkuat 60% anyaman serat rami 0/90/0 adalah 87 MPa yang setara dengan biokomposit sejenis. Jadi matriks Matlac ini mempunyai potensi menjadi biokomposit dengan bahan dasar 100% natural atau “*green composite*”

ACKNOWLEDGEMENT

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DP2M DIKTI, Perhutani Unit II Indonesia untuk penyediaan sekresi kutu lak, PT. Madukismo, Yogyakarta Indonesia untuk penyediaan spiritus. Dan terima kasih juga kami sampaikan kepada ibu Hj Mien Aminah Musaddad, Garut, Jawa Barat atas penyediaan serat rami untuk penelitian.

REFERENCES

1. Mohanty, A.K.; Misra, M.; Dzal, L.T.; Selke, S.E.; Harte, B.R. and Hinrichsen, G. (2005). *Natural Fibers, Biopolymers, and biocomposite: An Introduction*. *Natural Fibers, Biopolymers And Biocomposite*, CRC Press, Taylor and Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, 300 suite 300 Boca Raton.
2. Mueller, D.H., Krobjilowski, A. 2003. *New Discovery in the Properties of Composites Reinforced with Natural Fibers*. JOURNAL OF INDUSTRIAL TEXTILES, Vol. 33, No. 2 October 2003 1111528-0837/03/02 0111-20 \$10.00/0 DOI: 10.1177/152808303039248 Sage Publications.
3. Sharma, K. K., Jaiswal, A. K., and Kumar, K. K. 2006. *Role of lac culture in biodiversity conservation: issues at stake and conservation strategy*. Review article, CURRENT SCIENCE, 894 VOL. 91, NO. 7, 10 OCTOBER 2006. Pp. 894-898.
4. Singh, R. 2006. *Applied Zoology Lac Culture*. National Science Digital Library at NISCAIR, India. Httppsdl. Niscair.res.inbitstream 1234567891 access date 12/21/2006 4:07:18.
5. Brydason, J.A. 2003. *Miscellaneous Plastics Materials*. Chapter 30 in Plastic Materials, Brydason, J.A., Seventh Edition, Butterworth-Heinemann Publisher, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, 225 Wildwood Avenue, Wobum, MA 01801-2041 A division of Reed Educational and Professional Publishing Ltd, pp. 853-873.
6. Schwartz, M.M. 1984. *Composite Materials Handbook*, McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
7. Feldman, D. 1989. *Polymeric Building Materials*, Published: Routledge; 1st edition, Taylor & Francis Group.
8. Vasiliev, V.V, Morozov, E.V. 2001. *Mechanic and Analysis of Composite Materials*, Elsevier Science Ltd, Langford Lane, Oxford OX5 1GB, UK
9. Derrick, M.R., Stulik, D., James, M. 1999. *Scientific Tools for Conservation. Infrared Spectroscopy in Conservation Science*. J. Paul Getty Trust All rights reserved, ISBN 0-89236-469-6. The Getty Conservation Institute, LA, USA.
10. ASTM D 638. 2003. *Standart Test Methode for Tensile Properties of Plastic*. *American Sosiety for Testing Materials*, Philadelphia, PA, USA.
11. Vick, C.B. 1999. *Adhesive Bonding of Wood Materials*, Wood Handbooks-Wood as Engineering materials, Forest Product laboratory, Madison, ch.9, pp.9.1-9.24.
12. Franco, P.J.H., and González. A.V. 2005. *Fiber-Matrix Adhesion in Natural Fiber Composites, Natural Fibers, Biopolymers And Biocomposite Book*, CRC Press, Taylor and Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, 300 suite 300 Boca Raton
13. Dorn, L. 1994. *Adhesive Bonding-Terms and Definitions*, TALAT Lecture 4701, European Aluminium Association, Berlin
14. Marsyahyo, E. 2009. *Perlakuan Permukaan Serat Rami (Boehmeria nivea) dan Kompatibilitas Serat-Matrik pada Komposit Matrik Polimer*. Disertasi

program Doktor, Pascasarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

17. C.Z. Paiva Ju'nior, L.H. de Carvalho, V.M. Fonseca, S.N. Monteiro, J.R.M. d'Almeida. 2004. *Analysis of the tensile strength of polyester/hybrid ramie-cotton fabric composites*. Polymer Testing (23), pp. 131–135.
18. Luo, S. and Netravali, A.N. 1999. *Interfacial and mechanical properties of environment friendly 'green' composites made from pineapple fibers and poly(hydroxybutyratecovalerate) resin*. J. Mater. Sci., 34 (15), 3709–19.
19. Marsyahyo, E., Soekrisno, R., Heru, S.B.R., Jamasri, Sutapa, G., 2005. *Preliminary Study of The Tensile Porperties Tropical Plant Fiber Reinforced-Termoseting Composites: Part I*. The 8th International Conferences on Quality in Research, Indonesia University, Depok Indonesia
20. Romhány, G., Karger-Kocsis, J., Czigány, T. 2003. *Tensile fracture and failure behavior of thermoplastic starch with unidirectional and cross-ply flax fiber reinforcements*. Macromol Mater Eng, 288(9):699-707.
21. Lodha, P. and Netravali, A.N. 2002. *Characterization of interfacial and mechanical properties of 'green' composites with soy protein isolate and ramiee fiber*, J. Mater. Sci., 37 (17), pp. 3657–65