

IDENTIFIKASI SIFAT FISIK DAN SIFAT TERMAL SERAT-SERAT SELULOSA UNTUK PEMBUATAN KOMPOSIT

IDENTIFICATION OF PHYSICAL AND THERMAL PROPERTIES OF CELLULOSIC FIBERS FOR SYNTHESIS OF COMPOSITE

Agus Surya Mulyawan, Arif Wibi Sana, Zubaidi Kaelani

Balai Besar Tekstil, Jalan Jenderal Ahmad Yani No. 390 Bandung
E-mail: texirdti@bdg.centrin.net.id

Tanggal diterima: 24 Juli 2015, direvisi: 4 Agustus 2015, disetujui terbit: 10 Agustus 2015

ABSTRAK

Penelitian sifat fisik dan termal pada serat-serat selulosa yaitu rami, kapas, dan rayon viskosa telah dilakukan dalam rangka pemanfaatannya sebagai bahan komposit. Sifat-sifat tersebut perlu diketahui agar didapatkan satu serat selulosa dengan sifat fisik dan termal yang optimal sehingga berpotensi menghasilkan bahan komposit yang anti korosi, ramah lingkungan, dan ringan. Untuk mengetahui sifat fisik dan termal maka dilakukan pengujian-pengujian, yaitu pengujian kekuatan tarik, mulur, *moisture regain*, perubahan panjang pada suhu (30-250)^oC, dan perubahan berat pada suhu (30-350)^oC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa serat rami mempunyai kekuatan paling tinggi yaitu 5,5 g/den, mulur (5%), dan *moisture regain* (6%), serta sifat termalnya paling stabil. Serat kapas mempunyai kekuatan lebih kecil dibandingkan dengan rami yaitu 3,95 g/den, tetapi mulur (6,5%), dan *moisture regain*-nya (8,5%) lebih tinggi, serta mempunyai sifat termal sedang. Serat rayon mempunyai sifat termal dan kekuatan paling kecil yaitu 1,95 g/den, tetapi mulur (14,5%), dan *moisture regain*-nya (12,5) paling tinggi. Komposit dari rami dengan resin polivinil asetat dan pelarut air telah dibuat. Semakin kecil penggunaan resin maka volume dan berat komposit relatif semakin kecil pula.

Kata kunci: serat alam, sifat fisik, sifat termal, rami, kapas, rayon.

ABSTRACT

Identification of the physical and thermal properties of the cellulosic fibers i.e. ramie, cotton and viscose rayon have been conducted in the framework of its utilization as composite materials. These properties need to be known in order to obtain one of cellulosic fiber with the physical and thermal properties optimum that could potentially produce a composite material that are anti-corrosive, environmentally friendly, and floaty. To determine the physical and thermal properties done by the testings, i.e. testing the tensile strength, elongation, moisture regain, length changes in temperature (30-250)^oC, and heavy changes in temperature (30-350)^oC. The results showed that ramie fiber has the highest tensile strength of 5.5 g / den, elongation (5%), and the moisture regain (6%), as well as the most stable thermal properties. Cotton fiber has smaller tensile strength than ramie (3.95 g/den), but elongation (6.5%) and its moisture regain (8.5%) higher than ramie, as well as having average thermal properties. Viscose rayon fiber has thermal properties and smallest tensile strength that is 1.95 g/den but elongation (14.5%) and its moisture regain (12.5) highest. Composite of ramie with polyvinyl acetate resin and solvent water has been made. Smaller use of resin, the volume and heavy are relatively small.

Keywords: natural fiber, physical properties, thermal properties, ramie, cotton, rayon.

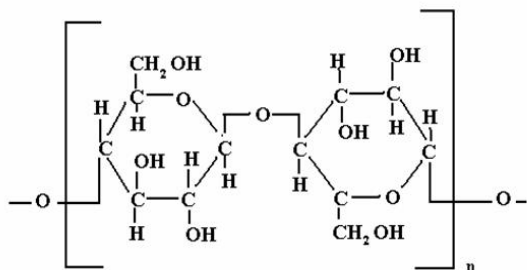
PENDAHULUAN

Serat selulosa merupakan salah satu sumber daya alam yang melimpah, dapat diperbaharui, dan ramah lingkungan. Kebutuhan serat alam akan terus meningkat seiring dengan meningkatnya kebutuhan bahan-bahan yang ramah lingkungan. Salah satu produsen otomotif terkemuka dunia saat ini sedang dan akan memanfaatkan komposit dari serat alam untuk komponen interior dan bahkan sebagai *chasis* berbobot ringan.¹ Di Jepang, pembuangan mobil tua yang sebagian komponennya terbuat dari logam dan

plastik tidak ramah lingkungan sudah menjadi permasalahan, sehingga perlu digantikan dengan komponen dari serat alam. Material komposit diterapkan pada berbagai industri meliputi otomotif, *aerospace*, militer, kapal laut, peralatan olah raga, dan infrastruktur.² Bahan-bahan serat alam merupakan kandidat sebagai bahan penguat untuk dapat menghasilkan bahan komposit yang ringan, kuat, ramah lingkungan, serta ekonomis.³

Serat selulosa dikelompokkan menjadi tiga kelompok besar yaitu: (1) serat batang (misalnya rami, kenaf, dan jute); (2) serat biji (misalnya

kapas, kapuk, dan baringtonia); dan (3) serat daun (misalnya nanas, sisal, dan abaka).⁴ Ada pula kelompok lain yaitu serat selulosa regenerasi yang bahan bakunya dibuat dari bubur selulosa (*pulp*) yang dipintal menjadi serat rayon, dapat berupa jenis rayon viskosa, kuprammonium, asetat, atau triasetat.



Gambar 1. Struktur molekul selulosa⁵

Komposisi utama dari serat alam adalah selulosa. Selain selulosa, mengandung pula hemiselulosa, pektat, abu, pigmen, dan lilin dengan konsentrasi yang bervariasi atau berbeda. Demikian pula bentuk penampang melintang (*cross section*) dan konstruksi lainnya seperti derajat kristalinitas, orientasi polimer, dan sifat *amorf*-nya yang berbeda pula pada setiap serat selulosa. Hal-hal tersebut menyebabkan setiap jenis serat selulosa memiliki sifat fisik dan sifat termal yang berbeda. Serat-serat selulosa dapat bereaksi dengan resin-resin hidrofilik serta membentuk komposit struktur tiga dimensi yang sangat kompak (*solid*). Serat selulosa yang kuat dan mempunyai sifat termal yang baik akan menghasilkan komposit yang baik pula karena tidak terpengaruh oleh faktor luar seperti suhu dan kelembaban. Pemilihan sifat fisika/mekanika dan sifat termal perlu dilakukan untuk mendapatkan komposit yang paling optimal. Komposit adalah kombinasi dari dua bahan atau lebih yang tersusun dari fasa matrik dan penguat yang dipilih berdasarkan sifat mekanik dan fisik masing-masing material penyusun untuk menghasilkan material baru dengan sifat yang unik dibandingkan dengan sifat material dasar sebelum dicampur dan terjadi ikatan permukaan antara masing-masing penyusunnya.⁶ Komposit *thermosetting* terus dikembangkan untuk berbagai keperluan seperti komponen otomotif, alat listrik, dan peralatan lainnya sebagai pengganti material logam yang berat dan harganya relatif tinggi. Hal-hal tersebut mendorong industri untuk mempertimbangkan penggunaan komposit *thermosetting* sebagai pengganti bahan dari logam. Keuntungan lain dari penggunaan komposit serat alam dibandingkan dengan logam adalah tidak berkarat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan termal dari serat kapas, rami, dan rayon viskosa yang paling optimal untuk digunakan sebagai salah satu bahan komposit *thermosetting*.

METODE

Penelitian dilakukan dengan cara percobaan skala laboratorium. Morfologi serat diamati menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), sifat fisik (kekuatan tarik dan mulur) diuji menggunakan *Tensile Tester*, kadar lembab (*moisture regain*) diuji secara gravimetri, dan sifat termal diuji menggunakan *Thermomechanical Analyzer* (TMA) serta *Thermogravimetry Analyzer* (TGA). Dari hasil evaluasi yang didapat dan menunjukkan nilai dengan kualitas paling tinggi, dibuat komposisinya menggunakan resin *thermosetting*.

Bahan

Serat selulosa yang digunakan untuk penelitian adalah serat rami sebagai serat batang, serat kapas sebagai serat biji, dan serat rayon viskosa sebagai serat regenerasi. Serat rami diperoleh dari PT. Agrina, Wonosobo, serat kapas dari PT. Bintang Agung, Bandung, dan serat rayon viskosa dari PT. *South Pacific Viscose Rayon*, Purwakarta.

Persiapan bahan dilakukan dengan cara pemasakan (*scouring*) dan pengelantangan (*bleaching*). Pemasakan (*scouring*) serat rami dan kapas dilakukan menggunakan alkali kuat (natrium hidroksida) yang akan menyabunkan kotoran lemak, minyak, lilin, dan malam. Serat kapas dan serat rami diproses pemasakan (*scouring*) dengan natrium hidroksida dan pembasah pada suhu 90°C dengan vlot 1:30. Proses dilanjutkan dengan pengelantangan (*bleaching*) menggunakan oksidator hidrogen peroksida 10 g/l dengan penambahan natrium hidroksida, natrium karbonat, dan pembasah masing-masing 2 g/l pada pH sekitar 10.

Diagram alir penelitian diperlihatkan pada Gambar 3.

Pengujian

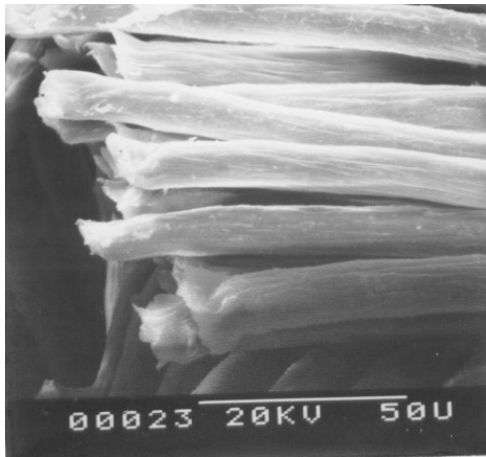
Serat-serat hasil pemasakan (*scouring*) dan pengelantangan (*bleaching*) selanjutnya diuji morfologinya menggunakan SEM (Hitachi S-500A). Pengujian kekuatan tarik dan mulur diuji menggunakan *Tensile Tester* (Tensilon UTM-111-100, Toyo Baldwin Co.Ltd.) dengan standar SNI 08-0314-1989. Pengujian kadar lembab (*moisture regain*) dilakukan secara gravimetri (Precisa XB 1200 C) dengan standar SNI 8100 : 2015. Dan untuk mengetahui perubahan berat oleh panas dilakukan pengujian menggunakan *Thermogravimetry Analyzer* (TGA) pada *scanning* mulai 30°C sampai 350°C. Serta untuk mengetahui perubahan panjang oleh panas diuji menggunakan *Thermomechanical Analyzer* (TMA) pada *scanning* pemanasan mulai 30°C sampai 250°C. Pengujian dengan TGA dan TMA

dilakukan pada jarak jepit 2 mm dengan kenaikan suhu rata-rata 10°C/menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi serat

Serat rami diamati menggunakan SEM seperti disajikan pada Gambar 2. Terlihat bahwa serat tersebut berpenampang relatif bulat dan padat berisi.



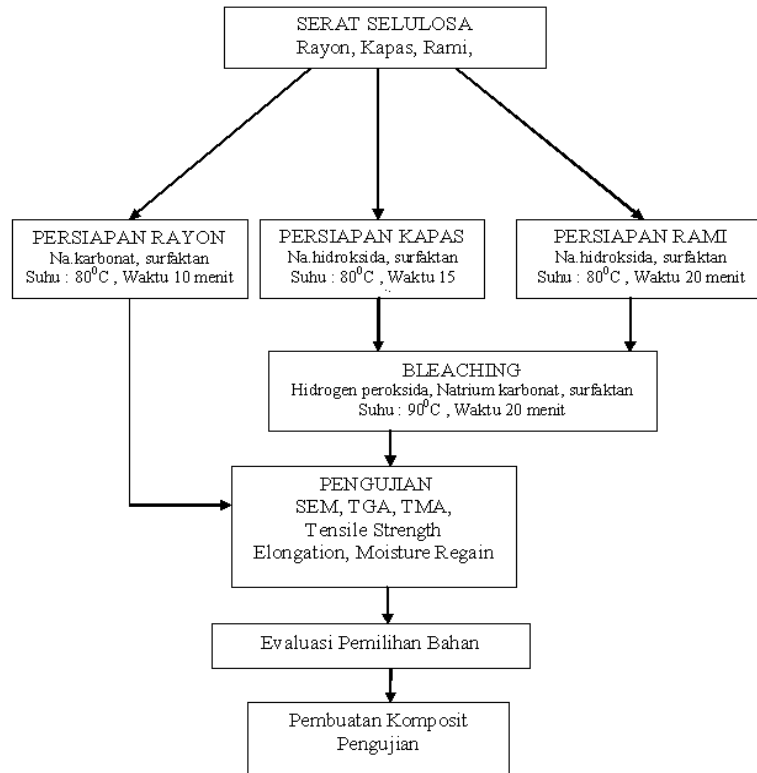
Gambar 2. Pengamatan serat rami menggunakan SEM, pembesaran 2000x

Susunan molekul serat rami telah diamati oleh Christophe Baley (2007), bentuk penampang melintangnya bulat dan ditengahnya terdiri dari

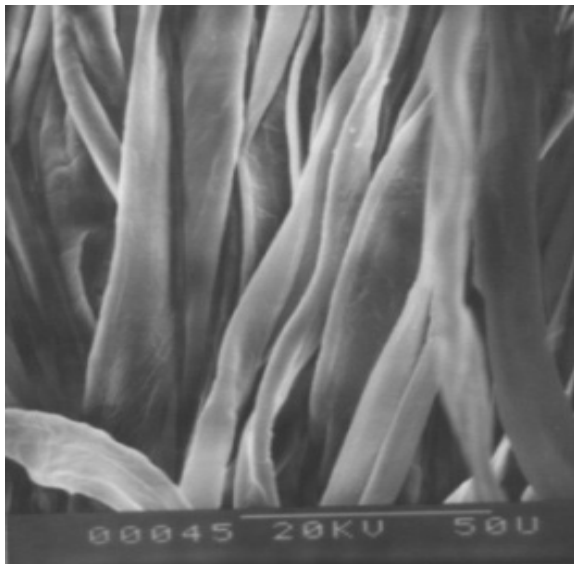
fibril selulosa secara penuh. Struktur kristalinitas, orientasi polimer, bentuk fibril, dan arah puntiran dari serat rami dapat mempengaruhi sifat fisik dan termal. Keseragaman konstruksi dapat mempengaruhi kekompakan pada berbagai suhu, baik pada suhu tinggi maupun rendah selama belum terjadi kerusakan (degradasi) polimer. Penampang melintang serat rami berisi penuh dengan fibril selulosa dan tidak ada celah (*lumen*) didalamnya.

Menurut Matt Heid, (2011), serat kapas merupakan serat berlubang (*hollow fiber*) yang mempunyai *lumen* didalamnya dan berbentuk lonjong seperti pita terpilin. *Lumen* tersebut merupakan sumbu serat dan dapat berperan sebagai kapiler sepanjang serat serta dapat menampung air sampai 27 kali berat seratnya. *Lumen* juga secara radikal meningkatkan luas permukaan untuk berinteraksi dengan bahan kimia. Hasil pengamatan serat kapas menggunakan SEM disajikan pada Gambar 4.

Menurut Koutu G. K., et al. (2012), serat kapas mempunyai dinding primer dan sekunder, serta mempunyai *lumen* di dalam serat sehingga bersifat fleksibel dan elastis. Kandungan pada serat kapas diantaranya adalah selulosa, hemiselulosa, lignin, gom, pektin, dan abu. Hemiselulosa terdapat pada dinding sel berupa gula yang mengandung 5 atau 6 karbon, sifatnya tidak larut dalam air, tetapi larut dalam alkali. Lignin adalah polimer tiga dimensi yang terdiri dari unit fenol dengan ikatan antar molekul yang kuat.

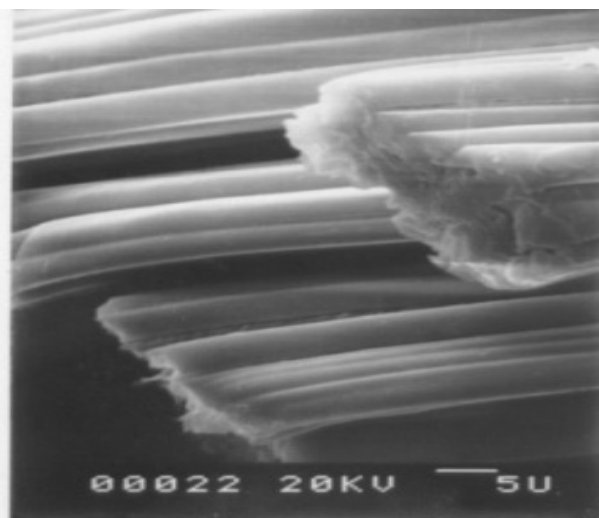


Gambar 3. Diagram alir penelitian



Gambar 4. Pengamatan serat kapas menggunakan SEM, pembesaran 600x

Lignin menyebabkan sifat struktural yang kaku dan merupakan non-selulosa polisakarida seperti *heteroxylans* yang berada di dinding sel tanaman. Gom adalah zat terlarut atau terdispersi dalam air yang memberikan sifat gel pada serat. Gom terdiri dari senyawa gula dan turunannya serta didalamnya terdapat asam glukuronat, galaktosa, asam uronic, arabinosa, rhamnosa, mannose, dan sebagainya. Pektin adalah polisakarida yang membentuk gel dengan gula dan asam. Pektin ini merupakan bagian dari dinding sel primer tanaman dan merupakan bagian dari lamella. Sebagian hemiselulosa, pektin, dan gom dapat dikategorikan sebagai zat yang larut, sedangkan selulosa, lignin, dan sebagian hemiselulosa tertentu diklasifikasikan sebagai zat tidak larut. Susunan supermolekuler serat kapas mempunyai dinding primer dan sekunder, serta *lumen* ditengahnya.



Gambar 5. Pengamatan serat rayon viskosa menggunakan SEM, pembesaran 3000x

Serat rayon viskosa mempunyai penampang melintang bergerigi (keriting) dan tidak mempunyai *lumen*.⁵ Pengamatan serat rayon menggunakan SEM disajikan pada Gambar 5.

Serat rayon viskosa adalah serat regenerasi selulosa alam yang bahannya diperoleh dari batang kayu lunak seperti akasia, cemara, dan bambu. Pembuatan rayon viskosa dilakukan melalui proses yang panjang yaitu batang kayu dihancurkan, direndam dalam kostik soda, dilakukan pengepresan, dibuat *crumb*, diperam, dan dilakukan santasi dengan karbon disulfida. Selulosa xantat yang berupa larutan kekuning-kuningan (*yellow crumb*) selanjutnya dilarutkan dalam larutan kostik sehingga menjadi viskosa.

Setelah dilakukan *ripening* terjadilah reaksi pembentukan larutan $(C_6H_{10}O_5)_n$ kemudian dilakukan penyaringan (*filtering*), pengeluaran gelembung-gelembung udara (*degassing*), dan akhirnya dilakukan pemintalan basah (*wet spinning*). Larutan dilewatkan melalui *spinneret* yang berada dalam larutan koagulasi (asam sulfat dan aditif lainnya), selanjutnya dilakukan penarikan (*drawing*) dan pencucian. Dari banyaknya perlakuan pada pembuatan rayon viskosa terutama *ripening*, polimer selulosa dari rayon viskosa banyak terpotong dan mempunyai berat molekul yang relatif pendek dibandingkan dengan serat alam (kapas dan rami), namun di sisi lain kandungan selulosa serat rayon viskosa lebih murni dibandingkan dengan serat kapas maupun rami.

Pengamatan morfologi dan supermolekuler yang dilakukan terhadap serat rami, serat kapas, dan serat rayon viskosa masing-masing mempunyai ciri khas. Serat rami berpenampang bulat dipenuhi oleh fibril selulosa, dengan puntiran membentuk sudut fibril yang searah, dan tidak mempunyai lumen ditengahnya. Penampang melintang serat kapas berbentuk lonjong seperti pita terpilin dan mempunyai *lumen* ditengahnya, serta mempunyai lapisan dinding serat yang kokoh. Penampang melintang serat rayon viskosa permukaannya bergerigi dan tidak mempunyai *lumen*. Adanya perbedaan dari morfologi dan supermolekuler tersebut memungkinkan terjadinya perbedaan sifat fisik dan sifat termalnya.

Sifat fisik/mekanik

Sifat fisik/mekanik dari serat rami, kapas, dan rayon viskosa hasil pengujian, disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 6.

Serat rami mempunyai kekuatan tarik paling tinggi yaitu 5,5 g/den, tapi mempunyai mulur paling kecil yaitu 5%. Sifat fisik rami yang paling kuat dan stabil tersebut mengindikasikan sifat super molekuler yang baik.

Kekuatan tarik serat kapas adalah 3,95 g/den. Serat kapas mempunyai *lumen*, dinding *lumen*, dan dinding luar yang kuat, akan tetapi kekuatannya

masih dibawah serat rami, dan mempunyai mulur 6,5%, lebih elastis dibanding rami. Mulur serat kapas yang sedang tersebut mampu mengimbangi perubahan dimensi yang tinggi maupun rendah.

Serat rayon viskosa mempunyai kekuatan paling kecil yaitu 1,95 g/den tetapi mempunyai mulur paling tinggi yaitu 12,5%.

Kadar lembab (*moisture regain*) serat rami paling kecil yaitu 6% dan rayon viskosa paling tinggi yaitu 12,5%. Artinya serat rayon viskosa paling lembab. Kondisi tersebut bisa terjadi karena beberapa kemungkinan, diantaranya adalah meskipun rayon viskosa tidak memiliki *lumen* seperti halnya kapas, namun penampang melintangnya bergerigi. Kemungkinan berikutnya

adalah tidak sempurnanya *degassing* pada saat pembuatan serat sehingga masih mengandung gelembung udara. Derajat kristalinitas dan polimerisasi yang lebih kecil menghasilkan *moisture regain* yang lebih tinggi⁷.

Termomekanika

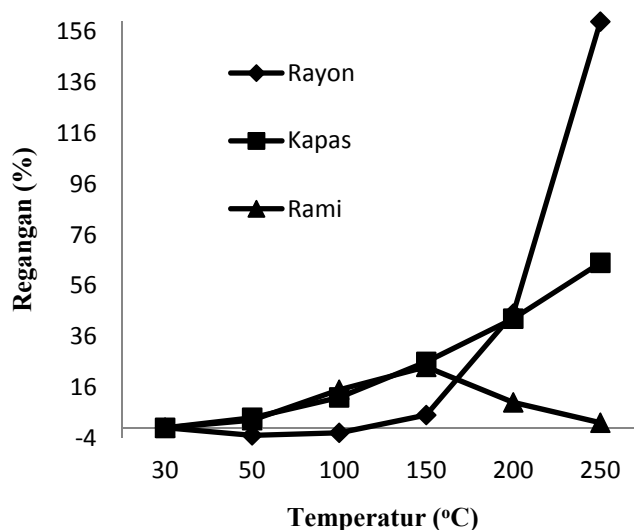
Pengujian termomekanika dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui perubahan panjang (mulur dan mengkerut) pada suhu-suhu tertentu secara terprogram. Pengamatan pemanasan dilakukan dari suhu 30°C sampai 250°C dengan kecepatan pemanasan 10°C/menit. Data pengujian termomekanika serat rayon viskosa, kapas, dan rami disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Sifat fisik/mekanik serat rami, kapas, dan rayon

Jenis Serat	Data	Kekuatan (g/den)	Mulur (%)	Moisture Regain (%)
Rayon viskosa	Rayon min.	1,5	9	12
	Rayon maks.	2,4	20	13
	Rata-rata	1,95	14,5	12,5
Kapas	Kapas min.	3	3	8
	Kapas maks.	4,9	10	9
	Rata-rata	3,95	6,5	8,5
Rami	Rami min.	5,5	3	6
	Rami maks.	5,5	7	6
	Rata-rata	5,5	5	6

Tabel 2. Hasil pengujian menggunakan TMA

Serat	Perubahan Dimensi (%)						Total Kont.	Rata-rata
	30°C	50°C	100°C	150°C	200°C	250°C		
Rayon	0	-3	-2	5	45	160	215	35,8
Kapas	0	4	12	26	43	65	150	25
Rami	0	3	15	24	10	2	54	9



Gambar 6. Perubahan panjang serat rayon, kapas, dan rami yang diuji menggunakan TMA

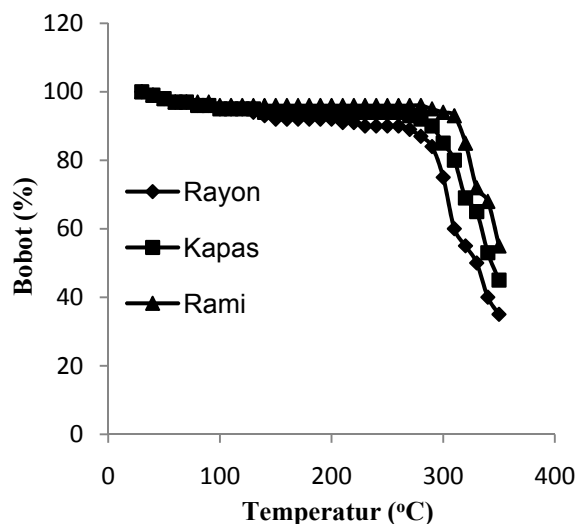
Sifat termomekanika serat rami dan kapas, pada suhu hingga 150°C menunjukkan hasil yang relatif sama meskipun keduanya mengalami perpanjangan. Pada suhu selanjutnya serat rami mengalami mengkerut kembali sedikit demi sedikit sehingga pada suhu 250°C, serat tersebut kembali mendekati panjang semula. Fenomena ini menunjukkan bahwa serat rami mempunyai dimensi yang lebih stabil.

Pengujian menggunakan TMA terhadap serat rayon viskosa pada awal pemanasan (50°C sampai 100°C) mengalami sedikit mengkerut sebesar 2% sampai 3%. Selanjutnya mengalami mulur sangat cepat dan akhirnya putus.

Ditinjau dari kestabilan, pada pemanasan mulai dari 30°C sampai 250°C, serat rami yang paling stabil karena fluktuasinya paling kecil yaitu pada 0% sampai 24%. Serat kapas mempunyai kestabilan sedang karena fluktuasinya antara 0% sampai 65%. Serat rayon yang paling tidak stabil (labil) karena fluktuasinya antara 0% sampai 160%.

Termogravimetri

Pengujian termogravimetri dimaksudkan untuk mengetahui kestabilan berat oleh panas pada serat rami, kapas, dan rayon viskosa. Penurunan berat pada serat selulosa biasanya diawali oleh penguapan kandungan air, selanjutnya secara visual terjadi perubahan warna menjadi kekuning – kuningan (*yellowing*) karena terjadi oksiselulosa. Pada tahap ini kekuatan dan berat serat mulai turun dramatis. Apabila pemanasan berlanjut maka akan terjadi penguraian unsur karbon dan berakhir menjadi abu. Hasil uji menggunakan TGA disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Penurunan berat pada serat rami, kapas, dan rayon viskosa

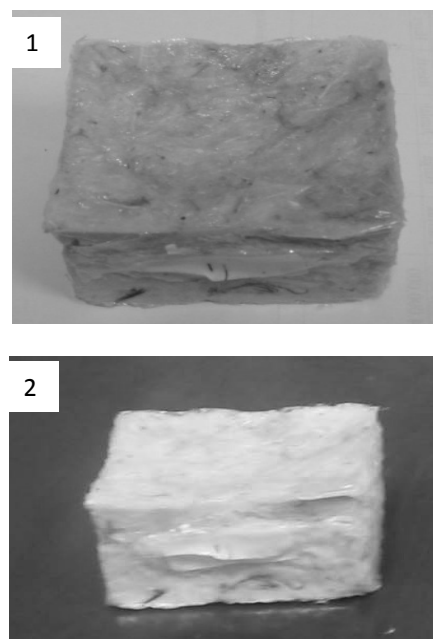
Serat rami, kapas, dan rayon viskosa mengalami penurunan berat secara bersamaan pada suhu sekitar 100°C yang disebabkan oleh terjadinya penguapan air. Polimer selulosa tergolong tahan

terhadap panas. Kerusakan serat oleh panas diawali dengan oksiselulosa dan dilanjutkan dengan degradasi, karbon dioksida dan air yang terjadi akan menguap dan akhirnya tinggal abu yang tersisa.

Serat rayon viskosa mempunyai kandungan selulosa yang paling tinggi, berat molekul rendah, serta paling *amorf*. Paling cepat mengalami penurunan berat secara dramatis pada suhu 260°C sampai 310°C. Serat kapas mengalami penurunan berat secara dramatis pada suhu 290°C sampai 330°C, dan serat rami mengalami penurunan berat secara dramatis pada suhu 310°C sampai 350°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa serat-serat tersebut memiliki derajat kristalinitas, orientasi polimer, dan bentuk fibril dengan komposisi yang berbeda, sehingga mempunyai ketahanan degradasi yang berbeda pula. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa serat rami paling tahan panas, kemudian serat kapas, dan serat rayon viskosa.

Serat Rami Untuk Komposit

Bagian terbesar dari serat alam adalah selulosa yaitu 68,6% sampai 83,32%, oleh karena itu sifat-sifat dari serat alam adalah mendekati sifat-sifat dari selulosa.



Gambar 8. Komposit polivinil asetat-serat rami, 1= komposit dengan pelarut, 2 = komposit tanpa pelarut

Banyaknya gugus hidroksil pada selulosa berpotensi besar untuk dijadikan sebagai bahan komposit alam dengan resin dari jenis *thermosetting* maupun *thermoplastis*. Berdasarkan sifat fisika/mechanika dan sifat termalnya maka dibandingkan dengan serat kapas dan rayon viskosa, serat rami paling cocok untuk dijadikan sebagai salah satu bahan dalam pembuatan komposit yang solid, kuat, dan stabil.

Tabel 3. Hubungan konsentrasi resin dengan berat jenis

Konsentrasi Resin: pelarut (Air)	Diameter			Volume (cm ³)	Berat (g)	BJ
	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)			
1:0	6,0	6,0	3,5	126,00	63,6	0,506
1:1	6,0	5,0	3,0	90,00	42,2	0,469
1:2	6,0	5,8	3,3	114,84	41,9	0,365
1:3	6,0	5,7	3,3	112,86	33,2	0,294

Pembuatan komposit ini dilakukan secara *thermoseting*. Percobaan pembuatan komposit *thermosetting* dari serat rami menggunakan matrik resin polivinil asetat telah dilakukan. Resin polivinil asetat (PVAc) adalah salah satu dari resin jenis reaktan yang dapat bereaksi secara kimia terhadap serat selulosa (rami) melalui gugus hidroksilnya. Resin tersebut dapat mengadakan ikatan silang membentuk struktur tiga dimensi pada polimer selulosa dengan sifat yang keras.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, kestabilan komposit terhadap perendaman menggunakan air selama lebih dari dua bulan dan ketahanan pecahnya belum menunjukkan kerusakan. Beratnya pun relatif ringan.

Pengaruh variasi konsentrasi resin akan menghasilkan berat yang bervariasi yaitu semakin kecil konsentrasi resin yang digunakan maka akan diperoleh berat yang semakin kecil pula. Berat jenis yang dihasilkan dari komposit tersebut yaitu 0,294 sampai dengan 0,506. Data hubungan antara konsentrasi resin dengan berat jenis disajikan pada Tabel 3.

KESIMPULAN

Morfologi serat-serat selulosa yaitu serat rami, kapas, dan rayon viskosa berbeda-beda dan dapat berpengaruh terhadap sifat fisik/mekanik dan sifat termalnya. Serat rami mempunyai kekuatan paling tinggi (5,5 g/den), mulur paling kecil (5%), dan mempunyai sifat termal yang paling baik. Serat kapas mempunyai kekuatan lebih kecil (3,95 g/den), mulur lebih tinggi (6,5%), dan mempunyai sifat termal dibawah serat rami (sedang). Serat rayon viskosa paling lembab, mempunyai sifat termal dan kekuatan paling kecil (1,95 g/den), tetapi mempunyai mulur paling tinggi (14,5%). Pemanfaatan serat rami untuk pembuatan komposit *thermosetting* menggunakan polivinil asetat menghasilkan kekuatan yang tinggi, stabil, dan berat jenis yang kecil yaitu 0,294 sampai dengan 0,506.

PUSTAKA

- ¹ Balai Penelitian Tanaman Pemanis dan Serat. (2012). *Inovasi Teknologi Serat Alam Mendukung Agroindustri yang Berkelanjutan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan, Bogor.
- ² Pramono, A.E. (2012). *Karakteristik Komposit Karbon-karbon Berbasis Limbah Organik Hasil Proses Tekan Panas*. Disertasi, Universitas Indonesia, Depok.
- ³ Maryanti, B., Snief, A., dan Wahyudi, S. (2011). Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2 : 123-129.
- ⁴ Franck, R.R. (2005). *Bast and Other Plant Fibers*. Woodhead Publishing, Cambridge, Inggris.
- ⁵ Koutu, G.K., et al. (2012). *Handbook of Cotton*. Studium Press Llc., New Delhi, India.
- ⁶ Turnip, R. (2010). *Penggunaan Komposit Epoksi Berpenguat Serat Kevlar sebagai Bahan Alternatif Mengatasi Kebocoran Pipa*. Universitas Indonesia, Depok.
- ⁷ Smole, S.M., et al. (2013). *Advances in Agrophysical Research. In Tech, Kroasia*.
- ⁸ Peijs, T. (2002). Composite Turn Green. *Journal e-polymers*. T_002: 1-12.
- ⁹ Syakir, M. (2011). *Inovasi Teknologi Mendukung Pengembangan Serat Alam Nasional*. Balai Penelitian Tanaman Serat, Bogor.
- ¹⁰ Sakai, S., Noma, Y., dan Kida, A. (2007). End of Live Vehicle Recycling and Automobile Shredder Residue Management in Japan. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 9: 60-65.
- ¹¹ Zhang, Y., Jiang F., dan Yin C. (2011). Dissolving And Reological Behavior of Lignocellulose in The NaOH/Thiourea/Urea Solvent System. *Advanced Material Research*, 3: 332-334.
- ¹² Müssig, J. (2010). *Industrial Application of Natural Fibres : Structure, Properties, and Technical Applications*. Wiley, Inggris.
- ¹³ Charlet, K., et al. (2007). Characteristics of Hermes Flax Fibres As a Function of Their Location In The Stem And Properties of The Derived

Unidirectional Composites. *Composites : part A*, 38: 1912-1921.

¹⁴Le Digabel, F., dan Averous, L. (2006). Effects of Lignin Content On The Properties of

Lignocellulose Base Biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, 23: 537-545.

¹⁵Kaelani, Z. (2008). Komposit Serat Alam Untuk Bahan Non-Sandang. *Science*, 9: 200-203.
