

Sains Malaysiana 46(5)(2017): 795–801
<http://dx.doi.org/10.17576/jsm-2017-4605-14>

Membran Selulosa Kenaf Terjana Semula daripada Larutan Akues NaOH/Urea yang Digumpal Menggunakan Asid Sulfurik (Regenerated Kenaf Cellulose Membrane from NaOH/Urea Aqueous Solution by Coagulating with Sulphuric Acid)

NOR AZIAWATI AZAHARI, SARANI ZAKARIA*, HATIKA KACO, GAN SIN YEE, CHIN HUA CHIA,
SHARIFAH NABIHAH SYED JAAFAR & MOHD SHAIFUL SAJAB

ABSTRAK

Membran selulosa terjana semula (MS) daripada pulpa teras kenaf telah berjaya dihasilkan menggunakan kaedah pra penyejukan dan digumpal menggunakan larutan asid sulfurik. MS disediakan daripada pelarutan selulosa kenaf dalam larutan akues NaOH/urea dan larutan selulosa seterusnya digumpal dengan H_2SO_4 pada kepekatan 5-12 peratus berat (% bt.) selama 1-10 min. Pengaruh kepekatan penggumpal H_2SO_4 dan masa penggumpalan ke atas struktur, saiz liang, sifat mekanik dan ketelusan cahaya MS telah dikaji menggunakan pembelauan sinar-X (XRD), imbasan mikroskop elektron tekanan boleh ubah (VPSEM), penguji regangan dan spektrofotometer ultra-violet sinar tampak (UV-vis). Keputusan VPSEM menunjukkan perubahan saiz liang membran bergantung kepada kepekatan larutan penggumpal H_2SO_4 , manakala masa penggumpalan tidak mempengaruhi saiz liang membran. Membran yang direndam dengan larutan penggumpal pada kepekatan 10 % bt. dan masa pembekuan yang sederhana iaitu 5 min menunjukkan sifat mekanik yang lebih baik dengan nilai kekuatan regangan masing-masing 41.9 dan 43.5 MPa. Oleh itu, kajian ini dapat memberikan maklumat mengenai penyediaan MS dengan pelbagai saiz liang dan sifat mekanik dengan pengubahsuaian kepekatan dan masa penggumpalan.

Kata kunci: Larutan akues NaOH/urea; membran selulosa terjana semula; penggumpal; pulpa teras kenaf; sifat fizikal

ABSTRACT

Regenerated cellulose membranes (RC) from kenaf core pulp have been produced using the pre cool method and coagulated using sulfuric acid (H_2SO_4) solution. RC prepared from kenaf cellulose was dissolved in NaOH/urea solvent and subsequently coagulated with H_2SO_4 solution at concentration 5-12 wt. % for 1-10 min. The effects of concentration of acid and coagulating time on the structure, pore size, mechanical properties and transparency of RC were studied using X-ray diffraction (XRD), variable pressure scanning electron microscopy (VPSEM), tensile tester and spectrometer ultra violet (UV-Vis) transmission, respectively. The results from VPSEM showed the pore size of the membranes changed as a function of the concentration of H_2SO_4 coagulant, whereas it was hardly changed with coagulation time. RC membranes coagulated in 10 wt. % concentration of H_2SO_4 solution and 5 min coagulation time exhibited better mechanical properties with tensile strength value 41.9 and 43.5 MPa, respectively. Thus, this work provided an optimal coagulation condition for preparing RC membranes in the solvent system and scientific information for controlling the properties and pore sizes of the membranes.

Keywords: Coagulant; kenaf core pulp; NaOH/urea aqueous solution; physical properties; regenerated cellulose membrane

PENDAHULUAN

Selulosa merupakan salah satu bahan polimer semula jadi yang paling banyak didapati di dunia dan ia boleh menjadi satu sumber utama pada masa hadapan disebabkan sifatnya yang boleh diperbaharui, mesra alam dan bioserasi (Zakaria et al. 2015). Membran dan filem selulosa terjana semula komersial disediakan menggunakan proses viskosa dan larutan kuprammonia. Walau bagaimanapun, proses ini mengeluarkan gas dan bahan toksik seperti CS_2 dan H_2S daripada sistem kitar semula (Klemm et al. 2005). Bagi mengatasi masalah persekitaran ini, banyak larutan akues yang tidak mencemarkan dan sistem larutan organik seperti kombinasi larutan NaOH-bahan tambahan-air (Mohd

Said et al. 2016), N-metilmorfolin-N-oksida (Rosenau et al. 2002) dan cecair ionik (Ils) (Wang et al. 2012) telah digunakan sebagai pelarut selulosa. Selulosa yang terlarut perlu dijana semula di dalam larutan penggumpal tertentu bagi menyediakan produk selulosa terjana semula daripada larutan selulosa (Gan et al. 2015a, 2015b). Ciri-ciri membran terjana semula amat berkait rapat dengan struktur dan morfologinya dan ia dikawal oleh keadaan penggumpal, sifat penggumpal dan mekanisme penggumpalan. Banyak kajian telah dilakukan untuk mempelajari proses penjanaan semula bagi mendapatkan morfologi dan ciri-ciri membran selulosa terjana semula (MS) yang dikehendaki (Padzil et al. 2015).

Larutan penggumpal untuk larutan selulosa-NMNO-larutan air yang biasa digunakan adalah cecair bukan pelarut, seperti air (Gao et al. 2012) atau pelbagai jenis alkohol (Biganska & Navard 2009) yang bercampur dengan air berupaya mengeluarkan larutan untuk membentuk selulosa terjana semula (Fink et al. 2001). Kajian morfologi keratan rentas membran yang digumpal dengan air telah dikaji oleh Fink et al. (2001). Keputusan kajian menunjukkan bahawa pemendakan pada suhu rendah menghasilkan rangkaian ketumpatan membran yang lebih tinggi dengan saiz liang yang lebih kecil. Kajian lain juga menunjukkan bahawa selulosa yang dilarutkan di dalam cecair ionik boleh dimendakan dengan mudah melalui penambahan bahan anti pelarut seperti air, etanol, metanol, aseton dan asetonitril (Hameed & Guo 2010; Swatloski et al. 2002; Xu et al. 2010). Walau bagaimanapun, percampuran pantas antara cecair ionik dengan larutan akues menghasilkan pemendakan selulosa sebagai serbuk gumpalan (Fitzpatrick et al. 2012). Oleh itu, pemahaman asas tentang kesan keadaan penggumpal ke atas pembentukan mikroliang pada membran selulosa terjana semula adalah perlu untuk kajian mekanisma penjana semula dan aplikasinya yang lebih meluas.

Dalam kajian ini, membran selulosa terjana semula telah disediakan daripada selulosa kenaf yang dilarutkan dalam larutan akues 7 % bt. NaOH/ 12 % bt. urea pada suhu rendah dan digumpal dalam larutan asid sulfurik (H_2SO_4) pada kepekatan dan masa yang berbeza. Kesan kepekatan penggumpal dan masa penggumpalan ke atas struktur, morfologi dan ciri-ciri membran dihuraikan.

KAEDAH DAN BAHAN

BAHAN

Pulpa teras kenaf (PTK) dibekalkan oleh Institut Penyelidikan Perhutanan Malaysia (FRIM). Bahan kimia yang digunakan ialah natrium hidroksida (NaOH) 98.0% gred analisis dan asid sulfurik (H_2SO_4) 98.0% telah dibekalkan oleh R&M Chemicals manakala urea dan natrium klorit ($NaClO_2$) diperolehi dari Sigma Aldrich.

PELUNTURAN PULPA TERAS KENAF

Pulpa teras kenaf (PTK) telah dilunturkan melalui beberapa peringkat pelunturan yang dinamakan sebagai DEED dengan peringkat D dan E masing-masing adalah rawatan asid dan alkali. Kedua-dua proses ini dijalankan untuk menyingkirkan lignin dan hemiselulosa. Larutan penimbal telah disediakan pada peringkat D yang mengandungi 27 g NaOH, 75 mL asid asetik dan air suling manakala larutan $NaClO_2$ telah disediakan pada kepekatan 1.7 % bt. Nisbah larutan penimbal: larutan $NaClO_2$: air adalah 1: 1: 1 (Kaco et al. 2014). Setiap peringkat pelunturan menggunakan nisbah larutan terhadap selulosa iaitu 20:1. Parameter pelunturan diringkaskan seperti di dalam Jadual 1. Selepas semua peringkat telah selesai, PTK dibasuh dengan air

suling sehingga neutral dan dikeringkan pada suhu 105°C selama 24 jam bagi mendapatkan selulosa I.

JADUAL 1. Parameter proses pelunturan

Peringkat	D	E
Masa (Jam)	4	3
Suhu (°C)	80	80
Pelarut	Larutan penimbal	Larutan NaOH

PENYEDIAAN MEMBRAN SELULOSA TERJANA SEMULA

Larutan akues NaOH/urea/air pada nisbah 7:12:81 (% bt.) disediakan dan disimpan di dalam peti sejuk beku pada suhu -13°C selama 24 jam. Selulosa PTK terluntur (4 % bt.) kemudiannya dimasukkan ke dalam larutan sejuk NaOH/urea dan dikacau pada kelajuan 1200 rpm untuk mendapatkan larutan selulosa yang lutsinar. Larutan selulosa ini kemudiannya telah diemparkan pada kelajuan 10000 ppm selama 5 min untuk membuang gelembung gas yang hadir dan memisahkan selulosa terlarut dan tidak terlarut. Kemudian, larutan tersebut dituang di atas permukaan kaca dan dimasukkan ke dalam larutan H_2SO_4 dengan permukaan di sebelah bawah bersentuhan dengan kaca dan permukaan sebelah atas bersentuhan dengan larutan penggumpal untuk membentuk membran selulosa terjana semula. MS digumpal dengan larutan H_2SO_4 pada kepekatan yang berbeza iaitu 5, 7, 10 dan 12 (% bt.) pada 24°C selama 1 min. Sampel MS yang terhasil masing-masing telah dilabelkan sebagai KCP51, KCP71, KCP101 dan KCP121. Manakala, MS yang digumpal dengan kepekatan H_2SO_4 10 % bt. pada masa gumpalan 1, 3, 5 selama 10 min telah dilabelkan masing-masing sebagai KCP101, KCP103, KCP105 dan KCP1010. Sampel KCP101 adalah sampel yang sama bagi kedua-dua keadaan penggumpalan. Membran selulosa kemudian dibasuh dengan air suling untuk mengeluarkan asid yang berlebihan dan di kering udara pada suhu bilik di atas plastik poli(metil metakrilat) untuk pencirian lanjut.

PENCIRIAN

Morfologi permukaan membran dikaji menggunakan imbasan mikroskop elektron tekanan boleh ubah (VPSEM) ZEISS EVO MA 10, United Kingdom. Sampel disalut dengan emas sebelum pencerapan dilakukan. Fasa dan indeks penghabluran (IK) membran terjana semula dianalisis menggunakan pembelauan sinar-X (XRD) Bruker Axs D8 Advance, Jerman. XRD ini dilakukan dengan menggunakan sinaran $CuK\alpha = 1,5458 \text{ \AA}$ pada sudut pembelauan (2θ) julat 5 hingga 60° (Kaco et al. 2014). IK sampel ditentukan oleh (1):

$$IK(\%) = \frac{A_{hablur}}{A_{jumlah}} \times 100, \quad (1)$$

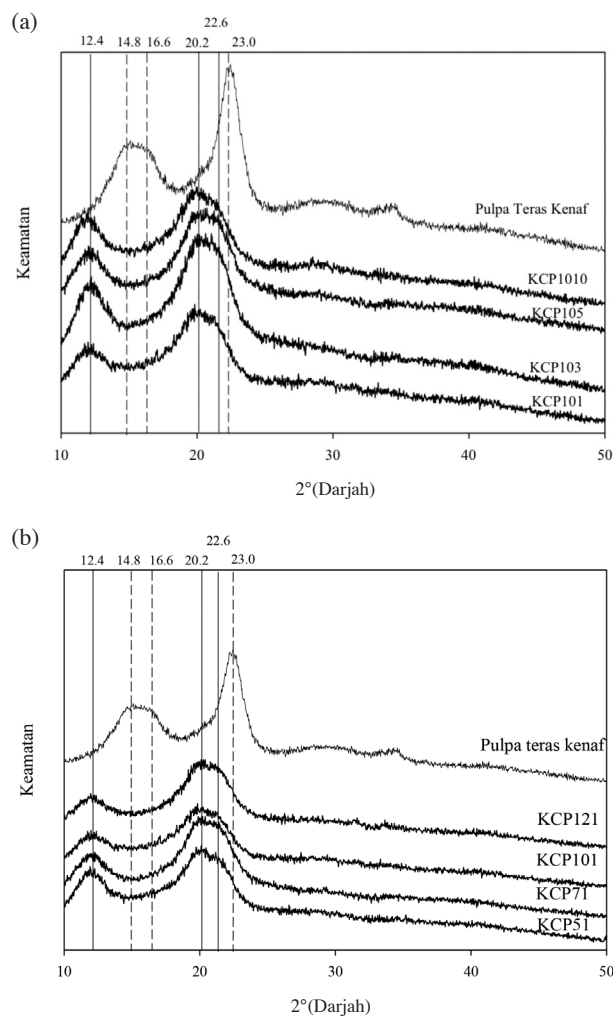
dengan A_{hablur} adalah jumlah kawasan di bawah puncak pembelauan hablur dan A_{jumlah} mewakili jumlah kawasan di bawah keluk pembelauan antara $2\theta = 10$ hingga 60° . Ketelusan membran diukur dengan spektrofotometer UV Jenway 7315 pada panjang gelombang antara 200-700 nm, dengan ketebalan membran adalah kira-kira 0.042 mm. Kekuatan regangan membran diukur menggunakan mesin regangan GOTECH, model AI-3000 pada kelajuan 10 mm min^{-1} . Sampel dipotong kepada saiz 10×100 mm dengan lima replikasi pengujian.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

PENCIRIAN XRD

Rajah 1 menunjukkan corak pembelauan sinar-X membran selulosa terjana semula pada (a) tempoh penggumpalan, 1-10 min dan (b) kepekatan larutan penggumpal yang berbeza. Selulosa pulpa teras kenaf dalam Rajah 1(a) dan 1(b) menunjukkan corak pembelauan selulosa I yang tipikal dengan tiga puncak yang ketara iaitu pada 14.8° , 16.6° dan 23.0° dengan indeks Miller (1-10), (110) dan (200) (Gan et al. 2015a; Kaco et al. 2014). Berdasarkan Rajah 1(a) and 1(b), puncak baharu didapati pada $2\theta = 12.4^\circ$, 20.2° dan 22.6° dalam membran terjana semula, merujuk kepada satah ($1\bar{1}0$), (110) dan (020) untuk kehabluran bagi selulosa II (Kaco et al. 2015; Liu & Zhang 2008). Ini menunjukkan telah berlaku transformasi yang jelas daripada selulosa I (selulosa asli) kepada selulosa II dalam proses pelarutan. Fakta ini disokong oleh Gan et al. (2015b) dan Padzil et al. (2015).

Jadual 2 menunjukkan nilai indeks kehabluran (IK) bagi membran terjana semula. Nilai IK bagi membran terjana semula adalah dalam julat 42-52% yang menunjukkan sifat kehabluran rendah atau saiz hablur yang kecil (French & Santiago 2013). Walau bagaimanapun, nilai IK bagi MS tidak menunjukkan perubahan nilai yang ketara bagi masa dan kepekatan penggumpal yang berbeza. Ini disebabkan oleh penggumpalan tidak memberikan perbezaan pada IK, namun proses pelarutan yang membezakan nilai IK. Semasa proses pelarutan, penembusan hidrat NaOH-air ke dalam struktur hablur selulosa I berlaku dan seterusnya menyebabkan selulosa terlarut dan bertukar kepada selulosa II (Zhang et al. 2010). Oleh itu XRD boleh



RAJAH 1. Corak XRD membran terjana semula yang digumpal pada (a) tempoh 1-10 min dan (b) kepekatan larutan penggumpal 5-12 % bt.

memberikan maklumat perubahan susunan kristal daripada selulosa I kepada selulosa II (Chen et al. 2006).

MORFOLOGI PERMUKAAN

Rajah 2 menunjukkan imej SEM untuk membran terjana semula (MS) yang digumpal dalam 10 % bt. larutan H_2SO_4 pada masa yang berlainan. MS menunjukkan permukaan

JADUAL 2. Indeks kehabluran membran selulosa terjana semula

Sampel	Indeks kehabluran	Masa (min)	Kepekatan (% bt.)
KCP101	43.3	1	10
KCP103	41.8	3	10
KCP105	49.4	5	10
KCP1010	44.9	10	10
KCP51	41.6	1	5
KCP71	51.4	1	7
KCP101	43.3	1	10
KCP121	51.9	1	12

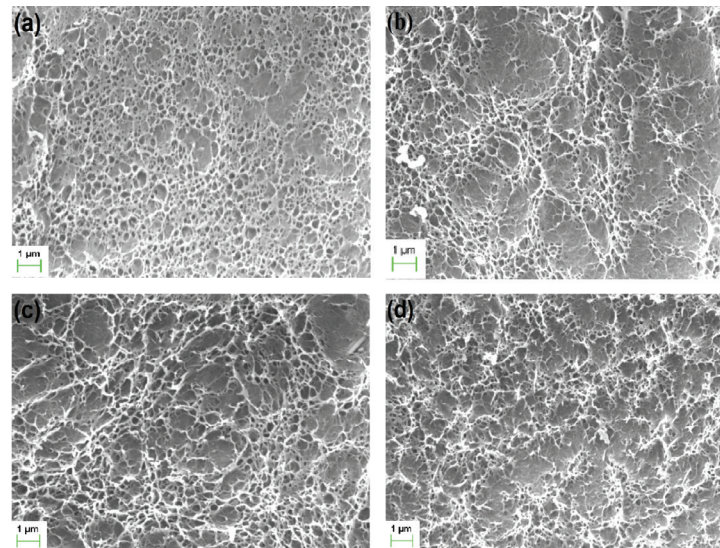
struktur yang berliang dengan taburan liang yang sekata. Purata saiz liang membran telah diukur menggunakan Smart Tiff, perisian Carl Zeiss memberikan nilai 302, 298, 304 dan 300 nm masing-masing bagi KCP101, KCP103, KCP105 dan KCP1010. Ini menunjukkan faktor masa penggumpalan berlainan tidak memberikan kesan yang ketara kepada struktur morfologi membran. Ini dibuktikan dengan hasil keputusan ketelusan cahaya di dalam Jadual 3.

Rajah 3 menunjukkan struktur morfologi membran yang telah digumpal dengan larutan H_2SO_4 pada kepekatan yang berbeza. Membran selulosa mempamerkan struktur keliangan yang sekata, mempunyai corak rangkaian pada permukaan yang disebabkan oleh proses penggumpalan. Purata saiz liang yang diukur menggunakan perisian Carl Zeiss untuk membran terjana semula masing-masing adalah KCP51, KCP71, KCP101 dan KCP121 adalah 250, 280, 302 dan 330 nm. Keputusan ini menunjukkan dengan

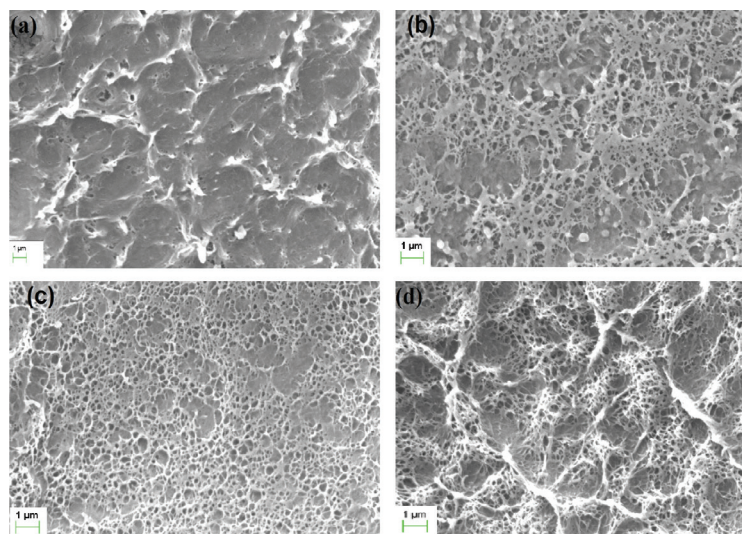
penambahan kepekatan larutan penggumpal H_2SO_4 , lebih besar saiz liang akan dibentuk pada membran (Mao et al. 2006). Walau bagaimanapun, keadaan ini boleh melemahkan kekuatan regangan pada membran. Ini kerana pada kepekatan asid sulfurik yang tinggi, bilangan ion H^+ akan meningkat dan proses penjanaan semula akan berlaku dengan pantas semasa proses pertukaran larutan, perkara ini telah mempengaruhi pembentukan saiz liang membran (Zhou et al. 2002).

KETELUSAN CAHAYA

Ketelusan optik merupakan kaedah tambahan untuk memeriksa kualiti ketelusan cahaya membran terjana semula. Jadual 3 menunjukkan nilai ketelusan cahaya terhadap masa penggumpalan dan kepekatan larutan penggumpal H_2SO_4 yang berbeza. Peratus ketelusan cahaya membran terjana semula tidak menunjukkan perubahan



RAJAH 2. Imej permukaan SEM untuk (a) KCP101, (b) KCP103, (c) KCP105 dan (d) KCP1010



RAJAH 3. Imej permukaan SEM untuk (a) KCP51, (b) KCP71, (c) KCP101 dan (d) KCP121

JADUAL 3. Ketelusan cahaya membran terhadap masa penggumpalan dan kepekatan H_2SO_4

Sampel	Ketelusan cahaya (%)	Masa (min)	Kepekatan (% bt.)
KCP101	41.1	1	10
KCP103	41.4	3	10
KCP105	38.5	5	10
KCP1010	42.3	10	10
KCP51	23.0	1	5
KCP71	36.2	1	7
KCP101	41.1	1	10
KCP121	37.2	1	12

yang ketara untuk masa penggumpalan yang berbeza. Walau bagaimanapun, bagi kepekatan penggumpal yang berbeza, nilai peratus ketelusan cahaya menunjukkan peningkatan tetapi pada kepekatan penggumpal 12 % bt. nilainya menurun. Pada kepekatan penggumpal yang lebih tinggi struktur membran menjadi lebih padat. Ini boleh dibuktikan menerusi keputusan imej morfologi SEM sebelum ini yang menunjukkan pembesaran saiz liang membran yang ketara dengan perbezaan kadar kepekatan penggumpal H_2SO_4 tetapi untuk masa penggumpalan yang berbeza, perubahan saiz liang tidak ketara.

KEKUATAN REGANGAN

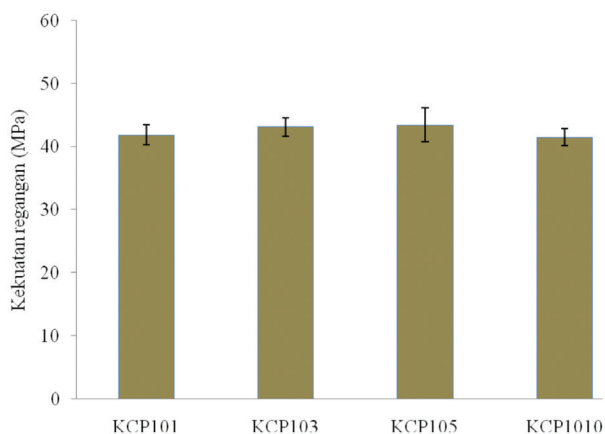
Kesan masa penggumpalan berlainan ke atas kekuatan regangan MS ditunjukkan pada Rajah 4. MS mempunyai julat kekuatan regangan yang hampir sama iaitu 41.85 ke 43.45 MPa dan ini menunjukkan bahawa tiada perubahan yang ketara bagi masa penggumpalan yang berbeza. Ini boleh dikaitkan dengan keputusan SEM pada Rajah 2 yang menunjukkan tiada perbezaan saiz liang yang ketara bagi membran yang digumpal dalam masa yang berbeza (Gan et al. 2015b).

Rajah 5 menunjukkan keputusan kekuatan regangan membran yang digumpal dengan kepekatan berbeza larutan penggumpal H_2SO_4 . Keputusan menunjukkan penurunan

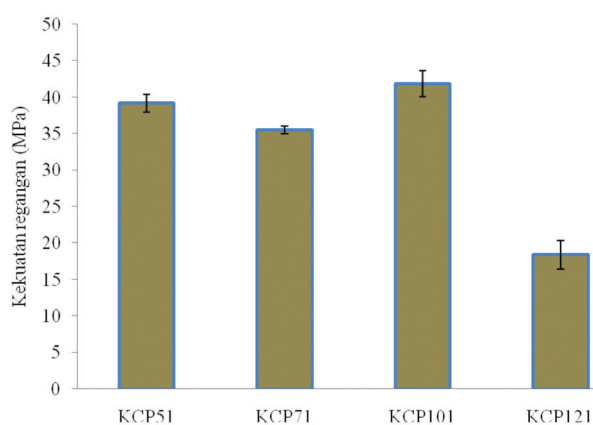
nilai kekuatan regangan selaras dengan pertambahan nilai kepekatan penggumpal. Walau bagaimanapun, pada kepekatan 10 % bt., nilai kekuatan regangan meningkat kepada nilai tertinggi iaitu 41.86 MPa dan ia menurun secara mendadak kepada 18.1 MPa pada kepekatan 12 % bt. Keputusan ini membuktikan kepekatan larutan penggumpal yang tinggi akan merendahkan kekuatan regangan membran. Oleh itu, membran selulosa yang mempunyai ciri fizikal yang baik boleh diperolehi dengan menggunakan penggumpal yang mempunyai kepekatan yang rendah pada masa penggumpalan yang sederhana. Menurut Zhang (2005), kepekatan yang tinggi dan masa penggumpalan yang lebih lama bukan sahaja memudahkan lagi proses penguraian selulosa, tetapi merupakan faktor kepada peningkatan saiz liang membran yang menyebabkan penurunan sifat mekanik. Di samping itu, kepekatan yang rendah dan masa penggumpalan yang singkat dapat mengawal kadar resapan antara penggumpal dan pelarut NaOH/urea yang membawa kepada kesukaran dalam proses penjana semula selulosa daripada penggumpalan.

KESIMPULAN

Semua membran kenaf terjana semula yang digumpal menggunakan H_2SO_4 dengan kepekatan dan masa



RAJAH 4. Kekuatan regangan membran yang digumpal dengan 10 % bt. H_2SO_4 pada masa yang berlainan (a) 1 min - KCP101, (b) 3 min - KCP103, (c) 5 min - KCP105 dan (d) 10 min - KCP1010



RAJAH 5. Kekuatan regangan membran yang digumpal dengan pelbagai kepekatan H_2SO_4 pada masa 1 min (a) 5 % bt. - KCP51, (b) 7 % bt. - KCP71, (c) 10 % bt. - KCP101 dan (d) 12 % bt. - KCP121

penggumpalan yang berbeza menunjukkan struktur berliang dengan taburan liang sekata. Membran terjana semula mempunyai kehabluran selulosa II dengan nilai indeks kehabluran yang rendah daripada selulosa I. Keputusan struktur morfologi VPSEM membuktikan saiz liang membran berubah dengan perubahan kepekatan penggumpal H_2SO_4 , manakala tiada perubahan saiz liang yang ketara untuk tempoh masa penggumpalan yang berbeza. Membran terjana semula yang digumpal dengan kepekatan larutan yang rendah dan masa yang singkat mempunyai ciri mekanik yang lebih baik. Kepekatan larutan penggumpal H_2SO_4 mempunyai pengaruh yang besar kepada struktur dan ciri membran terjana semula jika dibandingkan dengan masa penggumpalan. Oleh itu, larutan penggumpal sememangnya memainkan peranan penting dalam proses penjanaan semula dan struktur membran. Namun, bagi aplikasi penyerapan, saiz liang membran selulosa yang besar adalah lebih sesuai. Daripada kajian ini, sifat mekanik dan sifat morfologi membran dapat ditentukan berdasarkan keperluan dengan menentukan kepekatan penggumpal dalam pemprosesan membran.

PENGHARGAAN

Penulis ingin merakamkan penghargaan kepada semua pihak yang terlibat atas sokongan dana melalui geran penyelidikan LRGS/TD/2012/USM-UKM/PT/04, AP-2015-005, biasiswa MyBrain15-MyPhd dari Kementerian Pendidikan Tinggi Malaysia, analisis XRD oleh Pusat Pengurusan Penyelidikan dan Instrumentasi (CRIM) dan analisis VPSEM oleh Institut CELL FUEL, Universiti Kebangsaan Malaysia (UKM).

RUJUKAN

- Biganska, O. & Navard, P. 2009. Morphology of cellulose objects regenerated from cellulose-N-methylmorpholine N-oxide-water solutions. *Cellulose* 16(2): 179-188.
- Chen, X., Burger, C., Fang, D., Ruan, D., Zhang, L., Hsiao, B.S. & Chu, B. 2006. X-ray studies of regenerated cellulose fiber wet spun from cotton linter pulp in NaOH/thiourea aqueous solutions. *Polymer* 47: 2839-2848.
- Fink, H.P., Weigel, P., Purz, H.J. & Ganster, J. 2001. Structure formation of regenerated cellulose materials from Nmmmo-solutions. *Progress in Polymer Science* 26(1473-1524).
- Fitzpatrick, M., Champagne, P. & Cunningham, M.F. 2012. The effect of subcritical carbon dioxide on the dissolution of cellulose in the ionic liquid 1-ethyl-3-methylimidazolium acetate. *Cellulose* 19(1): 37-44.
- French, A.D. & Santiago Cintron, M. 2013. Cellulose polymorphy, crystallite size and the Segal crystallinity index. *Cellulose* 20(1): 583-588.
- Gan, S., Zakaria, S., Chia, C.H., Chen, R.S. & Jeyaldeen, N. 2015a. Physico-mechanical properties of a microwave-irradiated kenaf carbamate/graphene oxide membrane. *Cellulose* 22(6): 3851-3863.
- Gan, S., Zakaria, S., Chia, C.H., Padzil, F.N. & Ng, P. 2015b. Effect of hydrothermal pretreatment on solubility and formation of kenaf cellulose membrane and hydrogel. *Carbohydrates Polymer* 115: 62-68.
- Gao, S., Wang, J. & Jin, Z. 2012. Preparation of cellulose film from solution of bacterial cellulose in Nmmmo. *Carbohydrates Polymer* 87(2): 1020-1025.
- Hameed, N. & Guo, Q. 2010. Blend films of natural wool and cellulose prepared from an ionic liquid. *Cellulose* 17(4): 803-813.
- Kaco, H., Zakaria, S., Chia, C.H., Sajab, M.S. & Mohd Saidi, A.S. 2015. Characterization of aldehyde crosslinked kenaf regenerated cellulose film. *Bioresources* 10(4): 6705-6719.
- Kaco, H., Zakaria, S., Razali, N.F., Chia, C.H., Zhang, L. & Mohamad Jani, S. 2014. Properties of cellulose hydrogel from kenaf core prepared via pre cooled dissolving method. *Sains Malaysiana* 43(8): 1221-1229.
- Klemm, D., Heublein, B., Fink, H.P. & Bohn, A. 2005. Cellulose: Fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angew. Chem. Int. Ed.* 44(22): 3358-3393.
- Liu, S. & Zhang, L. 2008. Effects of polymer concentration and coagulation temperature on the properties of regenerated cellulose films prepared from Lioh/urea solution. *Cellulose* 16(2): 189-198.
- Mao, Y., Zhou, J., Cai, J. & Zhang, L. 2006. Effects of coagulants on porous structure of membranes prepared from cellulose in NaOH/urea aqueous solution. *Journal of Membrane Science* 279: 246-255.
- Mohd Said, A.S., Zakaria, S., Chan, C.H., Syed Jaafar, S.N. & Padzil, F.N. 2016. Physico-mechanical properties of kenaf pulp cellulose membrane cross-linked with glyoxal. *Sains Malaysiana* 45(2): 263-270.
- Padzil, F.N., Zakaria, S., Chia, C.H., Jaafar, S.N., Kaco, H., Gan, S. & Ng, P. 2015. Effect of acid hydrolysis on regenerated kenaf core membrane produced using aqueous alkaline-urea systems. *Carbohydrates Polymer* 124: 164-171.
- Rosenau, T., Potthast, A., Adorjan, I., Hofinger, A., Sixta, H., Firgo, H. & Kosma, P. 2002. Cellulose solutions in n-methylmorpholine-N-oxide (Nmmmo)-degradation processes and stabilizers. *Cellulose* 9(3-4): 283-291.
- Swatloski, R.P., Spear, S.K., Holbery, J.D. & Rogers, R.D. 2002. Dissolution of cellulose with ionic liquids. *Journal of the American Chemical Society* 124(18): 4974-4975.
- Wang, H., Gurau, G. & Rogers, R.D. 2012. Ionic liquid processing of cellulose. *Chemical Society Reviews* 41(4): 1519-1537.
- Xu, A., Wang, J. & Wang, H. 2010. Effect of anionic structure and lithium salts addition on the dissolution of cellulose in 1-Butyl-3-methylimidazolium-based ionic liquid solvent systems. *Green Chemistry* 12(2): 268-275.
- Zakaria, S., Chia, C.H., Ahmad, W.H., Kaco, H., Chook, S.W. & Chan, C.H. 2015. Mechanical and antibacterial properties of paper coated with chitosan. *Sains Malaysiana* 44(6): 905-911.
- Zhang, L., Mao, Y., Zhou, J. & Cai, J. 2005. Effects of coagulation conditions on the properties of regenerated cellulose films prepared in Naoh/urea aqueous solution. *Industrial & Engineering Chemistry Research* 4(3): 522-529.
- Zhang, S., Li, F.Z., Yu, J.Y. & Hsieh, Y.L. 2010. Dissolution behaviour and solubility of cellulose in NaOH complex solution. *Carbohydrate Polymer* 81: 668-674.
- Zhou, J., Zhang, L., Cai, J. & Shu, H. 2002. Cellulose microporous membranes prepared from Naoh/aqueous solution. *Journal of Membrane Science* 210(77-90).

Nor Aziawati Azahari, Sarani Zakaria*, Hatika Kaco, Sin Yee
Gan, Chia Chin Hua & Sharifah Nabihah Syed Jaafar
Makmal Biosumber dan Biopenurasan
Pusat Pengajian Fizik Gunaan
Fakulti Sains dan Teknologi
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia

*Pengarang untuk surat-menyurat; email: szakaria@ukm.edu.my

Diserahkan: 18 Ogos 2016

Diterima: 4 Oktober 2016

Mohd Shaiful Sajib
Pusat Penyelidikan Teknologi Proses Mampan (CESPRO)
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor Darul Ehsan
Malaysia