

Sintesis Selulosa Suksinat dalam Cairan Ion 1-Butil-3-Metilimidazolium Klorida ([BMIM]Cl) dengan Metode *Microwave Assisted Organic Synthesis* (MAOS) dan Penentuan Derajat Substitusinya

Synthesized Cellulose Succinate in 1-Butyl-3-Methylimidazolium Chloride ([BMIM]Cl) Ionic Liquid with Microwave Assisted Organic Synthesis (MAOS) Method and Determining The Degree of Its Substitution

T. Sudiarti,^{1,2} D. Wahyuningrum,³ B. Bundjali,² dan I. M. Arcana²

¹Jurusan Kimia, UIN Sunan Gunung Djati Bandung, Bandung, Indonesia

²Kelompok Keahlian Kimia Anorganik dan Fisik, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

³Kelompok Keahlian Kimia Organik, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Corresponding author : s.tety70@yahoo.com

ARTICLE INFO

Article history

Received date : 15 January 2016

Revised date : 3 May 2016

Accepted date : 10 June 2016

Available online at:

<http://kimia.lipi.go.id/inajac/index.php>

Kata kunci:

selulosa suksinat, cairan ion, [BMIM]Cl, Metode MAOS, derajat substitusi

Keywords:

cellulose succinate, ionic liquid, [BMIM]Cl, MAOS method, degree of substitution

Abstrak

Selulosa merupakan polimer alam yang sangat melimpah dan digunakan secara luas sebagai bahan mentah untuk berbagai aplikasi industri seperti fiber, kertas, membran, cat dll. Modifikasi selulosa dengan anhidrida suksinat merupakan salah satu cara untuk memberikan nilai tambah pada selulosa tersebut. Untuk meningkatkan kemampuan melarutkan dan efisiensi modifikasi selulosa, digunakan cairan ion 1-butyl-3-methylimidazolium klorida ([BMIM]Cl) sebagai pelarut. Metode *microwave assisted organic synthesis* (MAOS) dipilih karena dapat mempercepat laju reaksi, meningkatkan *yield* dan mengurangi produk samping. Tujuan penelitian ini adalah mensintesis selulosa suksinat dalam [BMIM]Cl dengan metode MAOS serta menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi derajat substitusi (DS) selulosa suksinat yang dihasilkan. Selulosa dilarutkan dalam [BMIM]Cl dengan berbagai perbandingan dan direaksikan dengan anhidrida suksinat pada perbandingan selulosa:anhidrida suksinat = 1:10 menggunakan reaktor *microwave* pada berbagai kondisi reaksi (waktu, suhu, daya iradiasi *microwave*). Berdasarkan pengukuran spektrum FTIR terhadap produk diperoleh bahwa selulosa suksinat berhasil disintesis yang ditandai dengan munculnya puncak baru pada bilangan gelombang 1722,43–1726,29 cm^{-1} yang merupakan pita serapan untuk C=O ester dengan derajat substitusi pada rentang 0,66 – 1,33. Kondisi pelarutan dan kondisi reaksi mempengaruhi derajat substitusi selulosa suksinat yang dihasilkan. Makin banyak [BMIM]Cl yang digunakan, makin tinggi derajat substitusi selulosa suksinat yang dihasilkan.

Abstract

Cellulose is a natural polymer that is very abundant and widely used as raw materials for various industrial applications such as fiber, paper, membranes, paints etc. Modification of cellulose with succinic anhydride is one way to add value to the product. The purpose of this study is to synthesize cellulose succinate derived from cellulose using ionic liquid [BMIM]Cl as solvent by MAOS method and to determine the factors that affect the degree of substitution (DS) of cellulose succinate produced. Cellulose was dissolved in [BMIM]Cl with various proportions and then reacted with succinic anhydride in the ratio of cellulose: succinic anhydride = 1:10 using a microwave reactor at various reaction conditions (time, temperature, microwave irradiation power). The FTIR spectrum of the product showed that cellulose succinate has been successfully synthesized which was characterized by the presence of a new peak at wave number of 1722,43>1726,29 cm^{-1} corresponded to the absorption band for C=O ester

with a degree of substitution in the range of 0.66 to 1.33. The dissolution conditions and the reaction conditions influenced the degree of substitution of cellulose succinate produced. The more of [BMIM] Cl was used, the higher the degree of substitution of cellulose succinate produced.

© 2016 Indonesian Journal of Applied Chemistry. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Selulosa merupakan polimer alam yang sangat melimpah dan digunakan secara luas sebagai bahan mentah untuk berbagai aplikasi industri seperti fiber, kertas, membran, cat, dan lain-lain.^[1,2,3,4,5,6,7] Modifikasi kimia selulosa dengan anhidrida suksinat merupakan salah satu cara untuk memberikan nilai tambah pada produk tersebut. Anhidrida suksinat adalah suatu agen karboksilat yang efektif dalam asilasi selulosa, karena itu digunakan secara luas dalam modifikasi selulosa.^[4] Akan tetapi karena derajat kristalinitasnya yang tinggi, selulosa tidak larut dalam air dan sebagian besar pelarut umum organik yang merupakan kendala utama dalam modifikasi selulosa secara homogen.^[1,2,8,5,6,7]

Akhir-akhir ini, banyak perhatian telah tercurah pada penggunaan cairan ion sebagai suatu pelarut yang ramah lingkungan dan memiliki banyak keuntungan seperti memiliki tekanan uap yang sangat rendah, tidak mudah terbakar, stabil secara kimia dan termal, kapasitas muatan yang tinggi dan bersifat polar.^[2,8,5,6,7] Cairan ion telah digunakan sebagai pelarut untuk modifikasi selulosa secara luas. Asetilasi, tosilasi, karbanilasi dan suksinilasi dari selulosa dalam cairan ion telah dilaporkan.^[2,8,5,6,7]

Sintesis selulosa suksinat telah dilakukan dalam beberapa cairan ion (1-butyl-3-metilimidazolium klorida ([BMIM]Cl) atau [C₄MIM]Cl) dan 1-amil-3-metilimidazolium klorida ([AMIM]Cl) dengan pemanasan konvensional^[2,8,5,6] dan menghasilkan selulosa suksinat dengan derajat substitusi (DS) maksimal 2,34 dengan waktu reaksi 60 menit pada suhu 100 °C.^[2] Meskipun demikian, reaksi dengan pemanasan konvensional kurang efektif karena memerlukan waktu reaksi yang lama.

Akhir-akhir ini juga, terdapat ketertarikan yang meningkat pada pemanasan *microwave* sebagai alternatif dari teknologi pemanasan konvensional untuk memfasilitasi reaksi-reaksi yang sulit; pemanasan *microwave* telah terbukti menjadikan reaksi lebih cepat dan lebih efisien^[1]. Sejumlah turunan polisakarida seperti selulosa ester, amilosa ester dan o-alkil kitosan telah disintesis dengan *microwave*.^[1] Selulosa suksinat telah disintesis dalam reaktor *microwave* dengan sistem pelarut LiCl/DMAC (litium klorida dalam *N,N*-dimetilasetamida) menghasilkan selulosa suksinat dengan derajat substitusi maksimal 1,59 dengan daya iradiasi 160 W dan waktu 10 menit.^[1] Dengan demikian, meskipun waktu reaksi lebih sedikit, akan tetapi derajat substitusi selulosa suksinat yang dihasilkan masih lebih rendah dari pada sintesis selulosa suksinat yang menggunakan cairan ion.

Tujuan penelitian ini adalah mensintesis selulosa suksinat dalam pelarut 1-butyl-3-metilimidazolium klorida ([BMIM]Cl) dengan metode *Microwave Assisted Organic Synthesis* (MAOS) serta menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi derajat substitusi (DS) selulosa suksinat yang dihasilkan. Dasar pemilihan cairan ion 1-butyl-3-metilimidazolium klorida ([BMIM]Cl) sebagai pelarut dalam penelitian ini, adalah karena cairan ion dengan struktur seperti metilpiridinium atau metilimidazolium dengan alil, etil, butil sebagai rantai samping dapat meningkatkan efisiensi dari modifikasi selulosa.^[7] Maksimum pelarutan selulosa dapat dicapai dalam cairan ion dengan struktur butil pada rantai samping.^[7] Anion-anion yang paling memungkinkan digunakan pada pelarutan selulosa adalah klorida, asetat atau format.^[7] Dengan demikian diharapkan dapat meningkatkan efisiensi reaksi dan menurunkan waktu reaksi sehingga didapatkan produk selulosa suksinat dengan derajat substitusi yang

optimum.

2. METODE

2.1 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: reaktor *microwave* MAS–II SINEO® untuk sintesis, *hotplate magnetic stirrer* Cimarec® untuk pelarutan selulosa dalam cairan ion [BMIM]Cl, dan spektroskopi FTIR (Alpha Bruker) untuk karakterisasi senyawa.

2.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam sintesis dan pemurniannya adalah mikrokristalin selulosa (Sigma-Aldrich), [BMIM]Cl kemurnian 98,0 % (HPLC) (Sigma-Aldrich), anhidrida suksinat *synthesis grade* (Sigma-Aldrich), DMF *pro analysis* (Merck), dan isopropanol *pro analysis* (Merck). Semua reagen digunakan langsung tanpa pemurnian terlebih dahulu.

2.3 Prosedur

2.3.1 Pelarutan Selulosa

Selulosa dilarutkan dalam cairan ion [BMIM]Cl dengan variasi konsentrasi selulosa 8,6-25 % (w/w). Selulosa dilarutkan dalam [BMIM]Cl di atas *hotplate magnetic stirrer* (80 °C, 30-45 menit) kemudian dipanaskan kembali dalam reaktor *microwave* (300 W, 60-80 °C) sampai larutan terlihat jernih

2.3.2 Sintesis Selulosa Suksinat

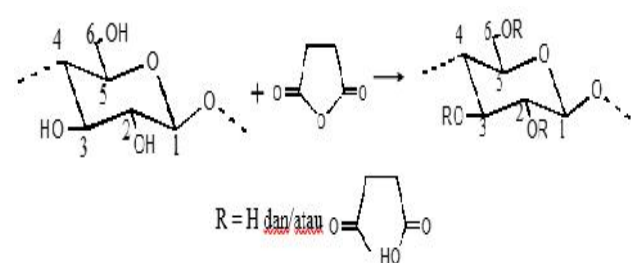
Larutan selulosa dalam [BMIM]Cl direaksikan dengan anhidrida suksinat yang telah dilarutkan dalam DMF pada perbandingan selulosa:anhidrida suksinat = 1:10 (0,132 g : 0,8192 g) menggunakan reaktor *microwave* pada berbagai kondisi reaksi. Variasi waktu reaksi 10-30 menit, variasi suhu antara 50-80 °C dan variasi daya iradiasi *microwave* antara 300-600 W. Hasil reaksi disaring dan diambil padatnya. Padatan dicuci sebanyak dua kali dengan 20 mL isopropanol untuk menghilangkan sisa cairan ion dan anhidrida suksinat. Padatan yang telah dicuci dikeringkan di atas *hot plate magnetic stirrer* (50 °C, 3 jam). Produk kemudian dikarakterisasi dengan

spektrofotometri FTIR dan ditentukan derajat substitusinya menggunakan Persamaan 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Kondisi Reaksi

Skema reaksi antara selulosa dan anhidrida suksinat dalam cairan ion [BMIM]Cl ditunjukkan pada Gambar 1. Kondisi reaksi untuk optimasi hasil ditampilkan pada Tabel 1. Setiap selesai reaksi, produk dipisahkan dari prekursornya dengan cara penyaringan dan pencucian produk dilakukan menggunakan isopropanol untuk menghilangkan sisa cairan ion dan anhidrida suksinat. Pengeringan hasil reaksi dilakukan pada suhu 50 °C selama tiga jam merujuk pada literatur^[2,5] dan dalam proses pengeringan ini tidak akan terjadi reaksi lebih lanjut karena produk telah dicuci dengan isopropanol sebanyak dua kali untuk menghilangkan sisa [BMIM]Cl dan anhidrida suksinat. Hal ini dapat dibuktikan berdasarkan hasil analisis FTIR yang pada spektrumnya sudah tidak diperoleh absorbansi puncak-puncak khas senyawa cairan ion maupun anhidrida suksinat.



Gambar 1. Skema reaksi antara selulosa yang dilarutkan dalam cairan ion [BMIM]Cl dengan anhidrida suksinat menghasilkan selulosa suksinat^[2]

Hasil sintesis selulosa suksinat yang telah dilakukan dan derajat substitusinya yang dihitung dengan Persamaan 1 dapat dilihat pada Tabel 1.

Derajat substitusi (DS) selulosa suksinat ditentukan melalui analisis semi kuantitatif terhadap spektrum FTIR produk sintesis, yaitu dengan cara membandingkan absorbansi gugus fungsi C=O ester (pada bilangan gelombang ~ 1720 cm⁻¹) pada produk sintesis dengan

absorbansi gugus fungsi O-H pada selulosa (pada bilangan gelombang ~ 3400 cm⁻¹) seperti pada Persamaan 1.

Tabel 1. Sintesis selulosa suksinat dan pengaruh kondisi reaksi terhadap derajat substitusinya

Sam pel	(Selulosa: [BMIM]Cl) (%w/w)	Daya Iradiasi Microwave (Watt)	Suhu Reaksi (°C)	Waktu Reaksi (menit)	DS
1	25	300	80	20	0,67
2	25	400	80	20	0,00
3	25	600	80	20	0,00
4	10	300	50	13	0,00
5	10	300	70	10	0,00
6	10	300	70	20	0,95
7	10	300	70	30	0,67
8	10	300	80	13	0,66

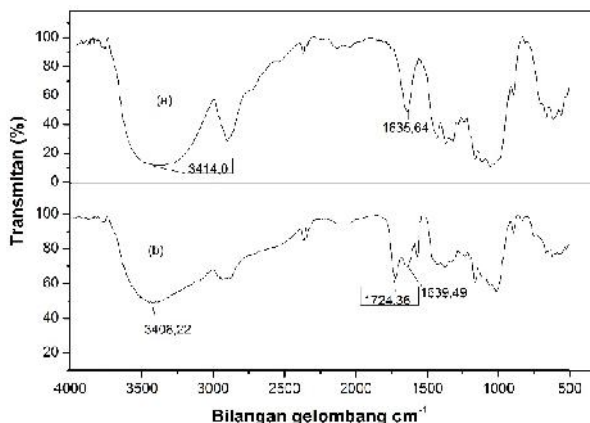
Persamaan 1:

$$DS = [A_{C=O}/A_{O-H}] \times 3 \quad (1)$$

$$A = -\log \% \text{ Transmittan}$$

Keterangan: $A_{C=O}$ merupakan absorbansi dari gugus fungsi C=O ester pada produk dan A_{O-H} merupakan absorbansi dari gugus hidroksi pada selulosa.

Contoh cara penentuan derajat substitusi (DS) berdasarkan spektrum FTIR dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Contoh cara penentuan derajat substitusi (DS) berdasarkan spektrum FTIR: (a) selulosa; (b) produk sintesis

Dari spektrum FTIR untuk selulosa dan produk sintesis seperti pada Gambar 2, diperoleh nilai % Transmittannya kemudian dihitung nilai absorbansinya dan derajat substitusinya (DS) menggunakan Persamaan 1 seperti contoh pengolahan data di bawah ini, yang dianalisis berdasarkan spektrum FTIR selulosa (Gambar 2.(a)) dan spektrum FTIR produk sintesis (Gambar 2.(b)):

$$A_{C=O} = -\log \% \text{ Transmittan}$$

$$= -\log [62,382/100]$$

$$= 0,205$$

$$A_{OH} = -\log \% \text{ Transmittan}$$

$$= -\log [11,960/100]$$

$$= 0,922$$

$$DS = [A_{C=O}/A_{O-H}] \times 3$$

$$= [0,205/0,922] \times 3$$

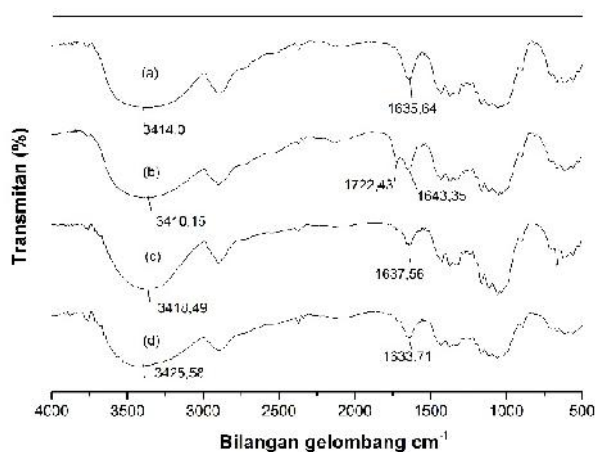
$$= 0,67$$

Keterangan: $A_{C=O}$ merupakan absorbansi dari gugus fungsi C=O ester pada produk sintesis (pada bilangan gelombang 1724,36 cm⁻¹ berdasarkan spektrum FTIR produk sintesis (Gambar 2.(b)) dan A_{OH} merupakan absorbansi dari gugus fungsi hidroksi pada selulosa (pada bilangan gelombang 3414,0 cm⁻¹, berdasarkan spektrum FTIR selulosa (Gambar 2.(a)).

Hasil analisis spektrum FTIR sintesis selulosa suksinat dengan metode MAOS dengan variasi daya iradiasi microwave 300 – 600 W (sampel 1-3) diperlihatkan pada Gambar 3. yang menunjukkan spektrum FTIR produk sintesis (b) jika dibandingkan dengan spektrum FTIR selulosa relatif sudah ada perbedaan dengan munculnya puncak baru pada bilangan gelombang 1722,43 cm⁻¹ yang menandakan terjadinya reaksi esterifikasi antara gugus –OH pada selulosa dengan anhidrida suksinat. Secara umum, pita serapan untuk C=O ester memberikan puncak pada 1750 cm⁻¹ dan C=O asam karboksilat pada 1712 cm⁻¹.^[8,5,6] Kedua pita tumpang tindih dan memberikan puncak 1722,43 cm⁻¹ yang menandakan terbentuknya monoester selulosa suksinat.^[1,2,8,5,6] Dengan demikian selulosa suksinat telah berhasil disintesis dengan metode MAOS. Tidak adanya pita serapan pada 1850 dan 1780 cm⁻¹ pada spektrum menandakan bahwa produk bebas dari

anhidrida suksinat yang tidak bereaksi.^[1,2,3,8,5,6] Derajat substitusi produk sintesis (b) didapat nilai DS sebesar 0,67. Nilai DS yang dihasilkan tersebut masih rendah dibandingkan dengan hasil penelitian sebelumnya.^[1,2] Derajat substitusi yang masih rendah kemungkinan dikarenakan proses pelarutan selulosa dalam [BMIM]Cl yang belum sempurna.

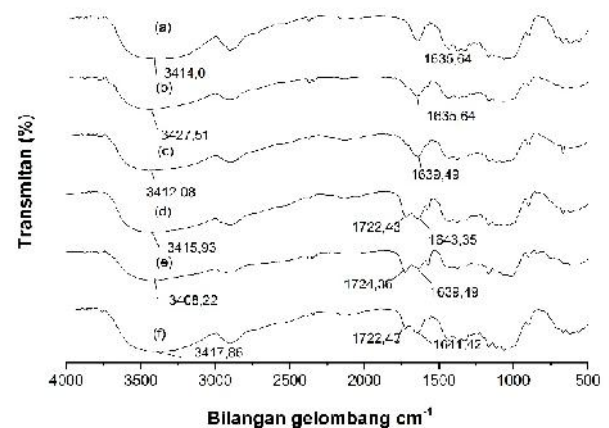
Spektrum FTIR pada produk (c) dan (d) jika dibandingkan dengan spektrum FTIR selulosa relatif masih sama, dan belum muncul puncak baru yang menandai adanya suksinilasi. Dengan demikian, peningkatan daya iradiasi *microwave* tidak berhasil mendapatkan produk yang diinginkan. Meningkatkan daya justru menyulitkan suksinat untuk bereaksi dikarenakan dengan daya yang besar suksinat tidak memiliki waktu yang cukup untuk bereaksi.



Gambar 3. Spektrum FTIR produk sintesis selulosa suksinat (1:10), 25% selulosa, 80°C, 20 menit: (a) selulosa; produk selulosa suksinat dari reaksi yang menggunakan daya iradiasi *microwave*: (b) 300 W; (c) 400 W; (d) 600 W

Hasil karakterisasi dengan FTIR pada sampel 4-8 ditunjukkan pada Gambar 4. Produk sintesis (b) dan (c) jika dibandingkan dengan spektrum FTIR selulosa relatif masih sama, dan belum muncul puncak baru yang menandai adanya selulosa suksinat. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh suhu yang terlalu rendah menyebabkan laju reaksi menjadi lebih lambat dan energi aktivasi dari reaksi tersebut tidak tercapai. Selain itu waktu reaksi yang relatif

singkat menyulitkan reagen untuk bereaksi karena tidak cukup waktu untuk bereaksi. Pada produk sintesis (d), (e) dan (f) jika dibandingkan dengan spektrum FTIR selulosa relatif sudah ada perbedaan, dengan munculnya puncak baru pada bilangan gelombang 1722,43 – 1724,36 cm^{-1} yang merupakan hasil tumpang tindih pita serapan untuk C=O ester dengan C=O asam karboksilat yang menandai adanya monoester selulosa suksinat.^[1,2,8,5,6] Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya peningkatan derajat substitusi maksimal 0,95. Dengan demikian, peningkatan waktu dan suhu reaksi dapat meningkatkan derajat substitusi selulosa suksinat yang dihasilkan. Peningkatan suhu reaksi dapat meningkatkan energi kinetik molekul sehingga laju reaksi menjadi lebih cepat dan energi aktivasi reaksi dengan cepat terlampaui. Selain itu waktu reaksi yang lebih lama memungkinkan reagen untuk memiliki waktu yang cukup untuk bereaksi sehingga menghasilkan peningkatan derajat substitusi. Walaupun demikian derajat substitusi selulosa suksinat yang dihasilkan masih rendah jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.^[1,2] Hal ini kemungkinan disebabkan oleh proses pelarutan selulosa dalam [BMIM]Cl yang belum sempurna karena derajat substitusi (DS) dapat dipengaruhi tidak hanya oleh pemilihan reagen, waktu reaksi, dan perbandingan mol dari reagen, tetapi juga tergantung pada kondisi pelarutan dari selulosa.^[7]



Gambar 4. Spektrum FTIR produk sintesis selulosa suksinat (1:10), 10% selulosa dengan daya iradiasi *microwave* 300 W: (a) selulosa; (b) produk selulosa suksinat dengan waktu reaksi 13 menit pada 50°C; (c) produk selulosa suksinat dengan waktu reaksi 13 menit pada 50°C

waktu reaksi 10 menit pada 70 °C; (d) produk selulosa suksinat dengan waktu reaksi 20 menit pada 70 °C; (e) produk selulosa suksinat dengan waktu reaksi 30 menit pada 70 °C; (f) produk selulosa suksinat dengan waktu reaksi 13 menit pada 80 °C

a. Pengaruh Kondisi Pelarutan

Untuk meningkatkan derajat substitusi, penelitian dilanjutkan dengan memperbaiki kondisi pelarutan dengan cara menurunkan konsentrasi selulosa dalam [BMIM]Cl sampai dengan 8,6 % dengan harapan dapat meningkatkan kelarutan selulosa sehingga derajat substitusi produk dapat ditingkatkan. Hasil sintesis selulosa suksinat dan derajat substitusinya yang dihitung dengan Persamaan 1 dapat dilihat pada Tabel 2.

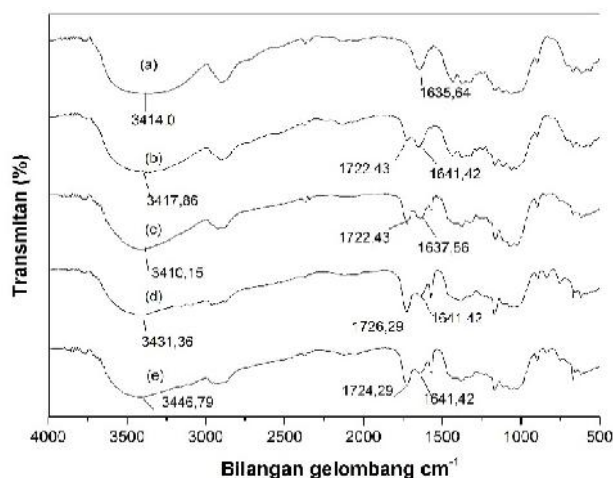
Tabel 2. Sintesis selulosa suksinat dan pengaruh kondisi pelarutan terhadap derajat substitusinya

Sampel	(Selulosa : [BMIM]Cl) (%w/w)	Daya Iradiasi Microwave (Watt)	Suhu Reaksi (°C)	Waktu Reaksi (menit)	DS
1	10	300	80	10	0,67
2	9,2	300	80	20	0,70
3	8,6	300	80	10	1,33
4	8,6	300	80	20	0,89

Hasil karakterisasi dengan FTIR pada Gambar 5 menunjukkan bahwa semua produk sintesis jika dibandingkan dengan spektrum FTIR selulosa relatif sudah ada perbedaan, dengan munculnya puncak baru pada bilangan gelombang 1722,43-1726,29 cm^{-1} yang menandakan terjadinya suksinalisasi dengan terbentuknya selulosa suksinat monoester.^[1,2,8,5,6] Hasil analisis FTIR menunjukkan, penurunan konsentrasi selulosa sampai 8,6 % pada kondisi reaksi 80 °C dengan waktu 10 menit berhasil meningkatkan derajat substitusi (DS) sampai 1,33.

Proses pelarutan selulosa terjadi dengan mekanisme dimana atom oksigen dan hidrogen dari selulosa membentuk kompleks donor elektron-akseptor elektron (EDA) dengan spesies muatan dari cairan ion. Interaksi ini

terjadi utamanya antara gugus hidroksil pada C₆ dan C₃ dari rantai selulosa tetangga. Interaksi ini menghasilkan pemisahan gugus hidroksil dari rantai selulosa yang berbeda dan menghasilkan pelarutan selulosa dalam cairan ion.^[7] Penurunan konsentrasi selulosa dalam [BMIM]Cl menyebabkan peningkatan dalam kemampuan melarutkan, sehingga lebih banyak ikatan hidrogen antar rantai selulosa yang terputus dan memudahkan jalan bagi reaksi antara selulosa dan anhidrida suksinat. Dengan demikian makin banyak [BMIM]Cl yang digunakan, semakin tinggi pula derajat substitusi selulosa suksinat yang dihasilkan.



Gambar 5. Spektrum FTIR produk sintesis selulosa suksinat (1:10), dengan daya iradiasi *microwave* 300 W: (a) selulosa; (b) produk selulosa suksinat dengan kondisi reaksi: 10 menit, 80 °C, 10% selulosa; (c) produk selulosa suksinat dengan kondisi reaksi: 20 menit 80 °C, 9,2 % selulosa; (d) produk selulosa suksinat dengan kondisi reaksi: 10 menit 80 °C, 8,6% selulosa; (e) produk selulosa suksinat dengan kondisi reaksi: 20 menit 80 °C, 8,6 % selulosa

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengukuran spektrum FTIR terhadap produk sintesis, diperoleh bahwa selulosa suksinat berhasil disintesis yang ditandai dengan munculnya puncak baru pada bilangan gelombang 1722,43-1726,29 cm^{-1} yang merupakan pita serapan untuk C=O ester (monoester) dengan derajat substitusi pada rentang 0,66-1,33. Kondisi pelarutan dan

kondisi reaksi mempengaruhi derajat substitusi selulosa suksinat yang dihasilkan. Makin banyak [BMIM]Cl yang digunakan, semakin tinggi pula derajat substitusi selulosa suksinat yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih pada Kepala Laboratorium Kimia Fisik Material dan Kepala Laboratorium Kimia Organik Institut Teknologi Bandung yang telah memberikan fasilitas dalam penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1] Chadlia, M.M. Farouk. (2011, March). Rapid homogeneous esterification of cellulose extracted from *posidonia* induced by microwave irradiation. *J. Appl. Polym. Sci.* [Online]. 119 (6), pp.3372–3381. Available:<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.32973/full>
- [2] W.Y. Li, A.X. Jin, C.F. Liu, R.C. Sun, A.P. Zhang, J.F. Kennedy. (2009, October). Homogeneous modification of cellulose with succinic anhydride in ionic liquid using 4-dimethylaminopyridine as a catalyst. *Carbohyd. Polym.*[Online].78 (3), pp.389 –395. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861709002367>
- [3] J.C.P. Melo, E.C.S. Filho, S.A.A. Santana, C. Airoldi. (2011, September). Synthesized cellulose/succinic anhydride as an ion exchanger calorimetry of divalent cations in aqueous suspension. *Thermochim. Acta.* [Online]. 524(1>2), pp. 29–34. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603111003285>
- [4] J.F. Zhong, X.S. Chai, H.C. Hu, S.Y. Fu. (2012, March). Determination of degree of substitution in succinic anhydride modified cellulose by headspace gas. *J. Chrom. A.* [Online]. 1229, pp. 302–304. Available:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021967312001707>
- [5] C.F. Liu, R.C. Sun, A.P. Zhang, J.L. Ren, Z.C. Geng. (2006, December). Structural and thermal characterization of sugarcane bagasse cellulose succinates prepared in ionic liquid. *Polym. Degrad. Stab.*[Online]. 91 (12), pp. 3040–3047. Available:<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391006002540>
- [6] C.F. Liu, R.C. Sun, A.P. Zhang, J.L. Ren, X.A. Wang, M.H. Qin, Z.N. Chao, W. Luo. (2007, May). Homogeneous modification of sugarcane bagasse cellulose with succinic anhydride in ionic liquid as reaction medium. *Carbohyd. Res.* [Online]. 342(7), pp. 919–926. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008621507000705>
- [7] Pinkert, K.N. Marsh, S. Pang, M.P. Staiger. (2009). Ionic liquids and their interaction with Cellulose. *Chem. Rev.* [Online]. 109(12), pp. 6712–6728. Available: <http://www.academia.edu/1154614>
- [8] C.F. Liu, A.P. Zang, W.Y. Li, F.X. Yue, R.C. Sun. (2010, March). Succinoylation of cellulose of catalyzed with iodine in ionic liquid. *Ind. Crops Prod.* [Online]. 31(2), pp. 363–369. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669009002374>.

Halaman ini sengaja dikosongkan

This page intentionally left blank