Pengaruh Berat Molekul Terhadap Ketahanan Termal, Absorpsi Air Dan Kemampuan Biodegradasi Plastik Selulosa Teregenerasi Dari Kapas Limbah Industri Tekstil

Raden Reza Rizkiansyah[1, A)], Mardiyati[1, B)], & Steven[1, C)]

[1]Program Studi Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.

[a)]raden.reza.rizkiansyah@gmail.com
[b)]mardiyati@material.itb.ac.id
[c)]xscrow_steve@yahoo.com

ABSTRACT

Regenerated cellulose is a class of material formed by dissolving and regenerating cellulose into certain product. Regenerated cellulose has potential to be developed into environmentally friendly biodegradable plastic especially because abundance of cellulose in nature. Cotton is one of main source of cellulose that consist 86 – 98% of its mass. In this research, waste cotton from textile industry are used as source of cellulose which extracted via sulfuric acid hydrolysis process with concentration varied in 0,5; 1; 1,5; and 2 M in 100°C for 2 hours to obtain cellulose with various molecular weight. Regenerated cellulose is prepared by dissolving cellulose with NaOH 7 wt%/Urea 12 wt% which then formed by solution casting method. Molecular weight of cellulose was investigated by viscosity average molecular weight method using Ubbelohde viscometer. Thermogravimetry Analysis (TGA), water absorption test, and biodegradability test are conducted to investigate the influence of molecular weight to the thermal degradation, water absorption, and biodegradability of obtained regenerated cellulose plastic respectively. The result showed that the decrease of molecular weight causing the thermal degradation and water absorption to decrease but increasing the biodegradability of the obtained regenerated cellulose plastic. Highest thermal degradation temperature hailed resulted from usage of cellulose with molecular weight 2.73 x 10^4 g/mol which is 316°C as the lowest water absorption and highest mass loss after soil burial test is resulted from molecular weight 1.94 x 10^4 g/mol with value 49,60% and 50,55% respectively. This research showed that regenerated cellulose is promising to be applied as biodegradable plastic.

Keyword: cotton, degradation temperature, regenerated cellulose, soil biodegradation, water absorption

PENDAHULUAN

Permasalahan penumpukan sampah plastik yang tidak dapat terdegradasi secara alami merupakan salah satu hal yang saat ini menjadi isu utama dalam hal pencemaran lingkungan. Salah satu alternatif yang saat ini dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan mengembangkan jenis plastik yang dapat terdegradasi secara alami di alam yang umumnya dibuat dari polimer hayati. Selulosa merupakan salah satu jenis polimer hayati yang juga merupakan polimer hayati dengan ketersediaan paling melimpah di bumi, dimana diperkirakan dihasilkan 100 miliar ton selulosa setiap tahunnya [1]. Ketersediaan yang melimpah, serta sifatnya dapat diperbaharui menjadikan selulosa berpotensi untuk dimafaatkan sebagai bahan baku pembuatan plastik biodegradable. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk mengolah selulosa menjadi produk adalah melalui proses pelarutan dan regenerasi, dimana proses tersebut akan menghasilkan suatu produk yang disebut sebagai selulosa teregenerasi. Karakteristik utama dari selulosa teregenerasi adalah molekul selulosa penyusunnya yang tidak termodifikasi atau sama dengan pada saat kondisi *native*. Proses pembuatan selulosa teregenerasi yang banyak digunakan saat ini pada skala industri adalah melalui proses viscose, dimana pada proses ini digunakan karbon disulfide dan NaOH sebagai pelarut [2]. Proses viscose pada dasarnya kurang disukai karena menghasilkan limbah beracun yang sulit untuk diolah [2] sehingga berpotensi mencemari lingkungan. Permasalahan terhadap pelarut viscose tersebut mendorong untuk dikembangkannya pelarut selulosa alternatif, dimana diantaranya yaitu NaOH/Urea dalam kondisi temperatur dibawah 0°C. Metode pelarutan ini dikembangkan oleh Zhang pada tahun 2000 yang diklaim lebih tidak beracun dan lebih murah dibandingkan dengan proses viscose [3], sehingga menjadikan proses tersebut banyak diteliti untuk dikembangkan lebih lanjut. Dalam penelitian ini akan dikaji pemanfaatan kapas limbah yang dihasilkan dari industri pembuatan benang katun sebagai sumber selulosa. Pemilihan kapas limbah sebagai sumber bahan baku selulosa dalam penelitian ini dilatarbelakangi oleh kandungan selulosa dari kapas yang pada dasarnya sangat tinggi, yakni berkisar antara 88-96% [4] serta potensi dari limbah kapas tekstil yang sangat besar, mengingat Indonesia merupakan salah satu negara produsen benang katun terbesar di dunia dengan produksi mencapai 2,284 Juta Ton [5] namun limbah tersebut sebagian besar hanya dimanfaatkan untuk aplikasi dengan nilai ekonomi yang relatif rendah seperti *cotton bud*, isian boneka dan bantal atau dimusnahkan. Selulosa diekstraksi dari kapas limbah melalui proses hidrolisis menggunakan asam sulfat yang kemudian dibuat menjadi bioplastik selulosa teregenerasi dalam bentuk bulk, atau plastik dengan

ketebalan lebih dari 0,4 mm (definisi pada standar ASTM D638). Bioplastik selulosa teregenerasi dalam bentuk bulk pada perkembangannya saat ini masih jarang dikaji dan sebagian besar lebih terfokus pada pengembangan dalam bentuk film yang berorientasi pada aplikasi kemasan [6,7]. Karakteristik selulosa teregenerasi yang memiliki struktur kimia serupa dengan selulosa asli berpotensi menyebabkan bioplastik yang dihasilkan akan memiliki sifat dan karakteristik yang serupa dengan selulosa *native*, diantaranya akan berpengaruh pada sifat fisik seperti ketahanan temperatur, absorpsi air, maupun kemampuan biodegradasinya yang dimana ketiganya juga dapat dipengaruh oleh variasi berat molekul selulosa yang digunakan. Dalam penelitian ini akan dikaji pengaruh dari berat molekul tersebut terhadap sifat fisik dari bioplastik yang dibuat. Melalui penelitian ini diharapkan dapat diperoleh gambaran mengenai sifat fisik dari bioplastik selulosa teregenerasi dalam bentuk *bulk* yang dihasilkan dari selulosa dari kapas limbah, khususnya sebagai akibat pengaruh berat molekul selulosa yang digunakan.

MATERIAL DAN METODE

Material

Kapas limbah industri pembuatan benang katun yang digunakan diperoleh dari PT Mulya Jaya, Desa Cigentur, Majalaya, Kabupaten Bandung. Asam sulfat yang digunakan berasal dari Pudak, Bandung; NaOH dari Brataco Chemica Bandung; Urea dari Central Kimia, Bandung; dan Aseton dari Justus Kimiaraya, Bandung. Air deionisasi diperoleh dari Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, ITB.

Metode

Ekstraksi Selulosa dari Kapas Limbah

Hidrolisis dengan menggunakan asam sulfat dilakukan untuk mengekstraksi selulosa dari kapas limbah. Hidrolisis terhadap kapas dilakukan pada temperatur 100°C selama 2 jam. Konsentrasi asam sulfat divariasikan pada 0,5 M; 1 M; 1,5 M, dan 2 M. Hasil hidrolisis kemudian disaring dengan kertas saring dan dikeringkan pada temperatur ruang.

Pembuatan Plastik Selulosa Teregenerasi

Selulosa yang diperoleh dari hasil hidrolisis didispersikan didalam larutan 7% NaOH/ 12% Urea dan dibekukan pada temperatur -10°C selama 24 jam.

Larutan selulosa yang diperoleh dari hasil pelelehan larutan beku kemudian disaring dan dibentuk menjadi plastik melalui metode solution casting dengan koagulan aseton dan air pada perbandingan 2 : 1. Hidrogel selulosa yang diperoleh kemudian dikeringkan pada temperatur ruang.

Karakterisasi

Karakterisasi berat molekul dari selulosa yang diperoleh dari proses hidrolisis terhadap kapas limbah dilakukan melalui metode berat molekul rerata viskositas. Viskometer ubbelohde digunakan untuk mengukur viskositas intrinsik dari [η] dari larutan selulosa yang kemudian dikonversi menjadi berat molekul rerata viskositas (MW_η) dan derajat polimerisasi masing-masing menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2 [8,9,10].

$$[\eta] = 2.45 \times 10^{-2} MW_\eta^{0,815} \quad (1)$$

$$DP = \frac{MW_\eta}{M} = \frac{MW_\eta}{162} \quad (2)$$

Karakterisasi TGA dilakukan dengan alat Setaram Labsys Evo di Pusat Teknologi Material, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi Puspitek Serpong pada rentang temperatur 30 - 600°C dengan laju pemanasan 10°C/min. Nitrogen digunakan sebagai purge gas dengan laju 20 ml/menit. Pengujian absorpsi air dan biodegradasi tanah dilakukan masing-masing dengan standar ASTM D 570-98 dan ISO 846. Pengukuran berat sampel dilakukan dengan timbangan KERN ABJ 2204NM di laboratorium polimer, Teknik Material, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berat Molekul Selulosa dari Hidrolisis Kapas Limbah

Hidrolisis dengan menggunakan asam sulfat telah dilakukan untuk mengekstraksi selulosa dari serat kapas limbah industri tekstil. Pengukuran berat molekul rerata viskositas dilakukan untuk memperkirakan berat molekul selulosa yang diekstraksi dari kapas limbah tersebut serta melihat seberapa besar pengaruh yang ditimbulkan dari konsentrasi asam yang digunakan terhadap perubahan berat molekul selulosa yang diperoleh. Hasil pengujian berat molekul rerata viskositas dan yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 1. Data hasil pengujian berat molekul yang telah dikonversi ke derajat polimerisasi menunjukkan bahwa jika dibandingkan dengan nilai derajat polimerisasi dari

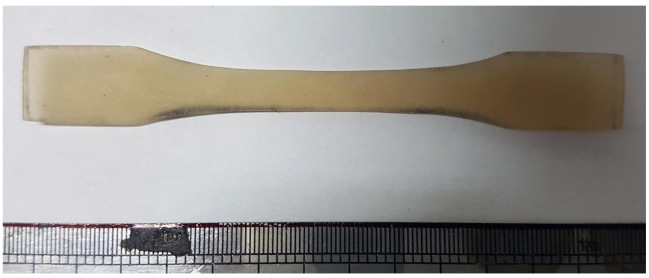
selulosa kapas *native* pada literatur selulosa hasil ekstraksi memiliki nilai yang jauh dibawah selulosa kapas *native*, yakni berkisar antara 169,1 – 120,13. Data hasil pengujian yang diperoleh juga menunjuk-kan nilai derajat polimerisasi selulosa cenderung menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi asam yang digunakan. Penurunan nilai derajat polimerisasi yang terjadi tersebut disebabkan oleh jumlah ion hidrogen dalam larutan yang digunakan, dimana akan turut meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam yang digunakan. Ion hidrogen berperan sebagai katalis dalam suatu proses hidrolisis ikatan glikosidik rantai selulosa [12], dimana dengan semakin banyaknya ion hidrogen yang hadir maka akan semakin besar potensi reaksi hidrolisis terhadap ikatan glikosidik yang terjadi sehingga akan menghasilkan selulosa dengan derajat polimerisasi yang lebih kecil.

TABEL 1. Hasil Pengujian Berat Molekul Rerata Viskositas

	Berat Molekul rerata viskositas ($x\ 10^4$)	**Derajat Polimerisasi**	**Keterangan**
Native	-	15300	[11]
Hidrolisis 0,5 M	2.73	169.1	Penelitian ini
Hidrolisis 1 M	2.49	153.82	Penelitian ini
Hidrolisis 1,5 M	2.01	124.58	Penelitian ini
Hidrolisis 2 M	1.93	120.13	Penelitian ini

Karakteristik Plastik Selulosa Teregenerasi dari Kapas Limbah Industri Tekstil

Selulosa yang diperoleh dari kapas limbah industri tekstil telah diolah menjadi bioplastik selulosa teregenerasi dengan ketebalan rata-rata 0,87 mm. Contoh bioplastik selulosa teregenerasi yang telah

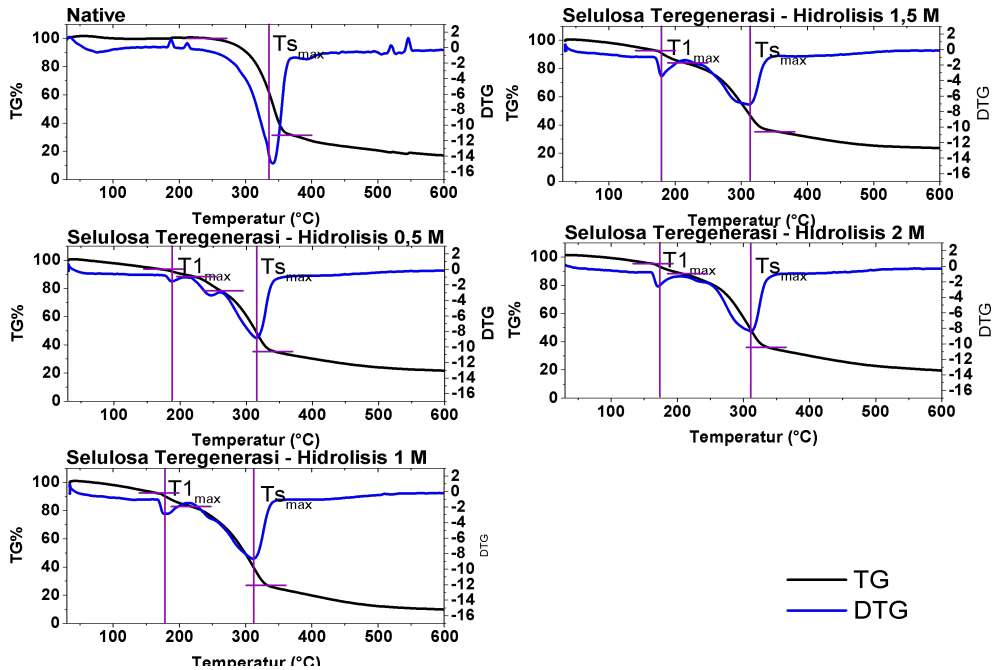


GAMBAR 1. Plastik Selulosa Teregenerasi

dihasilkan ditunjukkan pada Gambar 1. Karakterisasi dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dari bioplastik selulosa teregenerasi yang dihasilkan khususnya terkait pengaruh dari berat molekul dari selulosa yang digunakan terhadap sifatnya.

Ketahanan Termal

Ketahanan termal dari bioplastik selulosa teregenerasi dikarakterisasi melalui pengujian TGA. Hasil pengujian berupa kurva TGA dan DTG dari kapas limbah *native* dan bioplastik selulosa teregenerasi ditunjukkan pada Gambar 2, yang secara umum menunjukkan penurunan massa



GAMBAR 2. Kurva TG dan DTG dari selulosa kapas *native* dan teregenerasi

yang terjadi terhadap sampel seiring dengan peningkatan temperatur uji yang dilakukan. Data yang diperoleh menunjukkan adanya perbedaan pola tahapan penurunan massa sebagai akibat dari peningkatan temperatur yang diberikan pada kapas native dengan bioplastik hasil regenerasi, yakni berupa *fast pyrolysis* pada 336°C untuk kapas native dan pada sekitar 311°C - 316°C untuk bioplastik selulosa teregenerasi. Nilai perubahan yang terjadi pada masing-masing sampel yang diuji dirangkum pada Tabel 2. Fenomena *fast pyrolysis* yang terjadi pada kisaran 336°C dan 311 - 336°C yang terjadi baik pada kapas *native* maupun bioplastik selulosa teregenerasi tersebut merujuk kepada proses degradasi terhadap rantai selulosa [13]. Data yang diperoleh juga menunjukkan bahwa temperatur degradasi (T_{max}) setelah regenerasi cenderung lebih rendah dibandingkan pada saat *native*.Pada bioplastik selulosa teregenerasi sendiri nilai T_{max} tersebut cenderung menurun seiring dengan meningkatnya konsentrasi asam yang digunakan (berat molekul selulosa semakin kecil) dengan kisaran 316°C ketika menggunakan selulosa dari hasil hidrolisis 0,5 M sampai 311.06°C pada selulosa 2 M.

Penurunan T_{max} dan seiring dengan penurunan berat molekul tersebut dikarenakan pada berat molekul yang lebih rendah polimer akan lebih mudah terdegradasi. Fenomena lain yang tampak pada data yang diperoleh adalah penurunan massa pada kisaran 170°C - 240°C, dimana penurunan massa yang terjadi pada rentang tersebut merujuk kepada degradasi dari selulosa tersulfatisasi, yakni selulosa yang sejumlah gugus hidroksilnya (-OH) tersubstisusi oleh gugus sulfat ($-OSO^{3-}$) [11,13,14,15]. Bagian

TABEL 2. Stabilitas Termal Selulosa kapas *native* dan teregenerasi

Perlakuan	Mass Loss (%)	T Onset (°C)	T Max (°C)
Native	68.63	225	336.98
0,5 M	53.43	225	316.004
1 M	55.39	220	312.13
1,5 M	48.18	215	311.43
2 M	52.34	211	311.06

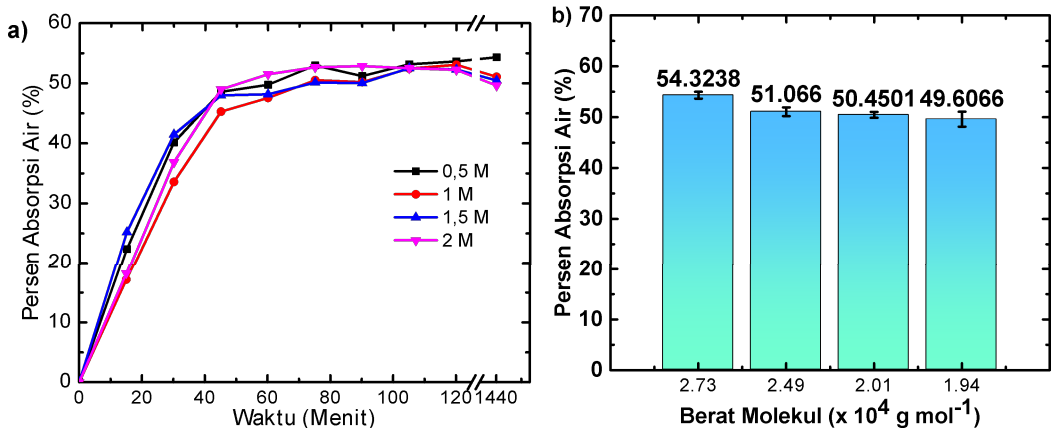
selulosa yang tersulfatisasi tersebut memiliki temperatur degradasi yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan yang seharusnya karena adanya katalisasi oleh gugus sulfat terhadap proses degradasi rantai selulosa tersebut [11,15]. Fenomena terbentuknya selulosa tersulfatisasi dalam bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh ini kemungkinan disebabkan sebagai efek samping penggunaan asam sulfat dalam proses ekstraksi selulosa dari kapas melalui proses hidrolisis, [11,14,16,17].

Secara umum, hasil pengujian TGA yang dilakukan menunjukkan adanya pengaruh dari berat molekul selulosa yang digunakan terhadap kestabilan termal dari bioplastik selulosa teregenerasi yang dihasilkan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh memiliki temperatur degradasi berkisar antara 311 - 336°C yang bergantung pada berat molekul yang digunakan. Hasil yang diperoleh tersebut pada dasarnya lebih rendah jika dibandingkan dengan literatur yang mencapai 343°C, hal ini kemungkinan disebabkan perbedaan besar berat molekul yang digunakan [13]

Absorpsi Air

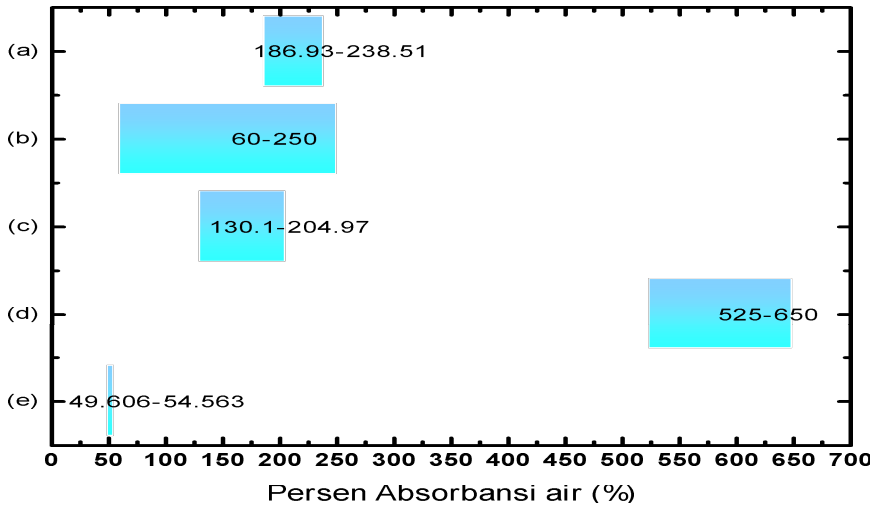
Pengujian absorpsi air terhadap bioplastik selulosa teregenerasi telah dilakukan untuk mengukur seberapa besar interaksi dari bioplastik selulosa teregenerasi ketika mengalami kontak dengan air. Pengujian ini dilakukan karena selulosa yang menyusun bioplastik tersebut sama dengan kondisi native, dimana selulosa pada dasarnya memiliki potensi interaksi dengan air yang sengat besar sebagai akibat dari keberadaan gugus hidroksil dalam jumlah besar. Pengujian absorbansi air dilakukan karena selulosa pada dasarnya merupakan suatu polimer yang bersifat polar, yang dimana hal tersebut menyebabkan selulosa dapat mudah berinteraksi dengan molekul air. Data hasil pengujian absorpsi air dari bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 3a.

Data yang diperoleh secara umum menunjukkan bahwa bioplastik selulosa teregenerasi mengalami peningkatan jumlah air terabsorpsi seiring dengan peningkatan waktu perendaman yang dilakukan. Tingkat penyerapan air yang signifikan terjadi sampai 60 menit perendaman dan setelahnya relatif stabil pada kisaran 50 – 53%. Persentase penyerapan air setelah24 jam (1440 menit) ditunjukkan pada Gambar 3b, dimana menunjukkan persentase air yang diserap berkisar antara 49 -54% yang dimana rentang ini masih berada disekitar persen absorpsi pada sekitar 60 – 120 menit perendaman, hal tersebut mengindikasikan bahwa bioplastik selulosa teregenerasi telah mengalami saturasi. Persentase kandungan air yang diserap oleh masing-masing sampel bioplastik selulosa teregenerasi dari berbagai berat molekul selulosa setelah perendaman 24 jam menunjukkan adanya kecenderungan penurunan penyerapan air seiring dengan peningkatan berat molekul dari bioplastik selulosa teregenerasi. Fenomena tersebut kemungkinan disebabkan karena pada berat molekul yang lebih besar akan semakin banyak gugus hidroksil yang tersedi pada rantai selulosa untuk berinteraksi dengan molekul air [22].



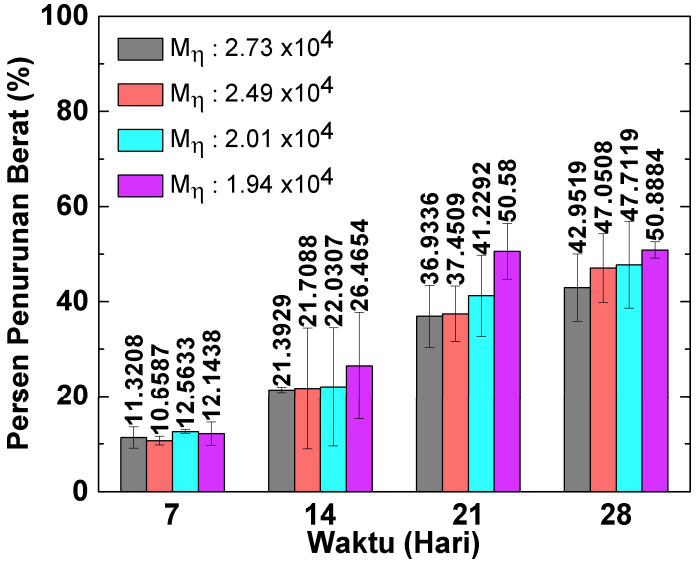
GAMBAR 3. a) Kecenderungan persentase penyerapan air plastik selulosa teregenerasi yang dihasilkan dari selulosa kapas yang dihidrolisis pada berbagai konsentrasi asam seiring dengan waktu perendaman b) Persentase penyerapan setelah 24 jam

Kondisi penyerapan air yang rendah pada dasarnya cenderung disukai karena akan memperkecil kemungkinan disorientasi bioplastik sebagai akibat penyerapan air yang terjadi. Secara umum, persentase absorbansi air dari bioplastik selulosa teregenerasi dalam penelitian ini masih lebih rendah dibandingkan dengan sejumlah bioplastik berbahan dasar hayati lain seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, hal ini dikarenakan selulosa lebih memungkinkan untuk menyusun diri secara lebih teratur (kristalin) dibandingkan bahan-bahan tersebut, sehingga molekul air lebih sulit untuk berdifusi diantara rantai-rantai polimer yang menyusunnya.



Kemampuan Biodegradasi

Pengujian biodegradasi tanah telah dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh untuk terdegradasi secara alami di alam. Persentase penurunan berat dari sampel yang dipendam selama jangka waktu tertentu ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan berat yang terjadi seiring dengan waktu pemendaman, hal tersebut kemungkinan disebabkan adanya aktivitas mikroorganisme yang mendegradasi selulosa yang menyusun bioplastik tersebut. Dari segi berat molekulnya, persentase berat yang hilang dari sampel bioplastik selulosa teregenerasi mengalami peningkatan seiring dengan penurunan berat molekul yang terjadi atau dalam kata lain menjadi semakin mudah untuk terdegradasi secara alami. Peningkatan persentase berat yang hilang tersebut disebabkan oleh semakin sedikitnya ikatan glikosidik yang perlu dipotong menjadi molekul yang lebih kecil (degradasi) oleh mikroorganisme melalui suatu mekanisme hidrolisis oleh enzim [23]. Kondisi plastik yang lebih mudah terbiodegradsi diharapkan untuk memudahkan penanganan pasca pemakaian plastik tersebut, khususnya untuk menghindari penumpukan sampah. Secara umum, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa bioplastik selulosa teregenerasi yang diperoleh telah terbukti memiliki sifat *biodegradable*.



Gambar 5. Persentase penurunan berat dari plastik selulosa teregenerasi

KESIMPULAN

Selulosa telah berhasi diekstraksi dari kapas limbah dengan berbagai berat molekul dan diproses menjadi bioplastik selulosa teregenerasi dengan ketebalan rata-rata 0,87 mm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi asam yang digunakan dalam proses hidrolisis berpengaruh terhadap berat molekul selulosa yang terekstraksi dengan kisaran 2.73 x 10^4 g/mol pada konsentasi 0,5 M hingga 1.94 x 10^4 g/mol pada konsentrasi 2 M. Berat molekul dari selulosa yang digunakan dalam pembuatan bioplastik selulosa teregenerasi juga turut berpengaruh terhadap sifat fisik dari bioplastik yang dihasilkan seperti ketahanan termal, persentase absorpsi air, dan kemampuan biodegradasi dari bioplastik yang diperoleh. Penurunan berat molekul selulosa yang digunakan akan menyebabkan penurunan temperatur degradasi dan absorpsi air dari bioplastik selulosa teregenerasi yang dihasilkan, namun di sisi lain meyebabkan bioplastik tersebut menjadi lebih mudah terbiodegradasi. Bioplastik selulosa teregenerasi dengan temperatur degradasi tertinggi diperoleh dari berat molekul 2.73 x 10^4 g/mol yakni mencapai 316°C, adapun untuk absorpsi air terendah dan yang paling mudah didegradasi secara alami diperoleh dari berat molekul 1.94 x 10^4 g/mol dengan persen absorpsi dan persen berat hilang setelah pemendaman di tanah selama 28 hari berkisar 49,60% dan 50,55%.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih PT Mulya Jaya atas bantuan bahan baku kapas limbah yang diberikan kepada penulis, laboratorium Teknik produksi, ibu Eryanti Kalembang dari PTM BPPT Serpong atas bantuannya dalam pengujian sampel, dan saudara Asril Senoaji ,M.T. dari Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil atas bantuan dan saran yang diberikan kepada penulis.

REFERENSI

1 Pilla, Srikanth, *Handbook of Bioplastic and Biocomposites Engineering Application* (Scrievener Publishing, Salem, 2011), pp. 349

2 Raymond D. Harbison, Marie M. Bourgeois, dan Giffe T. Johnson, *Hamilton and Hardy's Industrial Toxicology, Sixth Edition* (John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, 2015), pp. 792.

3 Manisha Pandey, Muhammad Mustafa Abeer, Mohd Cairul Iqbal, dan Mohd Amin, Int J Pharm Pharm Sci, **6**, pp. 89-93 (2015)

4 Xiangwu Zhang, "Chemical Structure of Natural Polymer Fibers" in Fundamentals of Fiber Science (DeStech Publishing Inc. Pennysylvania, 2014), pp. 55.

5 Nurma Febrina. "Analisis Strategi PT Apac Inti Corpora Diindustri TPT." Tugas Akhir Sarjana, Universitas Gajah Mada, Indonesia, 2013.

6 Qiyang Wang, Jie Cai, Lina Zhang, Min Xu, He Cheng, Charles C. Han, Shigenori Kuga, Jun Xiao, dan Rui Xiao, J. Mater. Chem. A, **1**, pp. 6678–6686 (2013).

7 Sen Wang, Ang Lu, dan Lina Zhang, Progress in Polymer Science, **53**, pp. 169–206, Aug. 2015.

8 Zhou, Jinping, Lina Zhang, dan Jie Cai, Journal of Polymer Science: Part B: Polymer Physics, **42**, pp. 347–353 (2003).

9 David N.S. Hon dan Nobuo Shiraishi, *Wood and Cellulosic Chemistry, Second Edition, Re-vised, and Expanded* (Marcell Dekker, New York, 2001), pp. 290.

10 Shuai Zhang, Wen Cong Wang, Fa Xue Li, dan Jian-Yong Yu, *Cellulose Chem. Technol*., **47**, pp. 671-679, (2012).

11 Lanxing Du, Jinwu Wang, Yang Zhang, Chusheng Qi, Michael P. Wolcott, dan Zhiming Yu, *Nanomaterials*, **7**, pp. 51 (2017).

12 Laura Kupiainen. "Dilute Acid Catalysed Hydrolysis of Cellulose – Extension to Formic Ac-id." Disertasi Doktor, University of Oulu, Amerika Serikat, 2012.

13 Lee Chiau Yeng, Mat Uzir Wahit, dan Norhayani Othma, *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering),* **75**, pp. 107–112 (2015).

14 Ning Lin dan Alain Dufresne, *Nanoscale*, **6**, pp. 5384-5393, (2014).

15 Maria Alice Martins, Eliangela M. Teixeira, Ana Carolina Correa, Mariselma Ferreira, dan Luiz H. C. Mattoso., *Journal of Materials Science*, **46**, pp. 7858–7864 (2011).

16 Ping Lu dan You-Lo Hsieh, *Carbohydrate Polymers*, **82**, pp. 329–336 (2010).

17 Raden Reza Rizkiansyah. "Ekstraksi Mikrokristalin Selulosa dari Bambu Apus (Gi-gantochloa apus) dan Pemanfaatannya Se-bagai Penguat pada Biokomposit Pati Tapioka/MCC." Tugas Akhir Sarjana, Insitut Teknologi dan Sains Bandung, Indonesia, 2014.

18 Ziyad Abolibda Tariq. "Physical and Chemical Investigations of Starch Based Bio-Plastics." Disertasi Doktoral, University of Leicester, Kerajaan Britania Raya, 2015.

19 David Grewell, Sean T. Carolan, dan Gowrishankar Srinivasan, *J. Renew. Mater.*, **1**, pp. 231 – 241 (2013).

20 Tuty Anggraini, Ulfimarjan, Fauzan Azima, dan Rina Yenrina, *Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, **8**, pp. 1339-1351 (2017).

21 Manuel Felix, Valme Carpintero, Alberto Romero dan Antonio Guerrero, *Polímeros*, **26**, pp. 277-281 (2016).

22 Otilia M. Y. Koo, *Pharmaceutical Excipients Properties, Functionality, and Applications in Research and Industry* (John Wiley & Sons, Inc, Hoboken 2017), pp. 56.

23 Jiantao Niu, Xiaoying Zhang, Nana Pei, dan Qilei Tian, *Applied Mechanics and Materials*, **217-219**, pp. 918-922, (2012).