

Sintesa Kertas Serat Non Kayu Ramah Lingkungan Berbahan Dasar Selulosa Bakteri Sebagai Alternative Pengganti Serat Kayu Pada Pembuatan Kertas

Harunsiyah¹, Halim Zaini², M. Yunus³, dan Said Abubakar⁴

^{1,2,3} Jurusan Teknologi Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe

⁴ Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

¹harunsiyah@pnl.ac.id

Abstrak— Material Selulosa merupakan material yang secara alamiah terdapat pada kayu, kapas, rami serta tumbuhan lainnya. Produksi kertas masih bergantung pada ketersediaan kayu sebagai bahan baku utama pembuatan kertas. Salah satu solusi bahan pengganti kertas yang terbarukan adalah selulosa bakteri (SB) yang merupakan serat non kayu. SB dapat menjadi sumber yang sangat potensial mengingat ketersediaan yang melimpah, waktu produksi yang singkat, dan harga ekonomis serta ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapat produk bahan material kertas yang ramah lingkungan. Penelitian akan dilakukan secara eksperimental murni dengan metode agitasi kultur media untuk melihat pengaruh beberapa variabel dan tahap terhadap sifat mekanis kertas yang dihasilkan. Dari hasil penelitian yang diperoleh bahwa gramatur yang diperoleh dalam penelitian ini berkisar antara 15,51 - 24,34 g/m². Hasil terbaik kuat tarik sebesar 8,82 Mpa terdapat pada sampel kertas dengan penambahan tapioka 40 gram dari larutan selulosa bakteri yang dibuat. Dari hasil daya serap air diperoleh data menurun dengan penambahan tapioka pada kondisi penambahan kaolin 3 gram. Hal ini terlihat bahwa semakin banyak tapioka yang ditambahkan semakin tinggi ketahanan air kertas tersebut.

Kata kunci— Kertas, Selulosa Bakteri, Tapioka, Kaolin.

Abstract— Cellulose is a material that naturally occurs in wood, cotton, hemp and other plants. Paper production still depends on the availability of wood as the main raw material for making paper. One of the solutions for a renewable paper substitute material is bacterial cellulose (SB), which is a non-wood fiber. SB can be a very potential source considering its abundant availability, short production time, and economical price and environmentally friendly. This study aims to obtain paper material products that are environmentally friendly. The research will be carried out purely experimentally using the media culture agitation method to see the effect of several variables and stages on the mechanical properties of the paper produced. From the research results it was found that the grammage obtained in this study ranged from 15.51–24.34 g/m². The best results for the tensile strength of 8.82 MPa were found in paper samples with the addition of 40 grams of tapioca from the prepared bacterial cellulose solution. From the results, the water absorption decreased with the addition of tapioca in the condition of adding 3 grams of kaolin. It can be seen that the more tapioca added the higher the water resistance of the paper.

I. PENDAHULUAN

Salah satu permasalahan lingkungan di dunia pada umumnya dan di Indonesia pada khususnya adalah limbah kemasan baik kemasan dari plastik maupun kemasan dari kertas. Kebutuhan plastik dan kertas sebagai kemasan pangan atau barang semakin lama semakin meningkat. Ini karena penggunaan plastik dan kertas sudah tidak dapat terpisahkan dari kehidupan sehari-hari, mulai dari keperluan rumah tangga hingga industri, diantaranya sebagai kemasan pangan. Penggunaan plastik dan kertas sebagai pengemas pangan terutama karena memiliki banyak keunggulan antara lain: fleksibel, ekonomis, kuat, berbobot ringan, tidak mudah pecah, bentuk laminasi yang dapat dikombinasikan dengan bahan kemasan lain dan sebagian ada yang tahan panas dan stabil. Besarnya permintaan terhadap plastik dan kertas bergantung kepada fluktuasi kebutuhan dari industri pemakai utamanya yaitu industri kemasan. Selama ini produk kemasan plastik dan kertas cenderung meningkat seiring dengan semakin besarnya konsumsi masyarakat. Saat ini kemasan plastik dan kertas masih menjadi bahan kemasan utama bagi industri makanan dan minuman karena praktis dan relatif murah.

Selain memiliki berbagai kelebihan tersebut, kemasan plastik mempunyai kelemahan yaitu bahan baku utama pembuatannya berasal dari minyak bumi yang keberadaannya semakin menipis dan tidak dapat diperbaharui. Selain itu plastik tidak dapat dihancurkan dengan cepat dan alami oleh mikroba penghancur di dalam tanah. Hal ini mengakibatkan terjadinya penumpukan limbah plastik dan menjadi penyebab

pencemaran dan kerusakan lingkungan hidup. Sedangkan untuk kemasan kertas juga memiliki kelemahan yang mana sumber bahan bakunya berasal ketersediaan kayu yang diperlukan reboisasi hutan dalam jangka waktu yang cukup lama untuk menghasilkan kayu kembali sedangkan kebutuhan kertas meningkat setiap tahunnya.

Produksi kertas masih bergantung pada ketersediaan kayu sebagai bahan baku utama pembuatan kertas. Saat ini konsumsi kertas di dunia sebanyak 394 juta ton dan diperkirakan tumbuh rata-rata 2,1 persen per tahun sehingga kebutuhan kertas dunia dapat mencapai 490 juta ton pada 2020 [1]. Di Indonesia, menurut Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia, produksi kertas pada tahun 2009 sebanyak 9,36 juta ton, dan meningkat menjadi 9,95 juta ton di tahun 2010. Peningkatan ini juga seiring dengan peningkatan laju deforestasi hutan Indonesia pada selang tahun 2000-2010 sebesar 498 ribu hektar/per tahun atau sebesar 0,5% per tahun [2]. Penelitian serat non kayu yang digunakan sebagai alternative pengganti kayu pada pembuatan kertas kini gencar dilakukan di seluruh dunia [3]. Salah satu solusi bahan pengganti kertas yang terbarukan adalah selulosa bakteri (SB) yang merupakan serat non kayu. SB dapat menjadi sumber yang sangat potensial mengingat ketersediaan yang melimpah, waktu produksi yang singkat, dan harga ekonomis serta ramah lingkungan.

Tidak seperti selulosa dari tanaman, SB secara kimiawi adalah murni dan bebas dari lignin dan hemi-selulosa. Hal ini merupakan keunggulan SB karena tidak perlu dilakukan proses penghilangan lignin dan hemiselulosa yang

membutuhkan bahan-bahan kimia yang tidak ramah lingkungan pada proses pembuatan pulp [4]. Selain itu, SB memiliki sifat fisika dan kimia unik yang jarang ditemukan pada selulosa yang terdapat pada tanaman seperti tingginya kekuatan tarik, kapasitas menahan air yang sangat baik, tingginya kristalinitas, serat yang sangat halus, dan tentunya memiliki struktur jaringan serat yang sangat murni, transparan, biokompatible, biodegradable, dan mudah dicetak.

Mengingat pemakaian material kertas selama ini terutama untuk bahan pengemas makanan, dan juga karena masa pakainya sangat singkat. Maka pengembangan material kertas sangat penting, mengingat ketersediaan cadangan selulosa dari kayu kita (hutan tropis) yang terus berkurang serta semakin tingginya tuntutan produk yang aman dan ramah lingkungan sehingga timbul pemikiran penggunaan bahan alternative untuk membuat material kertas yang ramah lingkungan.

Saat ini yang mungkin dikembangkan adalah penggunaan kertas yang dapat didegradasi oleh alam dan berbasis alami. Kertas juga merupakan suatu senyawa polimer yang bahan bakunya berasal dari tumbuhan terutama selulosa. Selulosa merupakan salah satu polimer alami (biopolimer) dari tanaman yang dapat digunakan untuk memproduksi material biodegradable karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah terdegradasi, ketersediaan yang besar, dan terjangkau.

Perkembangan terakhir di bidang teknologi pengemasan adalah suatu kemasan yang bersifat antimikroba dan antioksidan. Keuntungan utama kemasan tersebut adalah dapat bersifat seperti halnya bahan – bahan yang mengandung antiseptik seperti sabun, cairan pencuci tangan yaitu berfungsi untuk mematikan kontaminan mikroorganisme (kapang, jamur, bakteri) secara langsung pada saat mikroba kontak dengan bahan kemasan, sebelum mencapai bahan / produk pangan di dalamnya sehingga produk pangan tersebut menjadi lebih awet [5]. Di Indonesia penelitian dan pengembangan teknologi kemasan yang *biodegradable* masih sangat terbatas. Hal ini terjadi karena selain kemampuan sumber daya manusia dalam penguasaan ilmu dan teknologi bahan, juga dukungan dana penelitian yang terbatas. Dipahami bahwa penelitian dalam bidang ilmu dasar memerlukan waktu lama dan dana yang besar [6].

II. METODOLOGI PENELITIAN

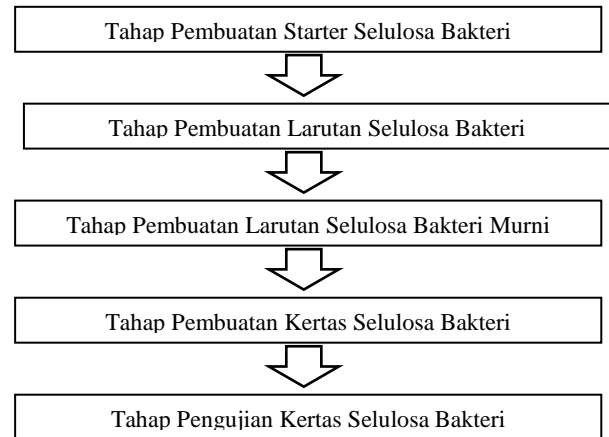
A. Bahan

Penelitian ini adalah penelitian yang bersifat eksperimental yang dilakukan di laboratorium yang sering disebut sebagai Experimental Research. Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah air kelapa, pupuk ZA, asam asetat glasial, glukosa, tapioca, kaolin, tawas dan bakteri acetobacter xylinum. Rancangan percobaan penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yaitu: 1) Tahap Pembuatan Starter Selulosa Bakteri, 2) Tahapan pembuatan selulosa bakteria, 3) Tahap pemurnian selulosa bakteria, dan 4) Tahap pembuatan kertas selulosa bakteria. Terakhir dilakukan pengujian karakteristik kertas selulosa bakteria.

B. Alat

1. Pengujian kuat tarik (Tensile Strangth, TS) dan persen perpanjangan patah (Elongation at Break, E%) lembaran film plastik yang didapat dengan menggunakan alat Computer Type Universal Testing Machine, MTS Type E43. Semua pengujian yang dilakukan menggunakan acuan Standard Method, ASTM-D638, [7], [8].

2. Pengujian morphology digunakan Scanning Elektron Microscopy JEOL, JSM-6510-LA Japan. Lembaran film plastik sebelum diuji perlu dicouting dengan lapisan tipis emas. Alat couting yang digunakan adalah JOEL, JFC-1600.
3. Untuk menguji dan analisa derajat aktivasi pati dalah *Fourier Transform Infra-Red* (FTIR)-Shimadzu..



Gambar 1. Tahapan pembuatan kertas selulosa bakteria

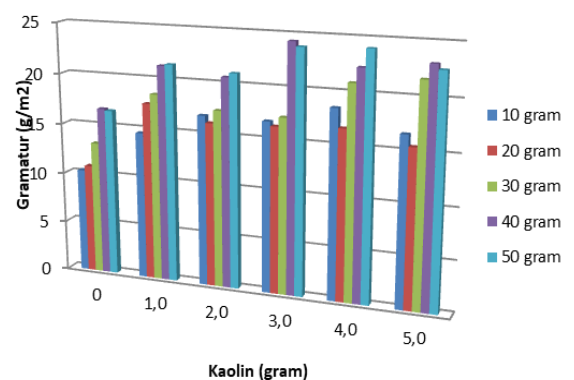
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Gramatur Kertas

Gramatur adalah nilai yang menunjukkan bobot kertas per satuan luas (g/m²). Penentuan gramatur kertas akan sangat berguna untuk menentukan kekuatan fisik kertas [9].

TABEL I
HASIL UJI GRAMATUR KERTAS SELULOSA BAKTERI

Berat Tapioka (gram)	Gramatur Kertas (g/m ²)					
	Berat Kaolin (gram)					
	0,0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
10 gram	10.3	14.59	16.81	16.77	18.52	16.61
20 gram	10.8	17.54	16.15	16.35	16.69	15.51
30 gram	13.16	18.5	17.41	17.25	20.9	21.64
40 gram	15.67	21.3	20.63	24.34	22.34	23.07
50 gram	16.54	21.47	21.04	23.87	24.08	22.57



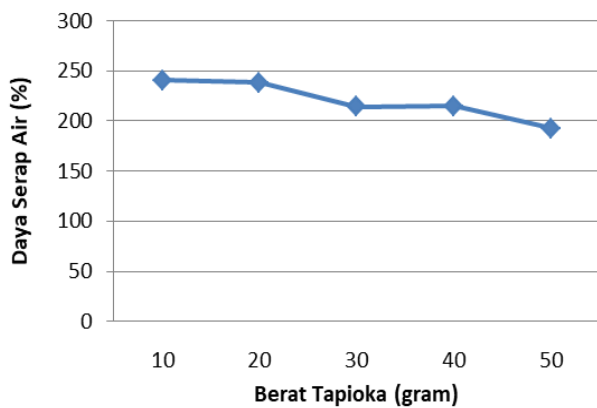
Gambar 2. Grafik hasil uji gramatur kertas

B. Uji Ketahanan Terhadap Air (Uji Swelling)

Uji ketahanan air adalah uji yang dilakukan untuk mengetahui seberapa besar daya serap air terhadap kertas yang dihasilkan dengan melakukan uji persen swelling [10]. Uji *Swelling* pada penelitian ini dilakukan pada hasil gramatur terbaik yaitu pada penambahan kaolin 3,0 gram saja dan dianggap bias untuk mewakili uji ini. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pada produk kertas terhadap air.

Tabel 2 Hasil Uji Ketahanan Terhadap Air

No	Tepung Tapioka (gram)	Berat Awal (gram)	Berat Akhir (gram)	Air yang diserap (gram)	Daya Serap Air (%)
1	10	1.832	6.241	4.409	240.666
2	20	2.083	7.041	4.958	238.022
3	30	2.422	7.602	5.580	275.964
4	40	2.844	8.948	6.104	214.627
5	50	3.239	9.466	6.227	192.251



Gambar 3. Grafik hasil uji ketahanan terhadap air

C. Uji Kuat Tarik

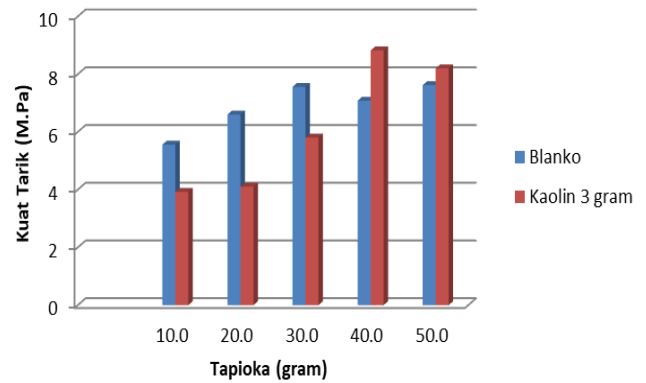
Sifat mekanis bioplastik dilihat dengan melakukan uji tarik. *Tensile strength* atau kuat tarik adalah kekuatan putus suatu bahan yang dihitung dari pembagian gaya maksimum yang mampu ditanggung bahan terhadap luas penampang mula-mula [11]. Tujuan melakukan uji tarik adalah untuk mengetahui kekuatan tarik kertas selulosa bakteri. Besarnya nilai kuat tarik dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\sigma = F_{maks} / A \tag{2}$$

Keterangan:

- σ = Kuat Tarik (MPa)
- F_{maks} = Tegangan maksimum (N)
- A = Luas penampang film yang dikenai tagangan (mm^2)

Kuat tarik adalah salah satu uji untuk mengetahui tegangan maksimum suatu bahan. Sifat mekanik kertas seperti kuat tarik dipengaruhi oleh komponen komponen penyusunnya hasil sintesis kertas pada variasi tapioka bisa dilihat gambar 4.



Gambar 4. Grafik kuat tarik untuk kaolin

Dari gambar 4. dapat diketahui pengaruh konsentrasi kaolin yang ditambahkan dalam pembuatan kertas selulosa bakteri, terlihat bahwa dengan adanya konsentrasi kaolin yang bertambah, kuat tarik kertas menjadi semakin berkurang atau cenderung menurun. Hal ini terjadi karena kaolin yang ditambahkan dalam komposisi penyusun kertas selulosa bakteri kurang menyisip kedalam struktur pati karena sudah jenuh (kebanyakan) dan kemudian juga ikatan hidrogen dalam pati berkurang dengan adanya pemutih tawas.



Gambar 5. Hasil kertas blanko

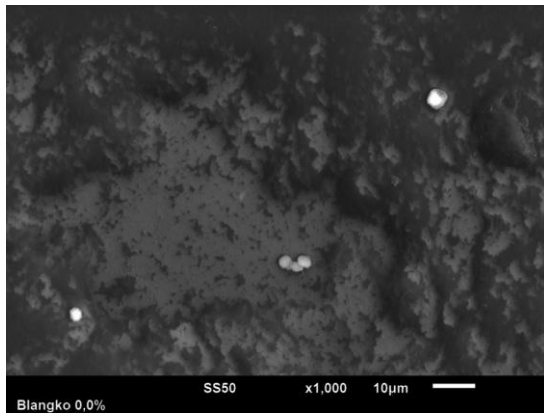
Penambahan tapioka dapat menurunkan kekuatan intermolekuler, mengurangi fleksibilitas kertas selulosa bakteri dan sifat barrier kertas. Hasil terbaik kuat tarik sebesar 8,82 Mpa terdapat pada sampel kertas dengan penambahan tapioka 40 gram dari larutan selulosa bakteri yang dibuat.



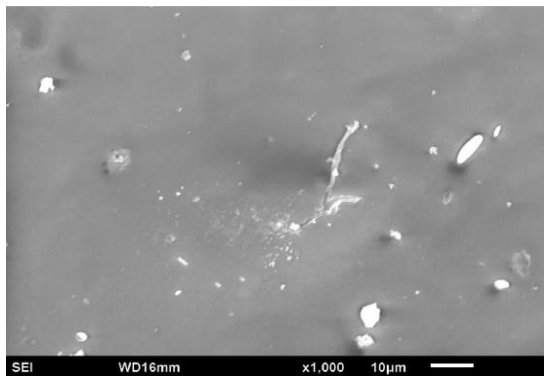
Gambar 6. Kertas dengan kaolin 3,0 gram

D. Uji morfologi film kemasan yang dihasilkan

Morfologi, higroskopisitas dan karakteristik mekanik kertas selulosa bakteri yang dihasilkan berkaitan erat dengan komposisi bahan penyusun seperti pati tapioka, kaolin dan sedikit tawas sebagai pemutih. Pengaruh konsentrasi kaolin yang ditambahkan terhadap morfologi kertas selulosa bakteri yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 7. Hasil Scanning Elektron Microscopy (SEM) tanpa kaolin (blangko)



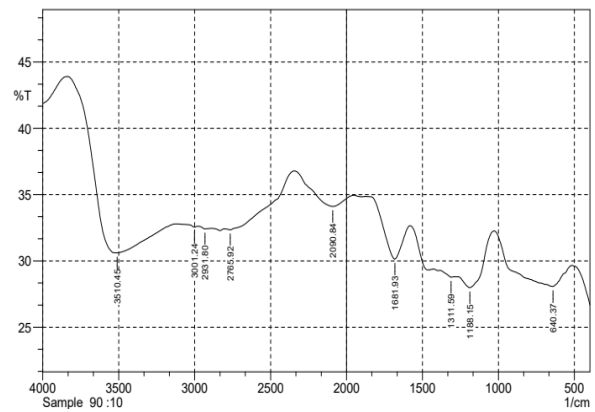
Gambar 8. Hasil SEM pada tapioka 40 gram dan kaolin 3,0 gram

Secara visual salah satu hasil scanning elektron microscopy kertas selulosa bakteri dari komposisi optimum yakni tapioka 40 gram dan kaolin 3,0 gram yang ditambahkan terlihat bahwa tampak tidak porous dan tampak jauh lebih halus dengan distribusi bahan yang lebih merata, tidak terdapat retak maupun gelembung udara.

Bila diperhatikan lagi morfologi kertas selulosa bakteri yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 8, ada sejumlah pati tapioka yang menggumpal ini dikarenakan terjadi pati tersebut tidak habis larut disebabkan oleh pengaruh kondisi temperatur pengadukan pada saat kertas selulosa bakteri dibuat pada saat.

E. Uji Gugus Fungsi

Analisa *Fourier Transform Infrared (FT-IR)* digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terbentuk dari sampel yang dihasilkan dan juga memprediksi reaksi polimerisasi yang terjadi. Analisa ini didasarkan pada analisis dari panjang gelombang puncak-puncak karakteristik dari suatu sampel. Panjang gelombang puncak-puncak tersebut menunjukkan adanya gugus fungsi tertentu yang ada pada sampel, karena masing-masing gugus fungsi memiliki puncak karakteristik yang spesifik untuk gugus fungsi tersebut.



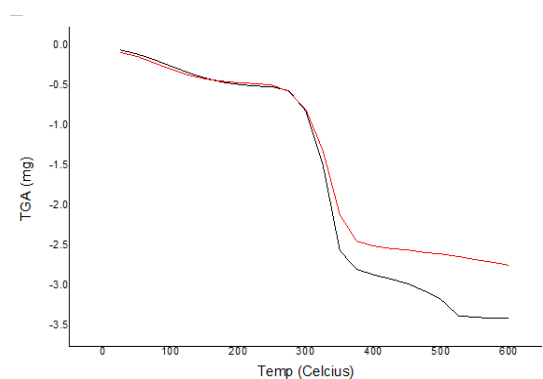
Gambar 9. Grafik Hasil Uji Analisa FTIR kertas selulosa bakteri

Menurut data spektra pada Gambar 3. Spektra dari kertas selulosa bakteri dengan penambahan kaolin menghasilkan spektra yang hampir mirip dengan komponen penyusunnya yakni pati tapioka. Kertas bersifat hidrofil karena gugus fungsi plastik sama dengan komponen penyusunnya yakni pati selulosa. Maka yang terjadi adalah proses blending secara fisika dan adanya gugus C=O karbonil dan C-O ester menjadikan kertas bersifat ramah lingkungan (biodegradable).

Intensitas gugus OH karboksil pada bahan utama yakni larutan selulosa bakteri lebih besar dibanding dengan pati tapioka. Hal ini yang mengakibatkan pati tapioka yang menyisip ke dalam rantai polimer larutan selulosa bakteri. Akibatnya intensitas OH karboksil antar molekul yang terjadi semakin membesar dibanding dengan bahan utamanya larutan selulosa bakteri. Kertas selulosa bakteri dengan penambahan kaolin memiliki intensitas OH karboksil yang lebih besar jika dibandingkan dengan bioplastik yang tanpa penambahan kaolin. Hal ini disebabkan karena adanya gugus OH karboksil yang hanya ada pada larutan selulosa bakteri.

F. Uji Termogravimetri Analisis (TGA)

Termogravimetri Analisis (TGA) dilakukan untuk mengetahui ketahanan thermal dari kertas selulosa bakteri ketika dipanaskan dari suhu 40°C sampai dengan suhu mencapai 600°C. Termogravimetri Analisis (TGA) terjadi perubahan berat sampel selama proses analisa dilakukan. Hal ini dikarenakan sampel akan terbakar pada saat mencapai suhu tertentu. Proses kehilangan berat massa pada sampel terjadi karena proses dekomposisi yaitu proses pemutusan ikatan kimia.



Gambar 10. Grafik hasil uji termogravimetri (TGA) kertas blangko dan kertas dengan penambahan kaolin 3,0 gram (merah)

Gambar 3 grafik analisa termogravimetri analisis (TGA) pada kertas selulosa bakteri pada penambahan kaolin 3,0 gram (merah) dengan tanpa penambahan kaolin (blangko)

Pada gambar 3 grafik hasil analisa termogravimetri analisis (TGA) pada kertas selulosa bakteri pada suhu 387,86 °C terdekomposisi 9.130 mg dan masih bersisa 1.13 mg. Perubahan thermogram TGA terjadi karena perubahan panas pada bioplastik tetapi juga oleh terjadinya reaksi perubahan struktur dan perubahan fasa kertas selulosa bakteri tersebut. Maka dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi berat sisa yang terdekomposisi maka semakin bagus pula ketahanan thermal kertas selulosa bakteri tersebut.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat diambil kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Proses pembuatan kertas selulosa mikrobial mengadaptasi proses pembuatan kertas menggunakan selulosa kayu. Namun, proses ini tidak memerlukan proses delignifikasi yang umumnya terdapat pada proses pembuatan kertas dari selulosa kayu.
2. Kertas selulosa mikrobial yang dihasilkan mempunyai karakteristik nilai gramatur dan nilai kuat tarik sebesar 10,3-23,34 g/m² dan 3,92-8,82 Nm g-1.. Sedangkan daya serap air kertas bagian atas dan bagian bawah adalah maksimal 240,88%.
3. Kuat tarik maksimum kertas selulosa bakteri yang terbaik dengan penambahan tapioca 40 gram dan kaolin 3,0 gram sebesar 8,82 MPa.
4. Kertas selulosa bakteri bersifar hidrofili atau tidak tahan terhadap air dan gugus fungsi kertas selulosa bakteri yang dihasilkan sama dengan komponen penyusunnya yakni pati tapioka.
5. Pada sintesa kertas selulosa bakteri yang terjadi adalah proses blending secara fisika dan adanya gugus C=O karbonil dan C-O ester menjadikan plastik bersifat ramah lingkungan (biodegradable).

REFERENSI

[1] Perindustrian, D. (2017) _Tata nama kertas dan karton di Indonesia (bagian 1)_, *Departemen Perindustrian 2017*, SII 0658-8.

[2] FAO Year Book (2010) _Forest Products 2006-2010_, *FAO 2010*.

[3] Ververis, C. *et al.* (2004) _Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production_, *Industrial Crops and Products*, 19(3), pp. 245-254. doi: 10.1016/j.indcrop.2003.10.006.

[4] Czaja W, Krystynowicz S, Bielecki RM, Brown Jr (2006) Microbial cellulose - The natural power to heal wounds.

[5] Firdaus F. dan C. Anwar, 2004. Potensi Limbah Padat-cair Industri Tepung Tapioka sebagai Bahan Baku Film Plastik Biodegradable. *Jurnal Logika*. 1 (2): 38-44.

[6] Khairunnisa, S. (2016). Pengolahan Limbah Styrofoam menjadi Produk Fashion. *E-Proceeding of Art and Design*, 3(2), 253-268

[7] ASTM International: Standard test methods for tensile properties of thin plastic sheeting.

[8] Annual book of ASTM Philadelphia: American Society for Testing and Materials, D882-02; 1991.

[9] BSN (1989c) SNI 14 - 0439 - 1989. Cara Uji Gramatur dan Densitas Kertas dan Karton. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[10] BSN (1989a) SNI 14 - 0499 - 1989. Cara Uji Daya Serap Air Kertas dan Karton. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

[11] Annual Book of ASTM D 638 - 02. 2002. Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, New York, USA.

[12] Brown, R. M., Willison, J. H. and Richardson, C. L. (1976) _Cellulose biosynthesis in Acetobacter xylinum: visualization of the site of synthesis and direct measurement of the in vivo process., *Proceedings of the National Academy of Sciences*. doi: 10.1073/pnas.73.12.4565.

[13] Campano, C. *et al.* (2018) _In situ production of bacterial cellulose to economically improve recycled paper properties_, *International Journal of Biological Macromolecules*.doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.06.201.

[14] Chao, Y. *et al.* (2000) _Bacterial cellulose production by Acetobacter xylinum in a 50-L internal-loop airlift reactor_, *Biotechnology and Bioengineering*. doi: 10.1002/(SICI)1097-0290(20000505)68:3<345::AID-BIT13>3.0.CO;2-M.

[15] Cheng, K. C., Catchmark, J. M. and Demirci, A. (2009) _Effect of different additives on bacterial cellulose production by Acetobacter xylinum and analysis of material property_, *Cellulose*.doi: 10.1007/s10570-009-9346-5.

[16] Esa, F., Tasirin, S. M. and Rahman, N. A. (2014) _Overview of Bacterial Cellulose Production and Application_, *Agriculture and Agricultural Science Procedia*.doi: 10.1016/j.aaspro.2014.11.017.

[17] Esin Poyrazoğlu Çoban (2011) _Evaluation of different pH and temperatures for bacterial cellulose production in HS (Hestrin-Schramm) medium and beet molasses medium_, *African Journal of Microbiology Research*.doi: 10.5897/AJMR11.008.

[18] Hoenich, N. (2006) _Cellulose for Medical Applications past, present, and future.pdf_, *BioResources*.doi: 10.15376/biores.1.2.270-280.

[19] Luo, H. *et al.* (2019) _Fabrication of flexible, ultra-strong, and highly conductive bacterial cellulose-based paper by engineering dispersion of graphene nanosheets_, *Composites Part B: Engineering*. doi: 10.1016/j.compositesb.2019.01.027.

[20] Moon, R. J. *et al.* (2011) _Cellulose nanomaterials review: Structure, properties and nanocomposites_, *Chemical Society Reviews*. doi: 10.1039/c0cs00108b.

[21] Santos, S. M. *et al.* (2015) _Characterization of purified bacterial cellulose focused on its use on paper restoration_, *Carbohydrate Polymers*. doi: 10.1016/j.carbpol.2014.03.064.

[22] Yoshinaga, F., Tonouchi, N. and Watanabe, K. (1997) _Research Progress in Production of Bacterial Cellulose by Aeration and Agitation Culture and Its Application as a New Industrial Material_, *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 61(2), pp. 219-224. doi: 10.1271/bbb.61.219.