

Pengaruh Penambahan *Carboxymethyl Cellulose* Terhadap Sifat Mekanik dan Biodegradasi Plastik *Biodegradable* Berbasis Selulosa Bakteri – PolietilenGlikol dari Air Kelapa (*Cocosnucifera*)

Juniyas Aditia¹, Ananda Putra^{*2}

^{1,2}Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang
Jl. Prof. Hamka Air Tawar Padang, Indonesia

anandap@fmipa.unp.ac.id

Abstract— Biodegradable plastics are plastics that are easily degraded by microorganisms. This study aimed to determine the effect of adding Carboxymethyl Cellulose additives to biodegradable plastics based on PEG bacterial cellulose from coconut water (*Cocos nucifera*) to determine the physical, mechanical and biodegradable properties of the plastic. This study used 14% polyethylene glycol 400 as a plasticizer with variations in the mass of Carboxymethyl Cellulose, namely 2 g, 4 g, 6 g, and 8 g. The results of testing the physical properties obtained are the value of % water content and the degree of swelling increases with the addition of Carboxymethyl Cellulose mass. The maximum result from testing the mechanical properties obtained is the addition of Carboxymethyl Cellulose 6 g with a tensile strength value of 101.05 MPa, elasticity 2544.83 MPa, and elongation of 13.78%. In the biodegradation test carried out by burial for 15 days, it was found that the more Carboxymethyl Cellulose added to the plastic biodegradation ability increased. The characteristics of functional groups using FTIR shows that no new functional groups formed, and the results of the characteristic degree of crystallinity on biodegradable plastics showed that pure SB was 83.75%, SBPEG was 70.68%, and SBPEG-C 6 g was 74, 20%.

Keywords: *Bacterial Cellulose, Biodegradable Plastic, Carboxymethyl Cellulose, Coconut Water, PEG.*

I. PENGANTAR

Plastik merupakan salah satu bahan yang paling banyak digunakan di dunia. Plastik menambah kenyamanan, kemudahan, dan keamanan bagi kehidupan masyarakat[1]. Meningkatnya penggunaan plastik telah mempengaruhi pada pertumbuhan ekonomi yang pesat dalam beberapa dekade terakhir. Hal ini karena bahan plastik yang ringan dan mudah dibentuk, sehingga dapat digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Namun, daya tahan plastik yang tinggi sehingga sulit untuk didegradasi menjadi masalah serius bagi lingkungan[2].

Upaya dalam mengatasi masalah lingkungan yang terjadi, maka dikembangkan bahan kemasan plastik *biodegradable* yang mudah diurai oleh mikroorganisme. Perkembangan plastik *biodegradable* telah menjadi tren dunia untuk mencegah kerusakan lingkungan[3]. Biodegradasi plastik bisa dicapai melalui sejumlah metode seperti biodegradabilitas polimer yang menggunakan produk plastik dapat ditingkatkan dengan mencampurkan dengan zat alami (bahan) seperti pati, kitin, atau selulosa[4].

Salah satu bahan yang dapat digunakan sebagai dasar pengembangan plastik *biodegradable* adalah berbahan dasar

polisakarida. Salah satu polisakarida yang digunakan yaitu selulosa. Selulosa yang berasal dari mikroorganisme disebut dengan selulosa bakteri (SB) [5].

Selulosa bakteri (SB) adalah nanomaterial alami yang diproduksi sebagai *exopolysaccharide* oleh beberapa bakteri yang dibudidayakan dalam medium dengan sumber karbon dan nitrogen [6]. Bakteri penghasil selulosa yang digunakan adalah *Acetobacter xylinum* (*A. xylinum*)[7]. Air kelapa dapat digunakan sebagai media substrat untuk pertumbuhan *A. xylinum* dan menghasilkan SB [8]. Air kelapa asering digunakan sebagai medium untuk pertumbuhan bakteri. Air kelapa adalah bagian berair yang mengandung gula, ion anorganik, vitamin, asam amino, dan fitohormon yang cocok untuk pertumbuhan bakteri[9].

Plastik berbahan dasar SB belum dapat menggantikan plastik yang ada saat ini karena kekuatannya yang masih rendah. Oleh karena itu diperlukan modifikasi atau penambahan bahan lainnya seperti plastisizer. Plastisizer merupakan bahan aditif yang berfungsi untuk meningkatkan ketahanan dari suatu material. Plastisizer yang digunakan yaitu Polietilenglikol (PEG). PEG adalah contoh plastik yang

tidakberacun, biokompatibel, tidakimunogenik, non antigenik dan *biodegradable*[10].

Cara meningkatkan ketahanan plastik, maka dilakukan penambahan zat aditif. Zat Aditif yang digunakan yaitu *Carboxymethyl Cellulose* (CMC). CMC adalah salah satu turunan selulosa yang memiliki sifat *biodegradable* dan tidak berbahaya. CMC digunakan dalam aplikasi industri yang berbeda seperti dalam makanan industri sebagai pengental dan pengikat, dalam industri minyak sebagai pelumas untuk produksi minyak, dan dalam industri kosmetik sebagai *stabilizer*[11].

Berdasarkan uraian di atas guna meningkatkan pemanfaatan air kelapa menjadi plastik *biodegradable* dan melanjutkan penelitian terdahulu, untuk itu penulis ingin melakukan penelitian tentang “Pengaruh Penambahan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) Terhadap Sifat Mekanik Dan Biodegradasi Plastik Biodegradable Berbasis Selulosa Bakteri –Polietilen Glikol (PEG) Dari Air Kelapa (*Cocosnucifera*)”.

II. METODE PENELITIAN

A. Alat

Peralatan yang digunakan dikelompokkan jadi dua yaitu untuk preparasi sampel dan karakterisasi. Alat untuk preparasi sampel adalah gelas laboratorium, wadah plastik ukuran 24x17x4 cm, panci pemasak, kompor, kain lap, koran, tisu gulung, saringan, karet, pengaduk, pisau, gunting, kertas pH, neraca analitik, dan oven. Peralatan untuk karakterisasi adalah alat Uji Tarik (*Universal TensileStrength*), alat FTIR, dan XRD.

B. Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan meliputi air kelapa tua dari limbah penjual santan di Rawang Tunggul Hitam, inokulum *Xylinum* (Nata de coco lima bersaudara Siteba), Sukrosa, Asam Asetat, Pupuk Urea, Air, PEG 400 14%, NaOH 2% (Novalindo), dan CMC (Koepoe-koepoe).

C. Prosedur Kerja

1. Pembuatan medium

Pembuatan medium air kelapa tua dilakukan secara aseptis dengan memasukkan air kelapa tua sebanyak 600 mL, 60 gram gula, 6 gram urea dan di panaskan hingga mendidih, lalu tambahkan 12 mL asam asetat kemudian menambahkan plastisizer Polietilen Glikol (PEG) 400 14% sebanyak 10 mL dan CMC yang divariasikan kedalam panci. Medium dipanaskan sampai mendidih. Medium yang telah mendidih dipindahkan pada wadah plastik yang selanjutnya ditutup menggunakan kertas koran yang sudah disterilisasi terlebih dahulu. Kemudian medium dibiarkan sampai suhu kamar.

2. Pembuatan selulosa bakteri PEG (SBPEG-C)

Medium-medium fermentasi didinginkan pada suhu kamar di dalam wadah plastik, diinokulasikan dengan starter *A. Xylinum* dengan perbandingan 10:1 (%v/v). Pada saat inokulasi, wadah tidak boleh digoyang dan

difermentasikan pada suhu kamar sampai terbentuk selulosa bakteri sekurang-kurangnya 0,5 cm.

3. Pencucian dan pemurnian selulosa bakteri (SBPEG-C)

Selulosa bakteri yang telah terbentuk dicuci dengan aliran air dalam waktu +/- 24 jam, selanjutnya direndam dengan NaOH 2% (%w/v) dalam waktu +/- 24 jam. Setelah itu dicuci lagi dengan air mengalir sampai bersih. Proses pembersihan dilakukan agar selulosa bakteri yang sudah terbentuk tidak menjadi bau dan busuk karna tumbuhnya jamur. Selulosa bakteri berhasil ditandai dengan terbentuknya lembaran tebal berwarna putih, tidak berjamur, tidak berlubang, dan tidak terdapat terdapat bercak hitam pada selulosa bakteri-PEG.

4. Pembuatan lembaran plastik SBPEG-C

Selulosa bakteri PEG yang sudah dimurnikan kemudian dipotong sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan lalu di oven dengan suhu 105°C selama 60 menit. Lembaran selulosa bakteri PEG plastik siap untuk dikarakterisasi.

5. Karakterisasi plastik *biodegradable*

a. Uji kuat tarik

Tensile strength dihitung dengan memakai alat *Tensile Strength Industries model SSB 0500*. Analisis kuat tarik plastik dilakukan melalui data yang diperoleh dari alat tensometer.

Besarnya kuat tarik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma_t = \frac{F_{maks}}{A_o}$$

Dimana:

F maks = Gaya yang diberikan alat (N)

Ao = Luas penampang (mm²)

σt = Kuat tarik (MPa)

b. Uji kuat putus (*elongasi*)

Pengukuran kuat putus menggunakan cara yang sama dengan pengujian *Tensile strength*. *Elongasi* dinyatakan dalam persentase, dihitung dengan memakai persamaan berikut:

$$\% \text{ Elongasi} = \frac{\text{regangan saat putus (mm)}}{\text{panjang awal (mm)}} \times 100\%$$

c. Uji Elastisitas (*Modulus Young*)

Elastisitas plastik *biodegradable* dilihat dari uji kuat tarik dan pemanjangan sampel. Elastisitas dapat dihitung dengan cara:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Dimana:

E = *Modulus Young* (MPa)

σ = Kuat Tarik

ε = Persen Pemanjangan

d. Uji biodegradasi

Analisis biodegradasi terhadap lembaran plastik SB dilakukan dengan menguburkan lembaran plastik di

dalam tanah dengan ukuran 5 x 5 cm pada kedalaman tanah 15 cm. Proses pengukuran dilakukan selama 15 hari. Sebelum dikubur, plastik ditimbang massanya, kemudian dikubur di dalam tanah selama 15 hari dengan interval penimbangan setiap 3 hari. Plastik yang terurai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ biodegradasi} = \frac{m - m_o}{m} \times 100\%$$

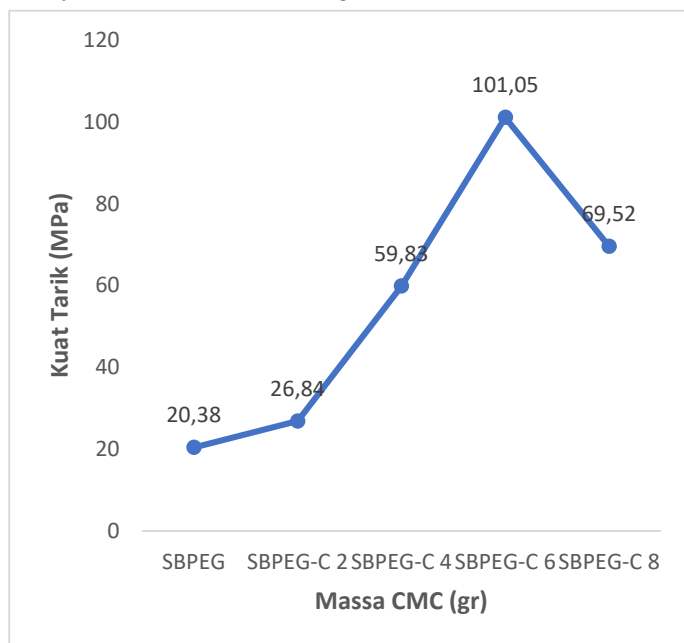
Dimana:

m = Massa sampel sebelum dikubur

mo = Massa sampel setelah dikubur

III. PEMBAHASAN

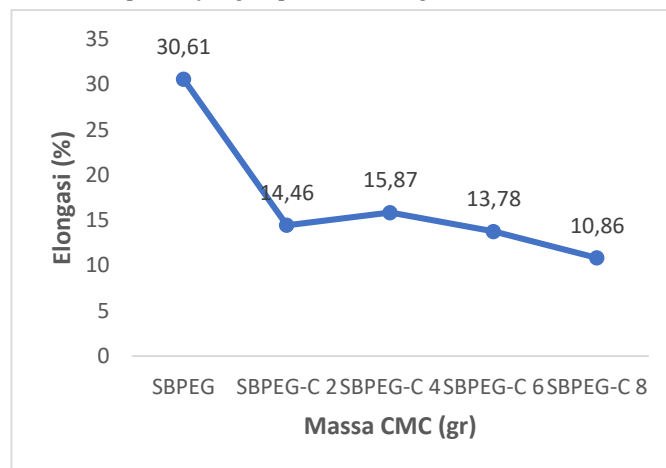
A. Uji kuat tarik (Tensile Strength)



Gambar 1. Grafik Uji Kuat Tarik SBPEG-C

Berdasarkan Gambar 1, dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan seiring dengan bertambahnya konsentrasi CMC. Hal ini terjadi karena penambahan CMC mengandung gugus hidroksil (-OH), gugus hidroksil pada molekul CMC dapat berikatan dengan gugus hidroksil pada PEG[12]. Nilai kuat tarik tertinggi pada penambahan massa CMC 6 gr sebesar 101,85 MPa. Terjadi penurunan kuat tarik pada variasi 8 gr disebabkan karena adanya penambahan CMC yang hampir mencapai setengah berat campuran sehingga proses pencampuran kurang homogen. Proses pencampuran yang kurang homogen dapat menyebabkan distribusi molekul komponen penyusun plastik tidak merata, sehingga material yang dihasilkan tidak memiliki ketahanan yang lebih bagus terhadap pemberian beban[13]. Berdasarkan pengujian kuat tarik, maka didapatkan plastik dengan kualitas yang terbaik pada plastik SBPEG-C 6 gr dan digunakan pada uji gugus fungsi (FTIR) dan kristanilitas (XRD).

B. Persen pemanjangan plastik biodegradable

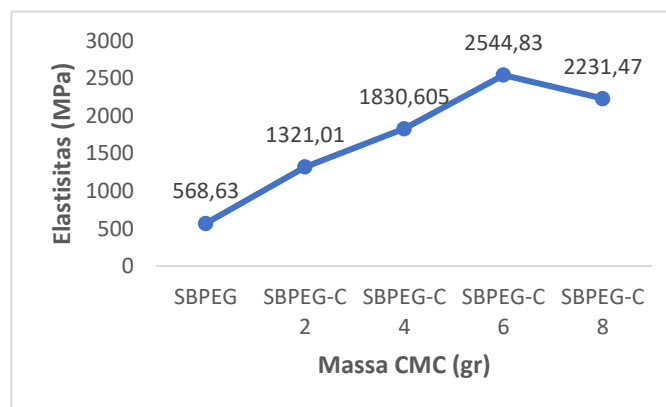


Gambar 2. Grafik Uji Elongasi SBPEG-C

Berdasarkan gambar 2, dapat dilihat bahwa penggunaan CMC dalam jumlah yang lebih besar akan meningkatkan kemampuan mengikat air yang lebih baik sehingga matriks gel dapat menurunkan persen pemanjangan dari plastik. Penurunan nilai elongasi ini dikarenakan CMC memiliki gel strength yang tinggi[14]. Nilai *elongasi* menurun sebanding dengan penambahan massa CMC, nilai *elongasi* berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik[15]. Kecilnya gaya interaksi molekul ini akan membuat susunan kimia dari plastik semakin rapat sehingga plastik mudah sobek jika diberikan beban.

Gugus OH pada CMC akan lebih mudah berikatan dengan gugus OH pada PEG yang memungkinkan akan semakin rapat seiring peningkatan konsentrasi CMC dan meningkatkan nilai kuat tariknya namun akan menurunkan nilai persen pemanjangan karena hanya terdapat sedikit ruang kosong pada susunan kimia plastik[16]. Nilai *elongasi* tertinggi pada penambahan massa CMC 0 gr sebesar 30,61% dan nilai terendah pada CMC 8 gr sebesar 10,86%.

C. Elastisitas

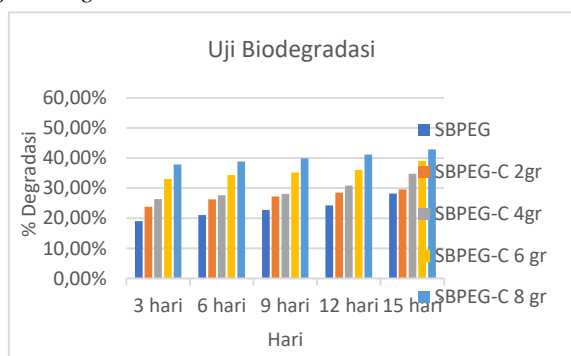


Gambar 3. Grafik Uji Elastisitas SBPEG-C

Dapat dilihat dari gambar 3, dapat dilihat bahwa nilai elastisitas semakin tinggi seiring dengan bertambahnya massa CMC yang ditambahkan. Semakin tinggi nilai peregangan plastik, semakin baik kekuatannya dalam menahan tekanan

atau tarikan sehingga tidak mudah sobek[17]. Nilai elastisitas dipengaruhi oleh banyak polimer yang ditambahkan, dimana semakin banyak massa CMC yang ditambahkan maka nilai elastisitas akan semakin besar[18]. Nilai elastisitas berbanding lurus dengan nilai kuat tarik dan berbanding terbalik dengan *elongasi*. Dapat dilihat dari gambar 13, nilai elastisitas tertinggi pada penambahan massa CMC 6 gr sebesar 2544,83 MPa.

D. Uji biodegradasi

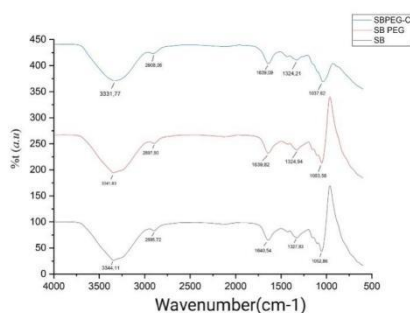


Gambar 4. Uji Biodegradasi SBPEG-C

Berdasarkan gambar 4, dapat dilihat plastik *biodegradable* yang terdegradasi ditandai dengan mengalami kerusakan dan pengurangan massa setelah penguburan. Plastik *biodegradable* mudah terdegradasi karena mengandung gugus hidroksil (OH) dan karboksil (CO) yang mudah terdegradasi di alam[19]. Dapat dilihat dari grafik diatas semakin banyak CMC yang ditambahkan semakin cepat plastik tersebut terdegradasi. Kenaikan berat pada bioplastik, ini disebabkan karena tanah yang digunakan sebagai media penguburan cukup lembab, sehingga terjadi proses penyerapan air dari tanah kebioplastik. pada tahap ini berat bioplastik meningkat dan bioplastik sedikit mengembang. Penambahan berat bioplastik dapat disebabkan karena bioplastik yang menyerap molekul air pada tanah[20].

Hal ini disebabkan karena CMC yang memiliki sifat hidrofilik, yang mana kemampuan terurainya suatu plastik berkaitan dengan kemampuan menyerap air. Semakin banyak air suatu material maka semakin mudah terdegradasi. Air ialah media bagi sebagian besar bakteri dan mikroba terutama yang ada di dalam tanah. Sehingga kandungan air mengakibatkan plastik menjadi lebih mudah terdegradasi[21].

E. Karakteristik gugus fungsi (FTIR)



Gambar 4. Spektrum FTIR SB,SBPEG,SBPEG-C 6 gr

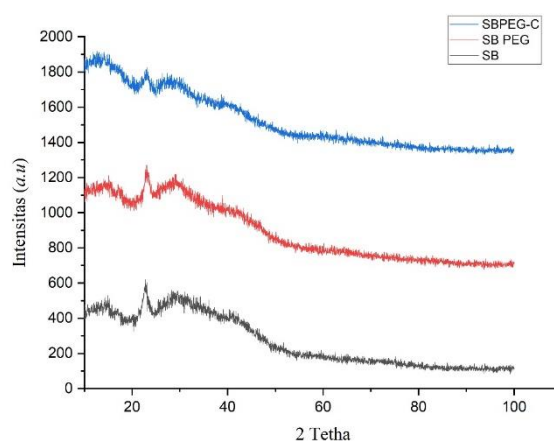
Dari gambar 5, dapat dikarakteristik gugus fungsi yang terdapat pada SB, SBPEG, dan SBPEG-C 6 gr yaitu gugus OH di bilangan gelombang antara 3500-3200 cm⁻¹, ikatan C-H di bilangan gelombang antara 3000-2840 cm⁻¹, ikatan C=C di bilangan gelombang antara 1675-1500 cm⁻¹, ikatan C-O (ikatan β-glikosidik) di bilangan gelombang antara 1500-1000 cm⁻¹[22].

Berdasarkan pengujian karakteristik gugus fungsi menggunakan FTIR ini menunjukkan tidak adanya gugus fungsi baru yang terbentuk, tetapi hanya mengalami pergeseran gugus fungsi. Pergeseran gugus fungsi ini disebabkan karena adanya penambahan PEG dan juga penambahan CMC pada SB. Hal ini menunjukkan pada proses pembuatan bioplastik yang disertai penambahan zat aditif merupakan proses *blending* secara fisika karna tidak ditemukan gugus fungsi baru[23]. Adapun puncak-puncak yang muncul dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

TABEL 1. BILANGAN GELOMBANG PUNCAK SPEKTRASB,SBPEG, SBPEG-C 6 GR

Sampel	Puncak (cm ⁻¹)			
	O-H	C-H	C=C	C-O
SB	3342,35	2896,63	1640,67	1053,26
SBPEG	3342,26	2898,26	1640,55	1054,06
SBPEG-C	3333,79	2910,36	1639,59	1038,11

F. Karakteristik kristanilitas (XRD)



Gambar 5. Difraktogram XRD SB,SBPEG,SBPEG-C 6 gr

Berdasarkan gambar 6, dapat dilihat difraktogram plastik *biodegradable* dari air kelapa tanpa penambahan *carboxymethyl cellulose* menunjukkan material yang berbentuk amorf dan kristalin, hasil ini sesuai dengan penelitian Maneking [24] plastik *biodegradable* berbentuk material

semikristalin yaitu material terdiri dari unit kristalin dan amorf.

TABEL2.
PERSENTASE KRISTALIN SB, SBPEG, SBPEG-C 6 GR

Sampel	Intensitas Tertinggi	Puncak 2θ	Height [cts]	Low [cts]	% Kristalinitas
SB	100	22.91	137.25	22.29	83,75 %
SBPEG	100	22.90	123.66	36.25	70,68 %
SBPEG-C	100	23,08	76,81	19,81	74,20 %

Berdasarkan perhitungan derajat kristalinitas pada plastik *biodegradable* didapatkan derajat kristalinitas plastik SB murni sebesar 83,75%, hal ini SB murni memiliki struktur amorf sebesar 16,25%. Untuk derajat kristalinitas SBPEG sebesar 70,68% dan struktur amorf nya sebesar 29,32%. Dan untuk derajat kristalinitas SBPEG-C 6 gr sebesar 74,20% dan struktur amorf nya sebesar 25,80%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan *carboxymethyl cellulose* menaikkan derajat kristalinitas plastik *biodegradable*. Derajat kristalinitas akan mempengaruhi daya degradasi plastik *biodegradable* dan kuat tarik plastik *biodegradable*. Pada biodegradasi plastik, semakin tinggi nilai derajat kristalinitas menyebabkan plastik sulit terdegradasi[24]. Hal ini sesuai dengan pernyataan Rohaeti[25] bagian amorf pada plastik *biodegradable* akan mudah terdegradasi, karena bagian amorf akan mudah diserang oleh mikroorganisme pengurai dalam tanah. Bagian amorf dari polimer merupakan bagian yang kurang teratur, selain itu amorf lebih banyak mengandung gugus fungsi yang berperan sebagai substrat dari pada kristalin.

Sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Moeljopawiro[26] menjelaskan bahwa semakin tinggi derajat kristalinitas maka nilai kuat tarik juga akan semakin tinggi. Hal ini juga terlihat dari hasil penelitian saat ini yang mana nilai kuat tarik plastik SBPEG-C 6 gr lebih tinggi daripada nilai kuat tarik plastik SBPEG.

IV. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan sebagai berikut:

1. Pengaruh penambahan zat aditif *carboxymethyl cellulose* pada SBPEG terhadap pengujian biodegradasi didapatkan hasil pada penguburan selama 15 hari terdegradasi lebih dari 40% yang mana semakin banyak *carboxymethyl cellulose* yang ditambahkan, kemampuan biodegradasi plastik semakin meningkat. Inijauh lebih baik dari pada plastik dari bahan sintesis yang bisa mencapai puluhan tahun. Karakteristik FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi pada SBPEG-C, namun tidak ditemukan gugus baru. Pada karakteristik kristalinitas menunjukkan persentase derajat kristalinitas plastik SBPEG-C lebih tinggi dari pada plastik SBPEG.

2. Kualitas plastik SBPEG-C terbaik didapatkan pada penambahan CMC 6 gr dengan nilai *tensile strength* dan elastisitas sebesar 101,05MPa dan 2544,83MPa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih pada Departemen Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang yang telah mengizinkan dan memberikan fasilitas Laboratorium Kimia dalam penyelesaian penelitian ini. Terimakasih kepada Bapak Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D selaku pembimbing dan Bapak Dr. Hardeli, M.Si dan Bapak Hary Sanjaya, S.Si., M.Si selaku penguji skripsi.

REFERENSI

- [1] C. Wang, L. Zhao, M. K. Lim, W. Q. Chen, and J. W. Sutherland, "Structure of the global plastic waste trade network and the impact of China's import Ban," *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 153, no. March 2019, p. 104591, 2020, doi: 10.1016/j.resconrec.2019.104591.
- [2] K. R. Vanapalli *et al.*, "Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic," *Sci. Total Environ.*, vol. 750, p. 141514, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141514.
- [3] B. A. Harsojuwono, I. W. Arnata, and S. Mulyani, "Biodegradable Plastic Characteristics of Cassava Starch Modified in Variations Temperature and Drying Time," *J. Chem. Process Eng. Res.*, vol. 49, pp. 1–5, 2017.
- [4] S. M. Al-Salem *et al.*, "Thermal response and degressive reaction study of oxo-biodegradable plastic products exposed to various degradation media," *Int. J. Polym. Sci.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/9612813.
- [5] H. Sadeghifar, R. Venditti, J. Jur, R. E. Gorga, and J. J. Pawlak, "Cellulose-Lignin Biodegradable and Flexible UV Protection Film," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 625–631, 2017, doi: 10.1021/acssuschemeng.6b02003.
- [6] H. M. C. Azeredo, H. Barud, C. S. Farinas, V. M. Vasconcellos, and A. M. Claro, "Bacterial Cellulose as a Raw Material for Food and Food Packaging Applications," *Front. Sustain. Food Syst.*, vol. 3, no. February, 2019, doi: 10.3389/fsufs.2019.00007.
- [7] N. Chunshom, P. Chuysinuan, S. Techasakul, and S. Ummartyotin, "Dried-state bacterial cellulose (Acetobacter xylinum) and polyvinyl-alcohol-based hydrogel: An approach to a personal care material," *J. Sci. Adv. Mater. Devices*, vol. 3, no. 3, pp. 296–302, 2018, doi: 10.1016/j.jsamd.2018.06.004.
- [8] P. D. Kasi, E. P. Tenriawaru, and R. Ridwan, "Bacterial Cellulose Production from Combination of Coconut Water and Sago Wastewater," *Proc. Int. Conf. Nat. Soc. Sci.*, no. September, pp. 33–37, 2019, doi: https://doi.org/10.30605/iconss.44.
- [9] N. E. Mohamad *et al.*, "Dietary coconut water vinegar for improvement of obesity-associated inflammation in high-fat-diet-treated mice," *Food Nutr. Res.*, vol. 61, no. 1, 2017, doi: 10.1080/16546628.2017.1368322.
- [10] R. F. Faradilla, G. Lee, P. Sivakumar, M. Stenzel, and J. Arcot, "Effect of polyethylene glycol (PEG) molecular weight and nanofillers on the properties of banana pseudostem nanocellulose films," *Carbohydr. Polym.*, vol. 205, pp. 330–339, 2019, doi: 10.1016/j.carbpol.2018.10.049.
- [11] N. K. Zainuddin, N. M. J. Rasali, and A. S. Samsudin, "Study on the effect of PEG in ionic transport for CMC-NH4Br-based solid polymer electrolyte," *Ionics (Kiel)*, vol. 24, no. 10, pp. 3039–3052, 2018, doi: 10.1007/s11581-018-2505-7.
- [12] W. Tongdeesontorn, L. J. Mauer, S. Wongruong, P. Sriburi, and P. Rachtanapun, "Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films," *Chem. Cent. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–8, 2011, doi: 10.1186/1752-153X-5-6.
- [13] M. K. Hidayat, Latifah, and S. S. Rahayu, "Penggunaan Carboxymethyl Cellulose dan Gliserol pada Pembuatan Plastik

- Biodegradable Pati Gembili,” *Indones. J. Chem. Sci.*, vol. 2, no. No. 3, pp. 253–258, 2013.
- [14] E. P. Ningsih and D. Ariyani, “Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Pati Ubi Nagara (Ipomoea batatas L .),” vol. 7, no. 1, pp. 77–85, 2019.
- [15] A. Rusli, Metusalach, Salengke, and M. M. Tahir, “Karakterisasi Edible Film Karagenan Dengan Pemplastis Gliserol,” *Jphpi*, vol. 20, no. 2, pp. 219–229, 2017.
- [16] S. Nurfauzi *et al.*, “Pengaruh Konsentrasi Cmc Dan Suhu Pengeringan Terhadap Sifat Mekanik Dan Sifat Degradasi Pada Plastik Biodegradable Berbasis Tepung Jagung,” *Keteknikan Pertan. Trop. dan Biosist.*, vol. 6, no. 1, pp. 90–99, 2018.
- [17] R. D. A. Putri, D. Sulistyowati, and T. Ardhiani, “Analisis Penambahan Carboxymethyl Cellulose terhadap Edible Film Pati Umbi Garut sebagai Pengemas Buah Strawberry,” *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 2, p. 77, 2019, doi: 10.30595/jrst.v3i2.4911.
- [18] A. Rusli, M. Metusalach, and M. M. Tahir, “Characterization of Carrageenan Edible films Plasticized with Glycerol,” *J. Pengolah. Has. Perikan. Indones.*, vol. 20, no. 2, p. 219, 2017, doi: 10.17844/jphpi.v20i2.17499.
- [19] M. I. Maulana, I. Syahbanu, and Harlia, “Sintesis dan Karakterisasi Material Konduktif Film Komposit Polipirol (PPy)/Selulosa Bakteri,” *Jkk*, vol. 6, no. 3, pp. 11–18, 2017, [Online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jkkmipa/article/view/22258>.
- [20] Bambang Rahadi Widiatmono, “Biodegradabilitas Bioplastik Berbahan Dasar Limbah Cair Tahu dengan Penguat Kitosan dan Plasticizer Gliserol,” *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 8, no. 1, pp. 21–27, 2021, doi: 10.21776/ub.jstal.2021.008.01.3.
- [21] M. Jannah, “Analisis Penambahan Gula Jagung Terhadap Karakteristik dan Degradasi Plastik Biodegradable Air Pati Ubi Kayu (manihot utilisima) Jurusan Fisika , Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang,” vol. 1, no. April, pp. 81–88, 2014.
- [22] Dachriyanus, *Analisis Struktur Senyawa Organik Secara Spektroskopi*. 2004.
- [23] A. N. C. Saputro and A. L. Ovita, “Synthesis and Characterization of Bioplastic from Chitosan-Ganyong Starch (Canna edulis),” *JKPK (Jurnal Kim. dan Pendidik. Kim.*, vol. 2, no. 1, p. 13, 2017, doi: 10.20961/jkpk.v2i1.8526.
- [24] E. Maneking, H. F. Sangian, and S. H. J. Tongkukut, “Pembuatan dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Biomassa dengan Plasticizer Gliserol,” *J. MIPA*, vol. 9, no. 1, p. 23, 2020, doi: 10.35799/jmuo.9.1.2020.27420.
- [25] E. Rohaeti, “Karakterisasi Biodegradasi Polimer,” *Prosiiding Semin. Nas. Penelitian, Pendidik. dan Penerapan MIPA*, vol. 47, pp. 248–257, 2009.
- [26] S. Moeljopawiro, B. Setiaji, and L. Sembiring, “Sifat Fisikokimiawi Selulosa Produksi Isolat Bakteri,” *J. Agriteknologi*, vol. 35, no. 4, pp. 434–440, 2015.