

Pengaruh Penambahan *Carboxymethyl Cellulose* Terhadap Sifat Fisik, Mekanik dan Biodegradasi Plastik *Biodegradable* Berbasis Selulosa Bakteri –Sorbitol dari Air Kelapa (*Cocos nucifera*)

Azaria Saiza Sukardi, Ananda Putra*

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 plastic is one solution to overcome environmental problems because it is easily degraded by microorganisms. This study was conducted to determine the effect of adding additives in the form of Carboxymethyl Cellulose (CMC) on biodegradable plastic based on bacterial cellulose from coconut water (*Cocos nucifera*) with sorbitol as a plasticizer. The addition of additives in the form of Carboxymethyl Cellulose (CMC) with mass variations of 0 gr, 1 gr, 3 gr, 5 gr, and 7 gr to improve the quality of biodegradable plastics in order to replace conventional plastics and determine the physical, mechanical and biodegradation properties. The results of the physical properties test obtained are the value of % water content and the degree of inflation in plastic increases with the addition of CMC mass. The best results from mechanical properties testing obtained were the addition of CMC 5 gr with tensile strength values of 101 MPa, elasticity of 466.11 MPa, and elongation of 21.71%. In biodegradation testing, plastics with the best mechanical properties have been completely degraded for 12 days.

Keywords: *Biodegradable Plastic, Carboxymethyl Cellulose, Bacterial Cellulose, Sorbitol*

I. PENDAHULUAN

Plastik termasuk salah satu bahan yang dibutuhkan bagi kehidupan saat ini. Lebih dari 300 juta ton bahan plastik diproduksi setiap tahun [1]. Meningkatnya produksi plastik dikarenakan plastik memiliki banyak kelebihan seperti bersifat ringan, tahan air, kuat dan fleksibel. Akibatnya, limbah plastik yang dihasilkan juga dibuang dalam jumlah besar. Sampah plastik inilah yang menjadi masalah bagi lingkungan karena degradasi massa plastik memakan waktu yang cukup lama, sehingga menyebabkan meningkatnya polusi dan kerusakan ekosistem [2].

Solusi untuk mengatasi permasalahan lingkungan tersebut adalah dengan adanya bahan plastik *biodegradable*, yaitu plastik yang mudah terdegradasi oleh mikroorganisme. Plastik *biodegradable* dapat digunakan untuk menggantikan plastik konvensional yang diharapkan dapat memperbaiki lingkungan [3]. Plastik *biodegradable* menggunakan sebuah polimer alami untuk bahan produksinya seperti selulosa atau pati yang dapat membuat plastik mudah terdegradasi oleh mikroorganisme secara alamiah menjadi senyawa yang tidak berbahaya bagi lingkungan [4].

Polimer alami berupa selulosa merupakan polisakarida yang tidak dapat larut dalam air. Selain itu dikenal sebagai polimer paling melimpah sehingga mudah ditemukan [5]. Selulosa adalah polimer unit glukosa dengan ikatan β -1,4-glikosidik. Dapat diperoleh dari tumbuhan, hewan, dan mikroorganisme. Selulosa yang disintesis dari mikroorganisme disebut selulosa bakteri [6].

Selulosa bakteri memiliki beberapa sifat yang cocok untuk dijadikan bahan produksi plastik *biodegradable* seperti biodegradabilitas tinggi, melimpah di alam, kekuatan mekanik dan kapasitas menahan air yang tinggi [7]. Produksi selulosa bakteri diperlukan kekuatan bakteri yang efisien dan stabil dengan syarat pertumbuhan yang tidak terlalu mahal. Bakteri yang paling efektif menghasilkan selulosa bakteri adalah *Acetobacter xylinum* (*A. xylinum*) yang telah digunakan untuk memproduksi BC secara komersial karena dapat menghasilkan selulosa bakteri dengan produktivitas tinggi [8].

Air kelapa dapat dibutuhkan sebagai medium pertumbuhan bakteri *Acetobacter xylinum* (*A. xylinum*) untuk mensintesis glukosa menjadi selulosa. Ataupun umumnya digunakan sebagai makanan penutup yang dikenal sebagai “nata de coco” [9]. Kandungan air kelapa yang terdiri dari 80% gula larut yang

didominasi oleh glukosa, sukrosa, dan fruktosa sehingga sangat cocok untuk pertumbuhan bakteri [10].

Plastik *biodegradable* belum dapat sepenuhnya menggantikan plastik konvensional yang ada saat ini karena kualitasnya masih rendah dengan memenuhi syarat nilai SNI. Oleh karena itu dibutuhkan peningkatan kualitas plastik *biodegradable* dengan modifikasi atau penambahan zat lain seperti plastisizer. Plastisizer adalah suatu zat aditif yang digunakan untuk memberikan fleksibilitas pada campuran polimer dan meningkatkan kemampuan dan ketahanan suatu bahan [11]. Plastisizer yang digunakan pada penelitian ini yaitu Sorbitol. Sorbitol dapat digunakan sebagai plastisizer karena dapat meningkatkan fleksibilitas film atau plastik dengan cara mengurangi ikatan hidrogen antar molekul dan meningkatkan jarak antar molekul antara polimer sepanjang rantai polimernya [12].

TABEL 1
SIFAT MEKANIK PLASTIK SESUAI SNI

NO	Karakteristik	SNI Plastik
1	Film (mm)	-
2	Kuat Tarik (Mpa)	24,7-302
3	Persen Elongasi (%)	21-220
4	Hidrofobisitas (%)	99
5	Elastisitas	-

Untuk meningkatkan kualitas plastik, maka dibutuhkan penambahan zat aditif. *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) adalah zat aditif yang digunakan untuk peningkatan kualitas plastik pada penelitian ini. Penggunaan CMC karena senyawa ini adalah salah satu turunan selulosa dan memiliki struktur kimianya yang spesifik, sangat kristal dan larut dalam air dengan sendirinya membentuk film yang fleksibel dan padat [13].

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 Fisik, Mekanik dan Biodegradasi Plastik *Biodegradable* Berbasis Selulosa Bakteri –Sorbitol dari Air Kelapa (*Cocos nucifera*)".

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, setrika, kertas pH, aluminium foil, neraca analitik, dan oven. Peralatan

untuk karakterisasi adalah alat Uji Tarik (*Universal Tensile Strength*).

B. Bahan

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan meliputi air kelapa tua dari limbah penjual santan di Patenggangan Air Tawar Barat, inokulum *A. Xylinum* (Nata de coco lima bersaudara Siteba), Sukrosa, Asam Asetat, Pupuk Urea, Air, Sorbitol 30%, NaOH 2% (Novalindo), dan CMC.

C. Prosedur Kerja

1. Pembuatan selulosa bakteri Sorbitol (SBS-CMC)

Air kelapa tua sebanyak 600 mL, 60 gram gula, 6 gram urea dan di panaskan hingga mendidih, lalu tambahkan asam asetat hingga rentang pH 4,5-5,4, lalu plastisizer Sorbitol 30% sebanyak 10 mL dan CMC yang divariasikan (0g; 1g; 3g; 5g; dan 7g) kedalam panci dan panaskan hingga mendidih. Setelah mendidih dipindahkan pada wadah plastik yang selanjutnya ditutup menggunakan kertas koran yang sudah disterilisasi terlebih dahulu dengan setrika. Kemudian medium dibiarkan sampai suhu kamar.

Setelah mencapai suhu kamar diinokulasikan dengan starter *A. Xylinum* dengan perbandingan 10:1 (%v/v). Pada saat inokulasi, wadah tidak boleh digoyang dan difermentasikan selama 14 hari pada suhu kamar sampai terbentuk selulosa bakteri sekurang-kurangnya 0,5 cm.

2. Pencucian dan pemurnian selulosa bakteri (SBS-CMC)

Selulosa bakteri yang telah terbentuk dicuci dengan aliran air, selanjutnya direndam dengan NaOH 2% (%w/v) dalam waktu +/- 24 jam. Setelah itu dicuci lagi dengan air mengalir sampai bersih hingga NaOH hilang ditandai dengan pH yang sudah tidak basa.

3. Pembuatan lembaran plastik SBS-CMC

Selulosa bakteri sorbitol-CMC yang sudah dimurnikan kemudian dipotong sesuai ukuran yang dibutuhkan lalu di oven dengan suhu 105°C selama 60 menit. Lembaran plastik siap untuk diuji dan dikarakterisasi.

4. Pengujian Sifat Fisik plastik *biodegradable*

a. Uji kandungan air

Pengujian dilakukan dengan cara menimbang sampel selulosa bakteri sebelum dioven sebagai berat awal, kemudian dioven pada suhu 105°C hingga berat konstan.

$$\%Kandungan\ air = \frac{berat\ awal - berat\ kering}{berat\ basah} \times 100$$

b. Uji derajat pengembangan

Hasil sampel kering pada pengujian kandungan air digunakan pada pengujian ini dengan cara merendam plastik ke dalam air sebanyak 20 mL, kemudian ditimbang perhari hingga beratnya konstan.

$$\%Pengembangan = \frac{berat\ konstan - berat\ awal}{berat\ awal} \times 100$$

5. Pengujian Sifat Fisik 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:

$$\sigma_t = \frac{F_{maks}}{A_0}$$

Dimana:

F maks = Gaya yang diberikan alat (N)

A₀ = Luas penampang (mm²)

σ_t = Kuat tarik (MPa)

b. Uji kuat putus (*elongasi*)

Pengukuran kuat putus juga 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 regangan sampel. Elastisitas dapat dihitung dengan cara:

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

Dimana:

E = *Modulus Young* (MPa)

σ = Kuat Tarik/Tegangan

ε = Rengangan

d. Uji biodegradasi

Pengujian biodegradasi terhadap lembaran plastik dilakukan dengan menguburkan lembaran plastik di dalam tanah dengan ukuran 5 x 5 cm pada kedalaman tanah 5 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:

$$\% \text{ biodegradasi} = \frac{m - m_0}{m} \times 100\%$$

Dimana:

m = Massa sampel sebelum dikubur

m₀ = Massa sampel setelah dikubur

III. PEMBAHASAN

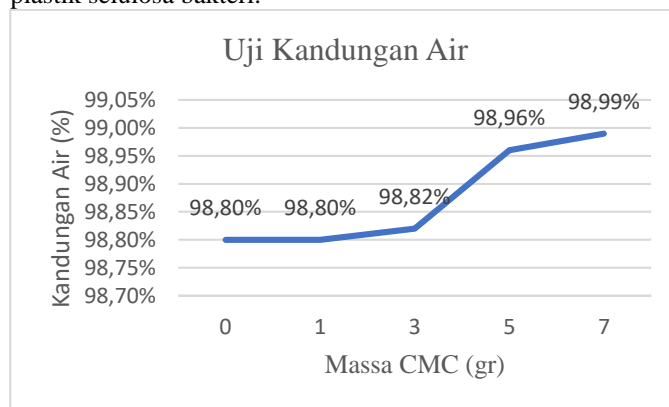
Lembaran plastik biodegradable yang telah dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Lembaran Plastik SBS-CMC

A. Uji kandungan air

Uji kandungan air merupakan salah satu parameter uji untuk mengetahui seberapa banyak air yang terkandung di dalam plastik selulosa bakteri.

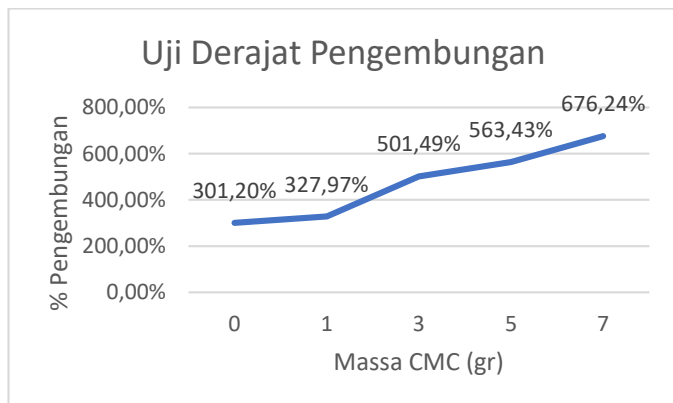


Gambar 2. Grafik Uji Kandungan Air SBS-CMC

Berdasarkan Gambar 2. dapat dilihat kandungan air semakin meningkat seiring bertambahnya massa CMC yang ditambahkan. CMC merupakan suatu turunan selulosa yang memiliki sifat hidrofilik dan efektif untuk mengikat air sehingga dapat membentuk kekentalan pada selulosa bakteri [14]. Lalu adanya sorbitol yang terkandung juga mempengaruhi kandungan air yang tinggi dengan nilai yang berubah tidak signifikan, karena sorbitol juga memiliki sifat hidrofilik. Kandungan air tertinggi yaitu pada variasi massa CMC 7 gr sebesar 98,99%.

B. Uji derajat pengembangan

Uji derajat pengembangan dilakukan untuk mengetahui kekuatan suatu material pada penyerapan air hingga terjadinya kesetimbangan [15].

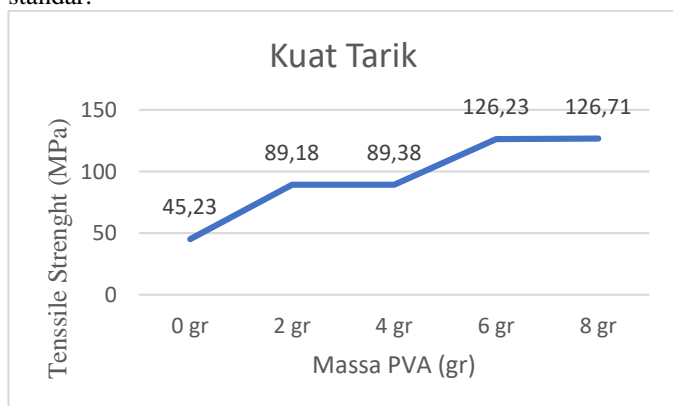


Gambar 3. Grafik Uji Derajat Pengembangan SBS-CMC

Berdasarkan gambar 3. dapat dilihat, terjadi peningkatan nilai persentase derajat pengembangan air seiring dengan penambahan massa CMC. Semakin banyak komposisi CMC yang ditambahkan semakin tinggi daya kemampuan serap air suatu plastik karena sifat dari CMC adalah hidrofilik [16]. Begitupun juga dengan sorbitol memiliki gugus (OH) hidrofilik, sehingga semakin menambah sifat hidrofilik plastik dan kemampuannya menyerap air menjadi tinggi. Derajat pengembangan air tertinggi diperoleh pada variasi massa CMC 7 gr sebesar 676,24% dan terendah pada tanpa penambahan CMC sebesar 301,20%.

C. Uji kuat tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan untuk mengetahui kemampuan plastik dalam menahan beban atau gaya yang diberikan oleh alat kuat Tarik Tensile Testing (Tensile Strength Insititus Teknologi Padang) hingga plastik yang ditarik rusak atau putus. Kuat tarik merupakan salah satu pengujian terpenting dalam pembuatan plastik karena menentukan kualitas suatu plastik dan nilai kuat tarik berhubungan dengan SNI plastik untuk membuktikan plastik sudah memenuhi standar.



Gambar 4. Grafik Nilai Kuat Tarik SBS-CMC

Dapat dilihat pada gambar 4. terjadi peningkatan nilai kuat tarik seiring dengan penambahan massa CMC. Peningkatan ini terjadi karena terjadinya ikatan antara gugus hidroksil (OH) pada sorbitol dengan gugus karbonil (COOH) CMC [17].

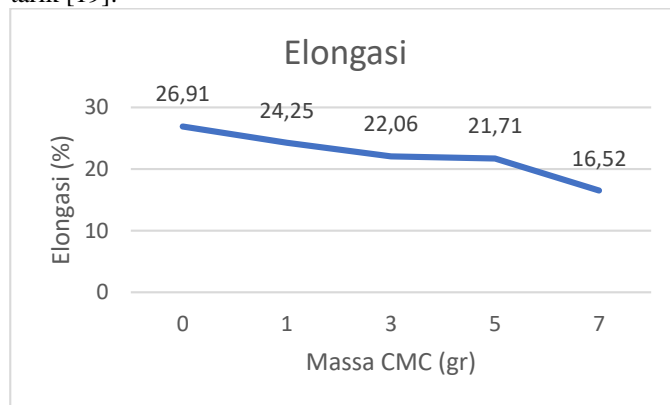
Penggunaan sorbitol sebagai plastisizer juga dapat meningkatkan kekuatan tarik plastik biodegradable [18].

Nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada penambahan massa CMC 5 gr sebesar 101,005 MPa. Akan tetapi kekuatan tariknya mengalami penurunan pada massa 7 gr sebesar 64,85 MPa. Hal ini disebabkan karena konsentrasi CMC yang ditambahkan telah melebihi titik jenuhnya, ketika konsentrasi CMC sudah mencapai titik jenuhnya maka CMC tidak mampu lagi mengikat semua senyawa organik pada rantai polimer. Sehingga molekul CMC yang berlebih akan ada di luar fase polimer [17]. Dapat dilihat juga bahwa nilai kuat tarik plastik yang dihasilkan sudah memenuhi nilai kuat tarik berdasarkan SNI.

Berdasarkan pengujian kuat tarik, maka didapatkan plastik dengan kualitas yang terbaik pada plastik SBS-CMC 5 gr dan digunakan pada uji biodegradasi.

D. Uji Elongasi Plastik SBS-CMC

Pengujian kuat putus termasuk bagian dari uji kuat tarik yaitu perubahan panjang maksimum plastik sebelum terputus. Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan penambahan panjang yang terjadi dengan sebelum dilakukannya uji kuat tarik [19].

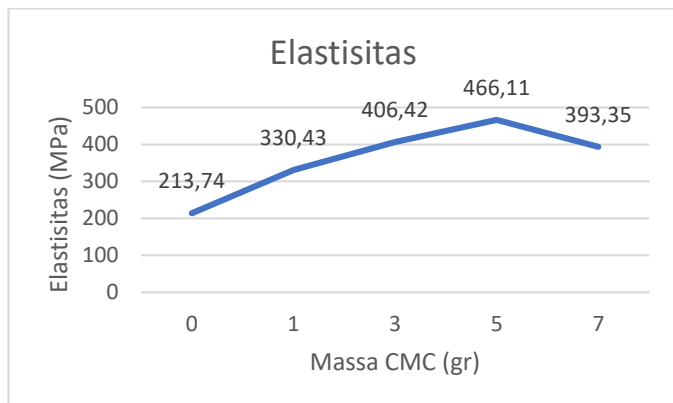


Gambar 5. Grafik Uji Elongasi SBS-CMC

Berdasarkan gambar 5, dapat dilihat bahwa nilai persentase elongasi menurun sebanding dengan penambahan variasi massa CMC, serta nilai elongasi berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik. Ditunjukkan dari hasil penelitian bahwa plastik yang memiliki nilai persentase elongasi tertinggi diperoleh pada plastik SB tanpa penambahan CMC senilai 26,91% dan nilai elongasi terendah pada plastik SB variasi massa CMC 7 gr senilai 16,52%. Hal ini terjadi karena CMC memiliki gel strength yang tinggi [20]. Selain itu karena penambahan CMC yang berlebihan sehingga tidak mampu lagi mengikat senyawa organik pada rantai polimer akibatnya sorbitol berada di luar fase polimer dan menyebabkan gaya tarik menarik yang terjadi antar molekul berkurang [17]. Konsentrasi CMC yang semakin tinggi mengakibatkan nilai kuat tarik semakin meningkat sebaliknya nilai elongasi semakin menurun.

E. Elastisitas (Modulus Young)

Elastisitas merupakan ukuran kekakuan dari plastik biodegradable yang dihasilkan.



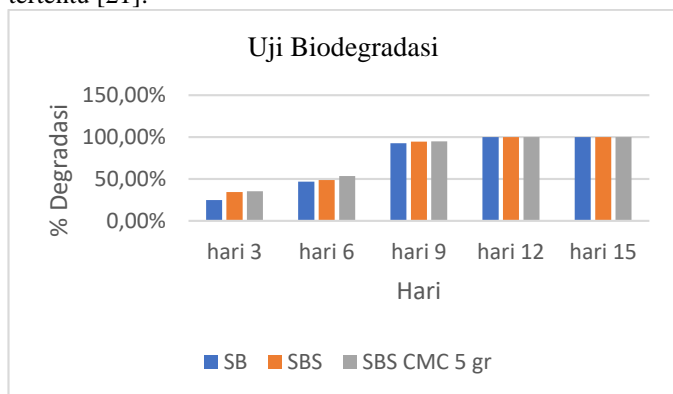
Gambar 6. Grafik Uji Elastisitas SBS-CMC

Dapat dilihat dari gambar 6, dapat dilihat bahwa nilai elastisitas meningkat seiring bertambahnya massa CMC yang ditambahkan hingga didapatkan hasil terbaik pada variasi massa CMC 5 gr senilai 466,11 MPa. Nilai elastisitas dipengaruhi oleh banyaknya polimer yang ditambahkan, semakin besar massa CMC yang ditambahkan maka semakin besar pula nilai elastisitasnya. Akan tetapi kemudian pada massa CMC 7 gr mengalami penurunan nilai elastisitas, hal ini menunjukkan elastisitas telah mencapai kondisi maksimum.

Semakin tinggi nilai elastisitas plastik, semakin baik kekuatannya menahan beban atau tarikan sehingga tidak mudah sobek. Nilai elastisitas juga berbanding lurus dengan nilai kuat tarik dan berbanding terbalik dengan nilai elongasi [4].

F. Uji biodegradasi

Uji biodegradasi dilakukan untuk mengetahui seberapa lama plastik biodegradable yang dihasilkan dapat terurai oleh mikroorganisme di dalam tanah dalam kurun waktu tertentu. Karakterisasi biodegradasi polimer melibatkan penentuan kehilangan massa akibat penguraian bahan polimer. Kehilangan massa ditentukan dengan mengukur massa polimer sebelum dan sesudah terdegradasi selama periode waktu tertentu [21].



Gambar 7. Uji Biodegradasi SBS-CMC

Berdasarkan gambar 7, bahwa penambahan massa CMC berbanding lurus dengan persentase degradasi plastik SBS-CMC, semakin banyak ditambahkan CMC semakin cepat pula plastik tersebut terdegradasi di dalam tanah. Hal ini karena CMC memiliki sifat hidrofilik, dimana kemampuan

terdegradasi plastik berkaitan dengan kemampuannya menyerap air di dalam tanah. Adapun kondisi tanah yang digunakan sebagai media penguburan cukup lembab, sehingga terjadinya proses penyerapan air oleh CMC dari tanah ke plastik *biodegradable*. Semakin banyak air yang terkandung pada suatu material maka semakin mudah terdegradasi. Air termasuk media bagi sebagian bakteri dan mikroorganisme di dalam tanah, sehingga kandungan airnya membuat plastik lebih mudah terurai [22].

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penambahan zat aditif *carboxymethyl cellulose* dengan berbagai variasi pada plastik *biodegradable* SBS dapat meningkatkan persentase kandungan air dan derajat pengembangan seiring dengan penambahan massa CMC. Nilai kuat tarik dan elastisitas tertinggi didapatkan pada penambahan massa CMC 5 gr dengan nilai yang sudah memenuhi SNI. Pada pengujian biodegradasi, semakin banyak massa CMC semakin meningkat kemampuan plastik *biodegradable* terdegradasi, tetapi pada penguburan selama 12 hari didapatkan hasil plastic terdegradasi sudah mencapai 100%.

UCAPAN TERIMA KASIH

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. Serta kepada tim penelitian penulis yang telah banyak membantu bekerja sama dalam menyelesaikan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] H. Sezgin, M. Kucukali-Ozturk, O. B. Berkalp, and I. Yalcin-Enis, "Design of composite insulation panels containing 100% recycled cotton fibers and polyethylene/polypropylene packaging wastes," *J. Clean. Prod.*, vol. 304, p. 127132, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127132.
- [2] I. Nikolopoulou, O. Piperagkas, S. Moschos, and H. Karayanni, "Bacteria Release from Microplastics into New Aquatic Environments," *Diversity*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.3390/d15010115.
- [3] T. D. Moshood, G. Nawanir, F. Mahmud, F. Mohamad, M. H. Ahmad, and A. AbdulGhani, "Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution?," *Curr. Res. Green Sustain. Chem.*, vol. 5, no. November 2021, 2022, doi: 10.1016/j.crgsc.2022.100273.
- [4] M. Flury and R. Narayan, "Biodegradable plastic as an integral part of the solution to plastic waste pollution of the environment," *Curr. Opin. Green Sustain. Chem.*, vol. 30, p. 100490, 2021, doi: 10.1016/j.cogsc.2021.100490.
- [5] T.-Y. Chen, S. P. Santoso, and S.-P. Lin, "Using Formic Acid to Promote Bacterial Cellulose Production and Analysis of Its Material Properties for Food Packaging Applications," *Fermentation*, vol. 8, no. 11, p. 608, 2022, doi: 10.3390/fermentation8110608.
- [6] J. Ye *et al.*, "Bacterial cellulose production by *Acetobacter xylinum* ATCC 23767 using tobacco waste extract as culture medium," *Bioresour. Technol.*, vol. 274, no. November 2018, pp. 518–524, 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2018.12.028.

- [7] A. Sharma, M. Thakur, M. Bhattacharya, T. Mandal, and S. Goswami, "Commercial application of cellulose nano-composites – A review," *Biotechnol. Reports*, vol. 21, no. 2018, p. e00316, 2019, doi: 10.1016/j.btre.2019.e00316.
- [8] M. Ghozali, Y. Meliana, and M. Chalid, "Synthesis and characterization of bacterial cellulose by *Acetobacter xylinum* using liquid tapioca waste," *Mater. Today Proc.*, vol. 44, pp. 2131–2134, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.12.274.
- [9] N. Nurfajriani, A. N. Pulungan, M. Yusuf, and N. Bukit, "Preparation and Characterization of Bacterial Cellulose from Culturation of *Acetobacter Xylinum* in Coconut Water Media," *J. Phys. Conf. Ser.*, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1811/1/012070.
- [10] M. Kumar, S. S. Saini, P. K. Agrawal, P. Roy, and D. Sircar, "Nutritional and metabolomics characterization of the coconut water at different nut developmental stages," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 96, no. September 2020, p. 103738, 2021, doi: 10.1016/j.jfca.2020.103738.
- [11] R. Jamarani, H. C. Erythropel, J. A. Nicell, R. L. Leask, and M. Marić, "How green is your plasticizer?," *Polymers (Basel)*, vol. 10, no. 8, pp. 1–17, 2018, doi: 10.3390/polym10080834.
- [12] W. Su, S. Young, G. Duck, I. Woo, M. Hyeock, and H. Jin, "Heat-sealing property of cassava starch film plasticized with glycerol and sorbitol," *Food Packag. Shelf Life*, vol. 26, no. July, p. 100556, 2020, doi: 10.1016/j.fpsl.2020.100556.
- [13] E. Farshchi, S. Pirsai, L. Roufegarinejad, M. Alizadeh, and M. Rezazad, "Photocatalytic/biodegradable film based on carboxymethyl cellulose, modified by gelatin and TiO₂ -Ag nanoparticles," *Carbohydr. Polym.*, vol. 216, no. March, pp. 189–196, 2019, doi: 10.1016/j.carbpol.2019.03.094.
- [14] R. NURLAILA, "Pemanfaatan Jerami Padi (*Oryza Sativa* L.) Sebagai Bahan Baku Dalam Pembuatan CMC (Carboximethyl Cellulose)," *J. Rekayasa Proses*, vol. 15, no. 2, p. 194, 2021, doi: 10.22146/jrekpros.69569.
- [15] N. Wahyunita, A. Putra, U. K. Nizar, and F. Azra, "Pengaruh Penambahan Gum Arab Terhadap Pembuatan Plastik Biodegradable dari Air Kelapa," vol. 11, no. 3, pp. 70–74, 2022.
- [16] D. Ariyani, E. Puryati Ningsih, and S. Sunardi, "Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Pati Ubi Nagara (*Ipomoea batatas* L.)," *Indo. J. Chem. Res.*, vol. 7, no. 1, pp. 77–85, 2019, doi: 10.30598/ijcr.2020.7-sun.
- [17] L. Margaretha and Ratnawulan, "The Effect Of Addition Sorbitol And Carboxy Methyl Cellulose (CMC) On The Quality Of Biodegradable Plastics From Avocado Seed Starch," *Pillar Phys.*, vol. 13, no. 2, pp. 103–112, 2020.
- [18] E. Rahmasari *et al.*, "Plastik Biodegradable Berbasis Carboxymethyl Cellulose dari Ampas Tebu Plastic Biodegradable Based on Carboxymethyl Cellulose from Bagasse," *J. Pendidik. dan Teknol. Indones.*, vol. 2, no. 9, pp. 385–391, 2022.
- [19] K. Hayati *et al.*, "Pengaruh Penambahan Kitosan terhadap Karakteristik Plastik Biodegradable dari Limbah Nata de Coco dengan Metode Inversi Fasa," *J. Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, vol. 4, no. 1, pp. 9–14, 2020, [Online]. Available: <https://rbaet.ub.ac.id/index.php/rbaet/article/view/75>
- [20] J. Aditia and A. Putra, "Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose Terhadap Sifat Mekanik dan Biodegradasi Plastik Biodegradable Berbasis Selulosa Bakteri – Polietilen Glikol dari Air Kelapa (*Cocos nucifera*) Chemistry Journal of Universitas Negeri Padang," vol. 10, no. 1, pp. 1–6, 2022.
- [21] M. R. B. Saputra and E. Supriyo, "Pembuatan Plastik Biodegradable Menggunakan Pati Dengan Penambahan Katalis ZnO dan Stabilizer Gliserol," *Pentana*, vol. 1, no. 1, pp. 41–51, 2020.
- [22] E. V. Natalia and Muryeti, "Pembuatan Plastik Biodegradable Dari Pati Singkong Dan Kitosan," *J. Print. Packag. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 57–68, 2020.