

# Pengaruh $\text{CaCO}_3$ terhadap Kualitas Plastik *Biodegradable* Berbasis Selulosa Bakteri Sorbitol dari Air Kelapa

## *The Effect of $\text{CaCO}_3$ on the Quality of Sorbitol-Based Biodegradable Plastic Made from Bacterial Cellulose Derived from Coconut Water*

Elsa Safhira & Ananda Putra\*

Program Studi Non Kependidikan Kimia, Departemen Kimia, FMIPA, Universitas Negeri Padang, Indonesia

Disubmit: 29 Oktober 2024; Direview: 30 Oktober 2024; Disetujui: 30 November 2024

\*Corresponding Email: [anandap@fmipa.unp.ac.id](mailto:anandap@fmipa.unp.ac.id)

### Abstrak

Plastik adalah salah satu bahan yang seringkali ditemukan dikalangan masyarakat. Penumpukan sampah plastik menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, sehingga untuk mengurangi dampak tersebut maka beralih ke kemasan yang ramah lingkungan. Plastik *biodegradable* merupakan jenis plastik yang ramah lingkungan karena mudah terdegradasi oleh mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh dari variasi penambahan zat aditif  $\text{CaCO}_3$  terhadap kualitas dari plastik *biodegradable* berbasis selulosa bakteri-sorbitol dari air kelapa meliputi uji sifat mekanik, biodegradasi, serta instrumen FTIR dan XRD. Pada penelitian ini digunakan Sorbitol 30% sebagai plastisizer dan variasi  $\text{CaCO}_3$  yaitu 2 g, 4 g, 6 g, dan 8 g. Hasil dari uji sifat mekanik diperoleh nilai kuat tarik 179,85 MPa pada variasi penambahan  $\text{CaCO}_3$  8 g yang sudah memenuhi standar SNI plastik konvensional dalam rentang 24,7-302 MPa, nilai elastisitas 906,21 MPa, dan nilai elongasi 31,50%. Pada uji biodegradasi, plastik yang ditambahkan  $\text{CaCO}_3$  mengalami kenaikan dan pada hari ke 15 plastik sudah terdegradasi 90%. Pada analisis gugus fungsi FTIR tidak terbentuk gugus fungsi baru dan pada analisis menggunakan XRD pada penambahan  $\text{CaCO}_3$  persentase kristal plastik lebih besar yaitu 96,92% dibandingkan dengan selulosa bakteri-sorbitol sebesar 95,79%.

**Kata Kunci:** Air Kelapa; Sorbitol; Plastik *Biodegradable*; Selulosa Bakteri;  $\text{CaCO}_3$

### Abstract

Plastic is one of the most commonly used materials in society. The accumulation of plastic waste has a negative impact on the environment and human health. To mitigate these effects, there has been a shift toward environmentally friendly packaging. Biodegradable plastic is an eco-friendly material because it can be easily degraded by microorganisms. This study aims to investigate the effect of varying  $\text{CaCO}_3$  additive concentrations on the quality of biodegradable plastic based on bacterial cellulose-sorbitol from coconut water. The study includes testing mechanical properties, biodegradability, and analysis using FTIR and XRD instruments. In this research, 30% sorbitol was used as a plasticizer, and  $\text{CaCO}_3$  was added in varying amounts: 2 g, 4 g, 6 g, and 8 g. The results of the mechanical property tests showed a tensile strength of 179.85 MPa at 8 g of  $\text{CaCO}_3$  addition, which meets the SNI (Indonesian National Standard) range for conventional plastic (24.7-302 MPa). The elasticity was 906.21 MPa, and the elongation value was 31.50%. Biodegradability tests revealed that plastic with  $\text{CaCO}_3$  showed increased degradation, with 90% degradation observed by day 15. FTIR functional group analysis showed no new functional groups, while XRD analysis indicated that the addition of  $\text{CaCO}_3$  increased the crystallinity of the plastic to 96.92%, compared to 95.79% for bacterial cellulose-sorbitol without  $\text{CaCO}_3$ .

**Keywords:** Coconut Water; Sorbitol; Biodegradable Plastic; Bacterial Cellulose;  $\text{CaCO}_3$

**How to Cite:** Safhira, E., & Putra, A. (2024). Pengaruh  $\text{CaCO}_3$  terhadap Kualitas Plastik *Biodegradable* Berbasis Selulosa Bakteri Sorbitol dari Air Kelapa. *Journal of Natural Sciences*. 5 (3): 179-190



## PENDAHULUAN

Plastik adalah salah satu bahan yang seringkali ditemukan dikalangan masyarakat Indonesia. Biasanya, plastik digunakan sebagai tempat penyimpanan karena memiliki berbagai macam keunggulan, seperti fleksibel, kuat, ringan, transparan, dapat dikombinasikan dengan produk lain dan tidak menyebabkan korosi (Montazeri & Amar, 2021). Menurut data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2021, Indonesia menghasilkan sekitar 66 juta ton limbah plastik setiap tahunnya. Penumpukan sampah plastik menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia, sehingga penting untuk mengambil langkah-langkah guna mengurangi dampak tersebut dan beralih ke kemasan yang ramah lingkungan, seperti kemasan yang dapat terurai secara alami (*biodegradable*) (Juliani *et al.*, 2022).

Plastik yang mudah terurai di alam dikenal sebagai bioplastik. Bioplastik dapat diproduksi dari bahan yang mengandung polimer alami, yang berasal dari sumber-sumber alam seperti tumbuhan dan hewan, contoh bahan polimer alami meliputi karet, pati, lignin, kitosan, dan selulosa (Nisah, 2018). Selulosa adalah polimer alami yang paling melimpah di seluruh dunia, sebagian besar ditemukan pada tanaman tingkat tinggi, serta dapat ditemui pada protozoa, ganggang, dan bakteri (Musa *et al.*, 2016). Salah satu produk selulosa bakteri yang umum adalah Nata de coco yang dihasilkan dari fermentasi air kelapa menggunakan *Acetobacter xylinum* (Suryanto, 2017a).

*Plasticizer* digunakan sebagai zat pemlastis untuk pembuatan plastik *biodegradable* yang memberikan kemampuan plastik yang dihasilkan untuk tidak menjadi rapuh dan kaku. Salah satu *plasticizer* yang digunakan ialah sorbitol. Merujuk dari penelitian sebelumnya yang menggunakan sorbitol sebagai plastisizer, hasil dari penelitian tersebut didapatkan sifat mekaniknya telah mencapai SNI. Sorbitol memiliki struktur yang sebanding dengan glukosa dan dapat mengurangi tingkat kerapuhan, meningkatkan fleksibilitas, dan meningkatkan daya tahan dalam pembuatan *biodegradable* plastik, sorbitol digunakan sebagai bahan pemlastis karena dapat membentuk ikatan antar molekul yang kuat dengan polimer (Putra *et al.*, 2019).

Zat aditif merupakan salah satu bahan tambahan yang dimanfaatkan untuk meningkatkan kualitas plastik *biodegradable*. Salah satu zat aditif yang digunakan ialah  $\text{CaCO}_3$  yang mengandung kalsium yang kuat sehingga dapat meningkatkan kekakuan material, membantu mengurangi kerapuhan, dan meningkatkan ketahanan terhadap



sobekan. Selain itu, sifat tidak larut  $\text{CaCO}_3$  dalam air juga dapat meningkatkan ketahanan terhadap air pada plastik *biodegradable* tersebut (Hudha M, Istnaeny *et al.*, 2020).

Penelitian ini penting dilakukan untuk meningkatkan kualitas plastik *biodegradable* sebagai alternatif ramah lingkungan. Sebelumnya, penelitian yang menggunakan PEG dan sorbitol telah menunjukkan pengaruh positif, namun hasil beberapa pengujian belum sepenuhnya memenuhi standar yang diperlukan. Oleh karena itu, modifikasi penelitian menjadi langkah strategis untuk mengoptimalkan sifat plastik *biodegradable*. Penambahan zat aditif seperti kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) diharapkan dapat memperbaiki kualitas mekanik, biodegradabilitas, serta karakteristik struktural plastik.

## METODE PENELITIAN

Penelitian dimulai pada bulan April hingga Oktober 2024 di Laboratorium Departemen Kimia FMIPA, Universitas Negeri Padang. Peralatan yang digunakan meliputi peralatan gelas laboratorium, wadah plastik ukuran 24x17x4 cm, panci pemasak, loyang, kompor, saringan, koran, kain lap, tisu, karet, pisau, gunting, penggaris, kertas pH, pH meter digital, neraca analitik, mikrometer sekrup, cawan penguap, oven, autoklaf, erlemeyer, mikrometer sekrup, alat kuat tarik (*Tension Testing ASTM*), FTIR dan XRD. Bahan-bahan yang digunakan meliputi air kelapa tua, inokulum *A. xylinum*, gula, asam asetat teknis, urea, air, aquades, sorbitol 30%, NaOH 2%, dan  $\text{CaCO}_3$ .

## Prosedur Kerja

### 1. Penyiapan dan Pembuatan Starter *A. xylinum*

Starter *A. xylinum* dibuat dengan menambahkan 40 g gula pasir, 4 g urea dan 8 mL asam asetat sampai pH pada rentang 4,5-5,5 ke dalam 400 mL air kelapa yang telah disaring dan dipanaskan hingga mendidih dan dipindahkan ke botol kaca sampai suhu kamar. Setelah itu dilakukan inokulasi bakteri *A. xylinum* dengan perbandingan 10:1 (%v/v) (dilakukan di dekat lampu spiritus yang menyala) dan botol kaca ditutup kembali dengan kertas koran dan karet gelang serta disimpan pada suhu ruang dan difermentasi  $\pm 1$  minggu sampai terbentuk selulosa bakteri  $\pm 0,5$  cm.

### 2. Sterilisasi $\text{CaCO}_3$

Variasi  $\text{CaCO}_3$  yaitu 2 g, 4 g, 6 g dan 8 g yang dilarutkan dengan 100 ml aquades menggunakan *magnetic stirrer* pada suhu  $\pm 70^\circ\text{C}$  selama 15 menit. Setelah itu, dilakukan

sterilisasi larutan  $\text{CaCO}_3$  menggunakan autoklaf selama 15 menit yang akan digunakan untuk pembuatan media selulosa bakteri sorbitol  $\text{CaCO}_3$ .

### 3. Pembuatan Medium Selulosa Bakteri Sorbitol (SBS- $\text{CaCO}_3$ )

Media fermentasi didinginkan pada suhu kamar di dalam wadah plastik, diinokulasikan dengan starter *A. xylinum* dengan perbandingan 10:1 (%v/v) dan difermentasikan pada suhu kamar sampai terbentuk selulosa bakteri  $\pm 0,5$  cm. Selama proses inokulasi berlangsung wadah tidak boleh digoyang.

### 4. Pencucian dan Pemurnian Selulosa Bakteri Sorbitol (SBS- $\text{CaCO}_3$ )

Selulosa bakteri yang telah terbentuk dicuci dengan air mengalir lalu direndam dengan NaOH 2% (%w/v) selama  $\pm 24$  jam, dilanjutkan dicuci lagi dengan air mengalir sampai bersih. Setelah itu disimpan dalam wadah tertutup berisi air bersih dan siap digunakan. Proses pembersihan dilakukan agar Selulosa Bakteri yang sudah terbentuk tidak berbau busuk karena tumbuhnya jamur.

### 5. Pembuatan Lembaran Plastik Selulosa Bakteri Sorbitol (SBS- $\text{CaCO}_3$ )

Selulosa bakteri Sorbitol- $\text{CaCO}_3$  yang sudah dimurnikan kemudian dipotong dengan ukuran sesuai yang dibutuhkan lalu di oven dengan suhu  $105^\circ\text{C}$  selama 60 menit. Lembaran SB Sorbitol- $\text{CaCO}_3$  siap untuk dikarakterisasi.

### 6. Pengujian Karakteristik Sifat Mekanik Plastik *Biodegradable*

#### a. Uji Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Kuat tarik diukur dengan menggunakan 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)  
A<sub>o</sub> = Luas penampang (mm<sup>2</sup>)  
 $\sigma_t$  = Kuat Tarik (Mpa)

#### b. Uji Kuat Putus (*Elongasi*)

Pengukuran kuat putus dilakukan dengan cara yang sama seperti pengukuran kekuatan tarik. Elongasi dinyatakan dalam persentase, dihitung dengan menggunakan 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 kuat putus sampel. Elastisitas dapat dihitung dengan cara:

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

Dimana:

E = Modulus Young (MPa)

$\sigma$  = Kuat Tarik

$\varepsilon$  = Persen Pemanjangan

## 7. Biodegradasi Plastik

Analisis biodegradasi terhadap lembaran plastik SB dilakukan dengan mengubur lembaran plastik di dalam tanah dengan ukuran 2 x 2 cm pada kedalaman tanah 5 cm. Proses penguburan dilakukan selama 15 hari. Sebelum dikubur, plastik dilakukan penimbangan massanya, kemudian dikubur di dalam tanah selama 15 hari dengan interval penimbangan setiap 3 hari. Plastik yang terurai dapat dihitung menggunakan persamaan berikut

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

Dimana:

$m_0$  = Massa sampel sebelum dikubur

$m$  = Massa sampel setelah dikubur

## 8. Karakterisasi Struktur Molekul Plastik *Biodegradable*

### a. Karakterisasi Gugus Fungsi Menggunakan FTIR

Karakteristik dilakukan dengan menggunakan Spektrofotometer Inframerah Transformasi Fourier (FTIR). Sampel dipotong dengan ukuran 5x5 cm yang berupa film diletakkan dalam cell holder pada suhu kamar. FTIR diatur dengan bilangan gelombang 4000-400  $\text{cm}^{-1}$ .

### b. Analisa Kristalinitas Plastik menggunakan XRD

Analisis kristalinitas dilakukan menggunakan XRD. Plastik dipotong dengan ukuran 5 cm x 5 cm, lalu dimasukkan kedalam template sampel yang dilapisi dengan lilin. Derajat kristalinitas (DK) ditentukan menggunakan persamaan berikut:

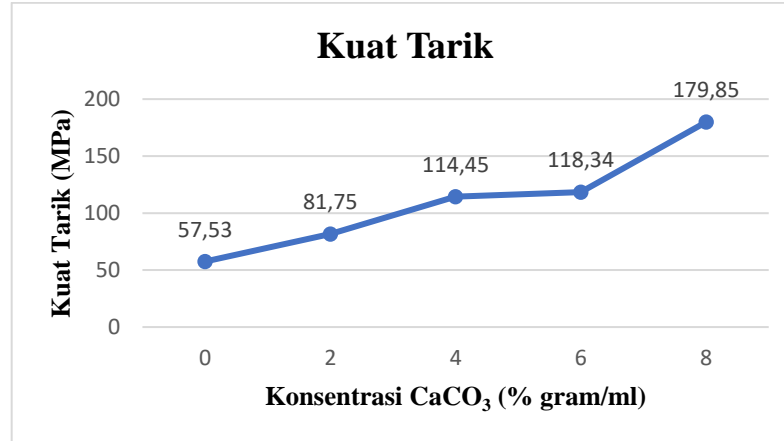
$$\% DK = \frac{\text{luas daerah kristalin}}{\text{luas daerah (kristalin+amor f)}} \times 100\%$$



## HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Uji Kuat Tarik (*Tensile Strength*)

Uji kuat tarik merupakan tegangan maksimum yang dapat ditahan oleh material sebelum putus.

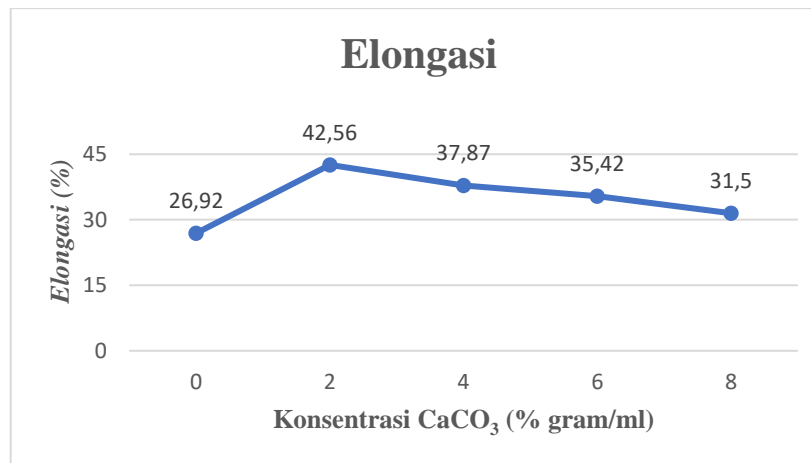


Gambar 1. Grafik Kuat Tarik Plastik SBS- $\text{CaCO}_3$

Berdasarkan gambar 1 dapat dilihat bahwa nilai kuat tarik SBS- $\text{CaCO}_3$  tertinggi yaitu pada SBS- $\text{CaCO}_3$  8 g yaitu sebesar 179,85 MPa, sedangkan nilai kuat tarik terkecil terdapat pada SBS- $\text{CaCO}_3$  2 g yaitu sebesar 81,75 MPa. Adanya penambahan  $\text{CaCO}_3$  mampu meningkatkan nilai kuat tarik pada plastik karena dapat mengikat partikel pada ruang kosong yang terdapat pada pori-pori plastik sehingga pada saat pengujian kuat tarik memberikan gaya yang besar (Sari *et al.*, 2022). Penggunaan sorbitol dengan gugus (OH) juga sebagai *plasticizer* juga dapat meningkatkan kekuatan tarik plastik *biodegradable* (Rahmasari *et al.*, 2022).

### B. Uji Kuat Putus (*Elongasi*)

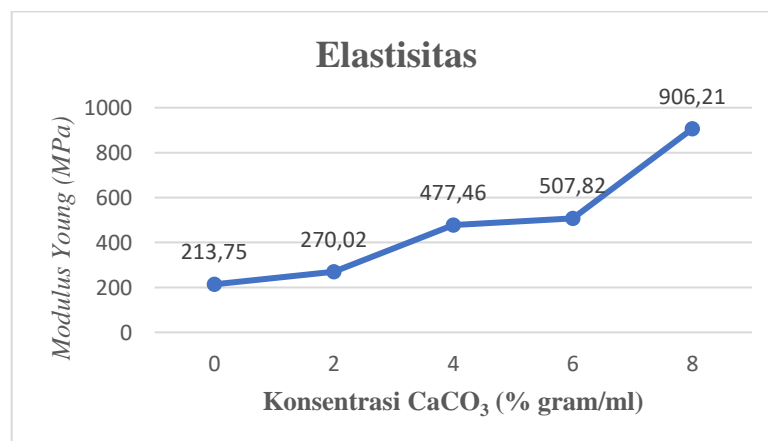
Pengujian *elongasi* dilakukan dengan membandingkan penambahan panjang yang terjadi dengan panjang bahan sebelum dilakukan uji tarik.

Gambar 2. Grafik Elongasi Plastik SBS-CaCO<sub>3</sub>

Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat bahwa nilai *elongasi* mengalami penurunan sebanding dengan penambahan CaCO<sub>3</sub>. Nilai persen *elongasi* pada plastik SBS-CaCO<sub>3</sub> ini sesuai dengan SNI untuk plastik dari rentang 21-220%. Nilai *elongasi* berbanding terbalik dengan nilai kuat tarik, dimana semakin tinggi massa CaCO<sub>3</sub> yang ditambahkan maka molekul CaCO<sub>3</sub> akan membentuk matrik film yang semakin kuat sehingga semakin bersifat tidak mudah putus yang mengakibatkan nilai perpanjangan atau *elongasi* menurun.

### C. Uji Elastisitas (*Modulus Young*)

*Modulus young* berbanding lurus dengan nilai kuat tarik dan berbanding terbalik dengan nilai *elongasi*.

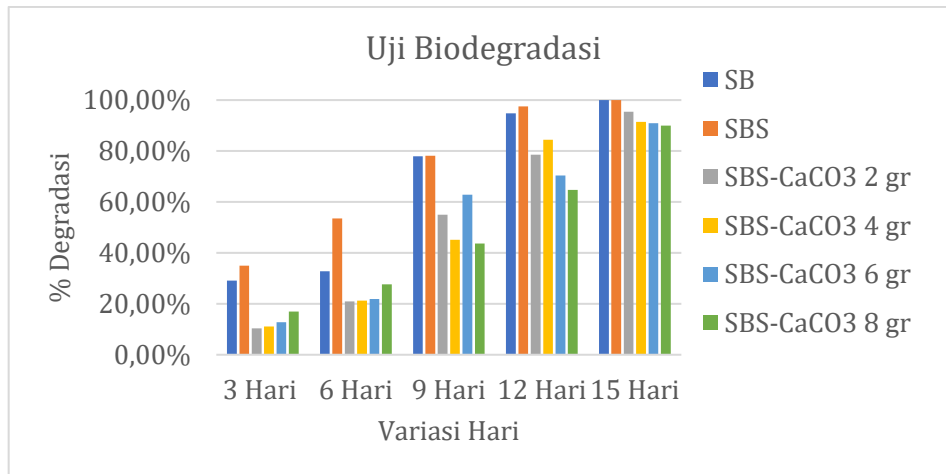
Gambar 3. Grafik Elastisitas Plastik SBS-CaCO<sub>3</sub>

Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat bahwa nilai elastisitas mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya CaCO<sub>3</sub>. Nilai elastisitas berbanding lurus dengan nilai kuat

tarik dimana semakin banyak  $\text{CaCO}_3$  yang ditambahkan maka jumlah polimer penyusun matriks semakin rapat dan semakin besar gaya yang dibutuhkan untuk memutuskan spesimen sehingga nilai elastisitasnya semakin besar.

#### D. Biodegradasi Plastik

Uji Biodegradabilitas bertujuan untuk mengetahui apakah suatu bahan dapat terdegradasi dengan baik di lingkungan.



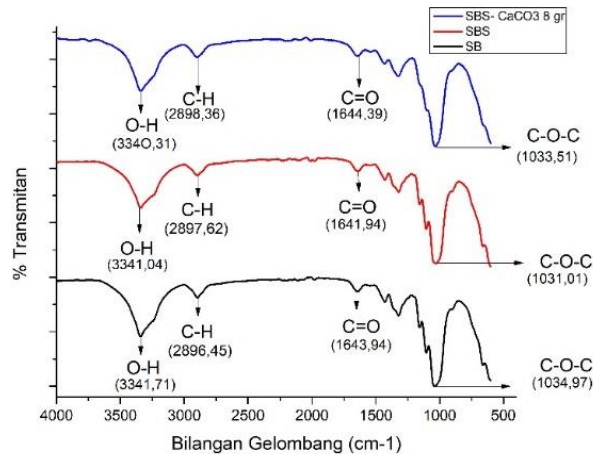
Gambar 4. Grafik Uji Biodegradasi

Berdasarkan gambar 4 dapat dilihat bahwa penambahan konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  dapat menurunkan laju biodegradasi plastik *biodegradable*, hal ini dapat menyebabkan plastik *biodegradable* akan lebih sulit/lama diurai oleh mikroorganisme pengurai di dalam tanah (Sari *et al.*, 2022). Namun pada hari ke 15 semua plastik sudah terdegradasi 90%. Plastik *biodegradable* yang terdegradasi ditandai dengan mengalami kerusakan dan pengurangan massa setelah dilakukan penguburan, dimana plastik dengan konsentrasi  $\text{CaCO}_3$  8 g mengalami proses degradasi yang lebih lama.

#### E. Karakterisasi Gugus Fungsi Menggunakan FTIR

Uji FTIR dilakukan untuk mengetahui gugus fungsi apa saja yang terdapat pada plastik *biodegradable* yang dihasilkan berdasarkan bilangan gelombang. Pengujian ini dilakukan pada bilangan gelombang  $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ .



Gambar 5. Spektrum FTIR Plastik SBS-CaCO<sub>3</sub>

Berdasarkan gambar 5, gugus fungsi yang terdapat pada sampel SB, SBS, dan SBS-CaCO<sub>3</sub> adalah gugus O-H pada bilangan gelombang antara 3500-3200 cm<sup>-1</sup>, ikatan C-H antara 2970-2850 cm<sup>-1</sup>, ikatan C=O antara 1675-1500 cm<sup>-1</sup>, ikatan C-O-C antara 1500-1000 cm<sup>-1</sup>. Hal ini sesuai dengan penelitian (Rahmayetty *et al.*, 2023), pada penelitian tersebut menyatakan selulosa bakteri memiliki 4 gugus fungsi utama yaitu O-H, C-H, C=O, dan C-O-C.

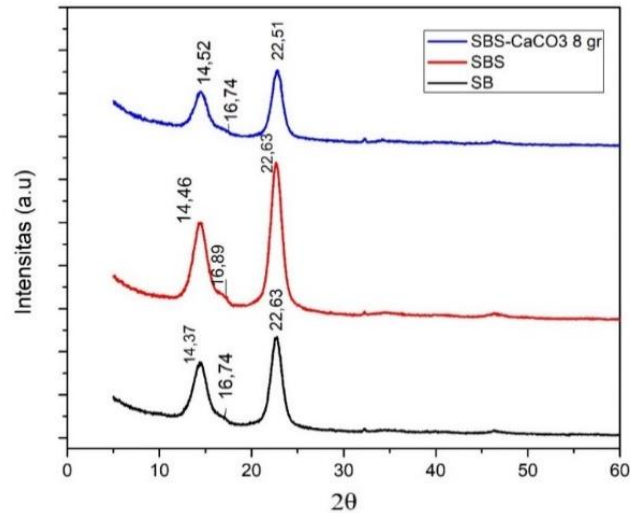
Tabel 1. Bilangan gelombang puncak spektra plastik SBS-CaCO<sub>3</sub>

Sampel	Puncak (cm <sup>-1</sup> )			
	O-H	C-H	C=O	C-O-C
SB	3341,71	2896,45	1643,94	1034,97
SBS	3341,04	2897,62	1641,94	1031,01
SBS-CaCO <sub>3</sub> 8 g	3340,31	2898,36	1644,39	1033,51

Hasil pengujian analisis gugus fungsi dengan instrumen FTIR menunjukkan bahwa hanya terjadi pergeseran gugus fungsi dan tidak ada gugus fungsi baru yang terbentuk. Penambahan sorbitol dan CaCO<sub>3</sub> pada SB menyebabkan terjadinya pergeseran gugus fungsi tersebut. Pada proses pembuatan plastik *biodegradable* yang disertai dengan bahan aditif, dilakukan proses kombinasi secara fisik sehingga tidak ditemukan gugus fungsi baru (Hayati *et al.*, 2020).

## F. Analisa Kristalinitas Plastik menggunakan XRD

Pengujian kristalinitas menggunakan instrumen XRD yang bertujuan untuk mengetahui derajat kristalinitas pada plastik SB, SBS, SBS-CaCO<sub>3</sub>.



Gambar 6. Difraktogram XRD Plastik SBS- $\text{CaCO}_3$

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa difraktogram plastik *biodegradable* ada terbentuk puncak yang tajam dan juga lebar, ini tanda yang menunjukkan adanya amorf dan kristalin. Dari hasil pengujian karakterisasi dengan XRD adanya kesamaan antara difraktogram pada gambar 6 yaitu adanya intensitas atau puncak yang tajam pada difraktogram tersebut, ini merupakan karakter khas suatu selulosa (Rahayu *et al.*, 2014). Difraktogram serat selulosa bakteri menghasilkan 3 puncak difraksi pada sudut  $2\theta=14,2^\circ$ ,  $2\theta=16,7^\circ$ , dan  $2\theta=22,4^\circ$  (Vicente *et al.*, 2017).

Tabel 2. Persentase Kristalin SB, SBS, dan SBS- $\text{CaCO}_3$  8 gram

Sampel	Intensitas tertinggi	Puncak $2\theta$	Height [cts]	Low [cts]	% Kristalinitas
SB	100	22,84	3624,15	108,25	97,01%
SBS	100	14,56	3159,21	133,06	95,79%
SBS- $\text{CaCO}_3$ 8 g	100	22,79	2835,17	87,26	96,92%

Berdasarkan perhitungan derajat kristalinitas pada sampel plastik *biodegradable* didapatkan derajat kristalinitas plastik SB murni sebesar 97,01%, sehingga plastik SB murni memiliki struktur amorf sebesar 2,99%. Untuk derajat kristalinitas SBS sebesar 95,79% dan struktur amorf nya sebesar 4,21% dan untuk derajat kristalinitas SBS- $\text{CaCO}_3$  8 g memiliki derajat kristalinitas sebesar 96,92% dan struktur amorf nya sebesar 3,08%. Kristalinitas selulosa bakteri yang lebih tinggi menunjukkan bahwa serat selulosa yang dibuat oleh bakteri lebih murni daripada selulosa tanaman (Suryanto, 2017b).

Nilai derajat kristalinitas akan mempengaruhi kuat tarik dan kemampuan plastik *biodegradable* untuk terdegradasi. Didalam proses biodegradasi plastik, semakin tinggi

tingkat kristalinitas plastik, semakin sulit plastik tersebut terurai. Namun, bagian amorf dari plastik *biodegradable* akan terurai lebih cepat karena lebih rentan terhadap serangan mikroorganisme pengurai di tanah (Maneking *et al.*, 2020).

## SIMPULAN

Penambahan Kalsium karbonat dengan berbagai variasi dapat mempengaruhi nilai kuat tarik, *elongasi*, elastisitas, dan nilai biodegradasi pada plastik *biodegradable* berbasis Selulosa Bakteri Sorbitol-CaCO<sub>3</sub>. Nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada variasi penambahan 8 g CaCO<sub>3</sub>. Pada uji biodegradasi, plastik terdegradasi 90% setelah 15 hari penguburan di dalam tanah. Semakin banyak penambahan CaCO<sub>3</sub>, maka semakin lama plastik tersebut terdegradasi. Pada analisis gugus fungsi SBS-CaCO<sub>3</sub> menggunakan FTIR tidak ada gugus fungsi baru yang ditemukan dan analisis kristalinitas menunjukkan persentase derajat kristalinitas plastik SBS-CaCO<sub>3</sub> meningkat seiring telah ditambahkan variasi CaCO<sub>3</sub>.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hayati, K., Setyaningrum, C. C., Fatimah, S., Kimia, J. T., Teknik, F., Muhammadiyah, U., Ahmad, S. J., Tromol, Y., & Kartasura, P. (2020). Pengaruh Penambahan Kitosan Terhadap Karakteristik Plastik *Biodegradable* Dari Limbah Nata De Coco Dengan Metode Inversi Fasa. 9–14.
- Hudha M, I., Dewi R, K., Fitri R, J., & Ayu M, N. (2020). Potensi Limbah Keju (Whey) sebagai Bahan Pembuatan Plastik Pengemas yang Ramah Lingkungan. *Media Pengembangan Ilmu Dan Aplikasi Teknik*, 19(01), 46–52.
- Juliani, D., Sutyama, N. E., & Taqi, F. M. (2022). Pengaruh Waktu Pemanasan, Jenis dan Konsentrasi Plasticizer Terhadap Karakteristik Edible Film K-karagenan. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 10(1), 29–40. <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>
- Maneking, E., Sangian, H. F., Herlina, S., & Tongkukul, J. (2020). Pembuatan Dan Karakterisasi Bioplastik Berbahan Dasar Biomassa Dengan Plasticizer Gliserol. *Jurnal Mipa*, 9(1), 23–27.
- Mukhlisien, Suhendrayatna, Montazeri, M., & Amar, H. (2021). Kajian Pembuatan Film Plastik *Biodegradable* Dari Ekstrak Bonggol Jagung. *Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan (JIRL)*, 2(1), 15–19.
- Musa, A., Ahmad, M. B., Hussein, M. Z., Mohd Izham, S., Shameli, K., & Abubakar Sani, H. (2016). Synthesis of Nanocrystalline Cellulose Stabilized Copper Nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/2490906>
- Nisah, K. (2018). Pembuatan Plastik *Biodegradable* Dari Polimer Alam. *Elkawanie*, 4(2). <https://doi.org/10.22373/ekw.v4i2.2849>
- Putra, A., Marrietta, Y., & Amran, A. (2019). Jcnar Journal of Chemical Natural Resources Bacterial Cellulose-Based *Biodegradable* Plastic from Pineapple (*Ananassativus*) Skin Waste: The Effect of Sorbitol on The Quality of The *Biodegradable* Plastic. *Journal Of Chemical Natural Resources*, 01(01), 50–63.
- Ramayetty, yulvianti, M., Toha, M., & Kanani, N. (2023). The Effect of *Acetobacter xylinum* Concentration to Bacterial Cellulose Production Using Waste Water of Palm Flour Industry as Fermentation Medium. In *Proceedings of the 2nd International Conference for Smart Agriculture, Food, and Environment (ICSAFE 2021)* (pp. 99-106). Atlantis Press International BV. [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-090-9\\_12](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-090-9_12)
- Rahmasari, E., Zamhari, M., & Silviyati, I. (2022). Plastik *Biodegradable* Berbasis Carboxymethyl Cellulose dari Ampas Tebu. *Jurnal Pendidikan Dan Teknologi Indonesia*, 2(9), 385–391. <https://doi.org/10.52436/1.jpti.205>



- Sari, N. I., Syahrir, M., Diana, & Pratiwi, E. (2022). Pengaruh Penambahan Filler Kitosan dan  $CaCO_3$  Terhadap Karakteristik Bioplastik dari Umbi Gadung (*Dioscorea Hispida* Densst). *Jurnal Chemica*, 23(1), 78-89.
- Suryanto, H. (2017a). Analisis Struktur Serat Selulosa Dari Bakteri. 3. <https://www.researchgate.net/publication/320508509>
- Suryanto, H. (2017b). Analisis Struktur Serat Selulosa Dari Bakteri. <https://www.researchgate.net/publication/320508509>
- Tutiek Rahayu, & Eli Rohaeti. (2014). Sifat Mekanik Selulosa Bakteri Dari Air Kelapa Dengan Penambahan Kitosan. *Jurnal Penelitian Saintek*, 19(2).
- Vicente, A. T., Araújo, A., Gaspar, D., Santos, L., Marques, A. C., Mendes, M. J., Pereira, L., Fortunato, E., & Martins, R. (2017). Optoelectronics and Bio Devices on Paper Powered by Solar Cells. In *Nanostructured Solar Cells*. InTech. <https://doi.org/10.5772/66695>

