TEKNOSAINS
MEDIA INFORMASI DAN TEKNOLOGI
Journal homepage: https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/teknosains/

Pengaruh penambahan kitosan dan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) terhadap sifat mekanik bioplastik pati biji alpukat

Syafa Nurul Karimah[1*], Muhammad Fahmi Hakim[1], Alfieta Rohmaful Aini[1]
[1]Program Studi Teknik Kimia
Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang
Jl. HS. Ronggo Waluyo, Karawang, Jawa Barat, Indonesia. 41361
*E-mail: syafanurul01@gmail.com

Abstrak: Masalah pengelolaan sampah plastik di Indonesia menjadi semakin mendesak, dengan negara ini menempati peringkat kedua dunia sebagai penghasil sampah plastik terbesar. Sebagai solusi ramah lingkungan, pengembangan bioplastik berbahan dasar pati biji alpukat dengan penambahan kitosan dan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) menjadi alternatif yang menjanjikan karena dapat terurai oleh mikroorganisme. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh penambahan kitosan dan CMC terhadap sifat mekanik, daya serap air, dan biodegradasi bioplastik berbasis pati biji alpukat. Bioplastik dibuat dengan variasi kitosan (2,5 g, 3,5 g, 4,5 g) dan konsentrasi CMC (1%, 2%), menggunakan gliserol sebagai plasticizer. Hasil penelitian menunjukkan kuat tarik tertinggi sebesar 20,59 MPa pada komposisi 4,5 g kitosan dan 1% CMC, elongasi terbaik 48% dengan 2,5 g kitosan dan 1% CMC, serta ketebalan optimum 0,2314 mm dengan 3,5 g kitosan dan 2% CMC. Daya serap air terendah 8% dicapai pada 2,5 g kitosan dan 1% CMC, sementara biodegradasi hampir sempurna terjadi setelah 53 hari.

Kata Kunci: bioplastik, *Carboxymethyl Cellulose*, kitosan, pati biji alpukat, ramah lingkungan

Abstract: The issue of plastic waste management in Indonesia is becoming increasingly urgent, with the country ranking second in the world as the world's largest producer of plastic waste. As an environmentally friendly solution, the development of bioplastics made from avocado seed starch with the addition of chitosan and Carboxymethyl Cellulose (CMC) is a promising alternative because it can be broken down by microorganisms. This study aims to examine the effect of the addition of chitosan and CMC on the mechanical properties, water absorption, and biodegradation of bioplastics based on avocado seed starch.Bioplastics are made with a variation of chitosan (2.5 g, 3.5 g, 4.5 g) and CMC concentrations (1%, 2%), using glycerol as a plasticizer. The results showed the highest tensile strength of 20.59 MPa at a composition of 4.5 g chitosan and 1% CMC, the best elongation of 48% with 2.5 g chitosan and 1% CMC, and an optimum thickness of 0.2314 mm with 3.5 g chitosan and 2% CMC. The lowest water absorption of 8% was achieved at 2.5 g of chitosan and 1% CMC, while near-perfect biodegradation occurred after 53 days

Keywords: bioplastic, Carboxymethyl Cellulose, chitosan, avocado seed starch, environmentally friendly

PENDAHULUAN

Permasalahan plastik telah menjadi salah satu isu lingkungan paling mendesak di dunia saat ini. Setiap tahun, jutaan ton plastik diproduksi dan sebagian besar dari mereka berakhir di tempat pembuangan akhir, lautan, dan lingkungan lainnya. Plastik konvensional yang terbuat dari bahan baku fosil seperti minyak bumi memiliki masa degradasi yang sangat lama, sering kali memakan waktu ratusan hingga ribuan tahun untuk terurai (Jambeck et al., 2015). Sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan dan membahayakan ekosistem (WWF, 2018). Akibatnya, plastik ini berkontribusi pada pencemaran lingkungan, merusak ekosistem, dan mengancam kehidupan satwa liar (WWF, 2018). Kesadaran akan dampak negatif plastik konvensional

Cara Sitasi:
Karimah, S. N., Hakim, M. F., Aini, A. R. (2025). Pengaruh penambahan kitosan dan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC) terhadap sifat mekanik bioplastik pati biji alpukat. *Teknosains: Media Informasi dan Teknologi*, 19(2), 176-184. https://doi.org/10.24252/teknosains.v19i2.58389

Diajukan 23 Juni 2025; Ditinjau 24 Juni 2025; Diterima 16 Juli 2025; Diterbitkan 27 Juli 2025
Copyright © 2025. The authors. This is an open access article under the CC BY-SA license

mendorong pengembangan bioplastik, yaitu plastik yang dapat terurai secara alami dan berasal dari bahan terbarukan (European Bioplastics, 2021). Bioplastk dapat dibuat dari pati, minyak nabati, atau mikroorganisme (Hopewell et al., 2009), dengan pati sebagai salah satu bahan baku utama karena ketersediannya yang melimpah, biodegradabilitasnya tinggi, dan kemampuannya membentuk plastic (Singh & Kaur, 2009; Halley & Averous, 2014). Masyarakat mulai menyadari dampak penggunaan plastik konvensional terhadap pencemaran lingkungan. Plastik berbahan dasar minyak bumi, yang umum digunakan diketahui sulit terurai dan berkontribusi besar terhadap pencemaran lingkungan (Jambeck et al., 2015). Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak untuk mengembangkan bioplastik yang dapat terurai secara alami dan berasal dari sumber daya terbarukan (European Bioplastics, 2021).

Bioplastik adalah jenis plastik yang dibuat dari bahan baku terbarukan seperti pati, minyak nabati, atau mikroorganisme (Hopewell et al., 2009). Beberapa jenis bioplastik juga memiliki kemampuan untuk terurai secara alami dalam lingkungan tertentu, sehingga mengurangi beban sampah plastik di alam (Tokiwa et al., 2009). Pengembangan dan penggunaan bioplastik dapat membantu mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil, menurunkan emisi gas rumah kaca, dan meminimalisir dampak negatif plastik terhadap lingkungan (European Bioplastics, 2021). Pati merupakan salah satu bahan baku utama yang digunakan dalam pembuatan bioplastik karena sifatnya yang melimpah, terbarukan, dan mudah terurai (Halley & Averous, 2014). Keunggulan pati sebagai bahan baku bioplastik adalah ketersediaannya yang luas, biokompatibilitasnya, dan kemampuannya untuk diolah menjadi berbagai jenis plastik dengan sifat yang bervariasi (Singh dan Kaur, 2009).

Salah satu sumber pati alternatif yang masih jarang dimanfaatkan adalah biji alpukat, yang biasanya dibuang sebagai limbah industri pengolahan buah. Biji alpukat mengandung 80,1% pati, 43,3% amilosa, dan 36,8% amilopektin (Winarti & Purnomo, 2006), menjadikannya potensi sumber bioplastik baru. Selain itu, biji alpukat juga diketahui memiliki sifat antimikroba (Vaquez & Glenn, 2017), yang memberikan nilai tambah fungsional pada bioplastik, terutama untuk aplikasi pengemasan makanan (Gutierrez, 2018). Sifat ini memungkinkan bioplastik tidak hanya berfungsi sebagai bahan pengemas, tetapi juga berkontribusi dalam memperpanjang umur simpan produk yang dikemas (Gutierrez., 2018).

Namun, bioplastik berbasis pati murni umumnya memiliki sifat mekanik yang lemah dan mudah rapuh (Thakur er al., 2018). Oleh karena itu, dibutuhkan penambahan bahan tambahan seperti *plastisizer* atau penguat matriks untuk meningkatkan performa material. Penelitian ini memfokuskan pada penambahan kitosan dan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC), dua bahan yang terbukti efektif meningkatkan kekuatan dan kestabilan bioplastik (Averous & Halley, 2014). Kitosan merupakan biopolimer dari cangkang udang dan kepiting yang memiliki sifat antimikroba dan membentuk film kuat. Penambahan kitosan dalam bioplastik pati dapat meningkatkan sifat mekanik dan memperbaiki stabilitas bioplastik terhadap kelembapan (Kumar, 2000; Wu et al., 2009).

CMC dapat berfungsi sebagai penguat matriks pati, meningkatkan kekuatan tarik, fleksibilitas, dan ketahanan terhadap air dari bioplastik (Almasi et al., 2010). CMC dapat mengisi dan meningkatkan kerapatan bioplastik yang terbentuk. Hal ini membuat bioplastik lebih padat dan memiliki struktur yang lebih stabil (Indriyani et al., 2023). Kombinasi kitosan dan CMC dalam bioplastik dari pati diharapkan dapat menghasilkan material dengan sifat mekanik yang lebih baik, menjadikan bioplastik lebih kompetitif sebagai alternatif pengganti plastik konvensional.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana penambahan massa kitosan dan konsentarsi CMC dalam mempengaruhi karakterisasi sifat mekanik bioplastik dari pati biji alpukat. Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya adalah pada pemanfaatan biji alpukat sebagai sumber pati yang belum banyak digunakan, serta kombinasi spesifik antara kitosan dan CMC dalam variasi massa dan konsentarsi. Beberapa studi sebelumnya hanya menggunakan salah satu dari kedua bahan tersebut atau mengaplikasikan pada sumber pati lain (misalnya singkong, jagung, atau kentang), tanpa membahas efek sinerginya secara mendalam pada pati biji alpukat. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi baru dalam pengembangan bioplastik dari limbah pertanian dengan sifat mekanik dan fungsional yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang selama bulan Juli hingga Agustus 2024. Instrumen laboratorium yang digunakan meliputi gelas ukur, beaker, hotplate stirrer, oven, dan mikrometer. Pengujian sifat mekanik bioplastik seperti kuat tarik dan elongasi dilakukan di Balai Besar Standarisasi dan Pelayanan Jasa Industri Karet dan Plastik Yogyakarta, yang telah terakreditasi sesuai SNI ISO/IEC 17025.Populasi dalam penelitian ini adalah bioplastik berbahan dasar pati biji alpukat yang dikombinasikan dengan kitosan dan *Carboxymethyl Cellulose* (CMC). Sampel terdiri dari enam variasi formulasi bioplastik yang dibedakan berdasarkan variasi massa kitosan (2,5 g, 3,5 g, 4,5 g) dan konsentrasi CMC (1% dan 2%). Kombinasi perlakuan ini disusun berdasarkan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL), yang umum digunakan dalam eksperimen laboratorium untuk mengurangi pengaruh faktor luar dan memberikan distribusi perlakuan secara acak. Setiap variasi perlakuan diuji untuk sifat mekanik yaitu kuat tarik dan elongasi (mengacu pada ASTM D882), sifat fisik seperti ketebalan dan daya serap air dan juga bioderadabilitas dengan metode penguburan tanah selama 14 hari (mengacu pada metode Tokiwa et al. 2009).

Formulasi dasar bioplastik menggunakan 6 g pati dan 2 ml gliserol mengacu pada penelitian oleh Singh & Kaur (2009) serta Halley & Averous (2014), yang menunjukkan rasio tersebut menghasilkan film bioplastik yang stabil. Variasi kitosan dan CMC dipilih berdasarkan studi Wu et al. (2009) dan Almais et al. (2010), yang menyatakan bahwa penambahan kitosan hingga 4,5 g dan CMC hingga 2% efektif meningkatkan kekuatan mekanik dan ketahanan air bioplastik.

Penelitian ini menggunakan dua variabel bebas yaitu massa kitosan dan konsentrasi CMC, dengan enam kombinasi perlakuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi perlakuan massa kitosan dan konsentrasi CMC

Sampel	Variasi			
	Pati	Gliserol	CMC	Kitosan
S1	6 g	2 ml	1%	2,5 g
S2	6 g	2 ml	1%	3,5 g
S3	6 g	2 ml	1%	4,5 g
T1	6 g	2 ml	2%	2,5 g
T2	6 g	2 ml	2%	3,5 g
T3	6 g	2 ml	2%	4,5 g

Setiap variasi sampel yang ada pada Tabel 1 dilakukan serangkaian uji meliputi (1) Uji kuat tarik (*tensile strength*) dan elongasi menggunakan standar ASTM D882-18, (2)

Uji ketebalan menggunakan mikrometer sekrup pada lima titik pengukuran, (3) Uji daya serap air dilakukan dengan metode perendaman dalam akuades dan perhitungan kenaikan massa, dan (4) Uji biodegradasi dilakukan dengan cara mengubur sampel di tanah kompos selama 53 hari dan diamati perubahan bentuk dan degradasinya setiap minggu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuat tarik (*tensile strength*) adalah ukuran kekuatan film secara spesifik, merupakan tarikan maksimum yang dapat dicapai sampai film tetap bertahan sebelum putus atau sobek (Krochta & Johnston, 1997). Berdasarkan data pada Tabel 2, didapat hasil nilai tertinggi pada sampel S3, yaitu 20,59 MPa, melebihi standar JIS sebesar ≥ 3,92 MPa. Hal ini disebabkan adanya interaksi antara gugus amina dan hidroksil pada kitosan dengan gugus karboksil dan hidroksil pada CMC, membentuk ikatan hidrogen dan memperkuat struktur jaringan polimer (Wu et al., 2009; Almais et al., 2010).

Tabel 2. Data hasil kuat tarik berbagai sampel pada penelitian

Sampel	Variasi	Kekuatan Tarik (MPa)
S1	2,5 gr kitosan dan 1% CMC	5,8164
S2	3,5 gr kitosan dan 1% CMC	14,1482
S3	4,5 gr kitosan dan 1% CMC	20,5938
T1	2,5 gr kitosan dan 2% CMC	13,381
T2	3,5 gr kitosan dan 2% CMC	15,5306
T3	4,5 gr kitosan dan 2% CMC	14,1884

Kitosan mengandung gugus amina (-NH_2) dan hidroksil (-OH) yang dapat membentuk ikatan hidrogen dengan gugus karboksil (-COOH) dan hidroksil pada CMC. Ikatan hidrogen ini membantu memperkuat struktur bioplastik dengan meningkatkan kepadatan dan stabilitas jaringan polimer, sehingga nilai kuat tariknya meningkat (Jamari et al., 2023). Ketika kitosan dan CMC dicampur, keduanya berinteraksi satu sama lain sehingga membentuk matriks yang lebih homogen. Artinya, distribusi molekul dalam bioplastik menjadi lebih seragam sehingga dapat menyebabkan struktur menjadi lebih padat (Coniwanti et al., 2014).

Kitosan dan CMC adalah polimer dengan gugus fungsional yang dapat saling berinteraksi melalui ikatan hidrogen. Pada konsentrasi yang lebih tinggi, interaksi ini bisa menjadi terlalu kuat, mengurangi mobilitas molekul polimer dan menyebabkan peningkatan kerapuhan material. Akibatnya, bioplastik menjadi lebih mudah patah ketika dikenai tegangan, sehingga menurunkan nilai kuat tariknya (Ghanbarzadeh & Almasi, 2011). Nilai kuat tarik pada penelitian ini telah memenuhi standar minimal nilai kuat tarik berdasarkan *Japanese Industrial Standard* yaitu 3,92 Mpa (JIS 2-1707). Kuat tarik optimum dari bioplastik yang dihasilkan pada penelitian adalah 20,5938 Mpa dengan Penambahan 4,5 g dan konsentrasi CMC 1%.

Parameter uji selanjutnya yaitu uji perpanjangan putus (elongasi). Perpanjangan putus menentukan elasitas plastik. Perpanjangan putus dilakukan untuk mengetahui kemampuan pemanjangan bioplastik, semakin tinggi nilai perpanjangan putus pada bioplastik maka semakin flesksibel dan elastis (Handayani & Nurzanah, 2018). Nilai perpanjangan putus tertinggi terdapat pada sampel S1 sebesar 48% dengan konsentrasi CMC 1% dan terendah yaitu pada sampel T1 sebesar 2% dengan konsentrasi CMC 2%. Penambahan kitosan dapat menurunkan nilai elongasi bioplastik, hal ini menunjukkan bahwa jumlah kitosan yang ditambahkan dapat mengurangi jarak ikatan antarmolekul (Wirawan et al., 2012). Penurunan jarak ini disebabkan oleh peningkatan jumlah ikatan

hidrogen yang terbentuk antara komponen pati-CMC-kitosan. Sehingga nilai perpanjangan putus (elongasi) semakin menurun seiring dengan meningkatnya jumlah kitosan yang ditambahkan. Hal ini sejalan dengan temuan Almasi et al. (2010) dan Wu et al. (2009), yang menyatakan bahwa ikatan antar molekul akibat penambahan kitosan dan CMC meningkatkan kerapatan jaringan polimer, tetapi dapat mengurangi fleksibilitas material. Penambahan CMC yang terlalu banyak dapat menyebabkan CMC tidak mampu mengikat plastisizer dengan optimal, sehingga plasticizer seperti gliserol menjadi tidak efektif. Akibatnya bioplastik yang dihasilkan menjadi keras dan rapuh (Halley & Averous, 2014).

Tabel 3. Data hasil perpanjangan putus (elongasi) berbagai sampel pada penelitian

Sampel	Variasi	Perpanjangan Putus (%)
S1	2,5 gr kitosan dan 1% CMC	48,664
S2	3,5 gr kitosan dan 1% CMC	3,988
S3	4,5 gr kitosan dan 1% CMC	5,92
T1	2,5 gr kitosan dan 2% CMC	2,904
T2	3,5 gr kitosan dan 2% CMC	5,31
T3	4,5 gr kitosan dan 2% CMC	4,072

Gugus OH yang terdapat pada CMC akan lebih mudah berikatan dengan gugus OH pada pati yang memungkinkan akan semakin rapat seiring peningkatan konsentrasi CMC dan meningkatkan nilai kuat tariknya namun akan menurunkan nilai persen pemanjangan putus karena hanya terdapat sedikit ruang kosong pada susunan kimia plastik. Nilai kuat tarik berbanding terbalik dengan perpanjangan putus (elongasi) (Ariska & Suyatno, 2015). Krochta & Jhonston (1997) dalam Fardhyanti & Syara (2015), menyatakan bahwa persentase elongasi *film* plastik dikatakan baik jika nilainya lebih dari 50% dan dikatakan kurang baik jika nilainya dibawah 10%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *film* plastik yang dihasilkan pada variasi S1 (kitosan 2,5g dan CMC 1%) sebesar 48% cukup baik karena nilainya diatas 10%.

Parameter uji selanjutnya yaitu uji ketebalan. Pengujian ini penting dilakukan karena akan memengaruhi hasil karakterisasi sifat mekanik bioplastik (Zhou, 2016). Pengujian ketebalan bioplastik menggunakan alat micrometer secrup dimana nilai ketebalan bioplastik diperoleh dari hasil rata-rata pengukuran yang dilakukan pada lima titik berbeda. Uji ketebalan dilakukan karena memiliki hubungan terhadap sifat ketahanan air dan semakin meningkat pada bioplastik (Setiani, 2013).

Tabel 4. Data hasil uji ketebalan berbagai sampel pada penelitian

Sampel	Variasi	Ketebalan (mm)
S1	2,5 gr kitosan dan 1% CMC	0,1968
S2	3,5 gr kitosan dan 1% CMC	0,1902
S3	4,5 gr kitosan dan 1% CMC	0,217
T1	2,5 gr kitosan dan 2% CMC	0,2022
T2	3,5 gr kitosan dan 2% CMC	0,2314
T3	4,5 gr kitosan dan 2% CMC	0,2106

Nilai ketebalan tertinggi terdapat pada sampel T2 yaitu 0,2314 mm dan yang terendah pada sampel S2 sebesar 0,1902 mm. Nilai ketebalan mengalami peningkatan pada konsentrasi CMC 2% dengan variasi kitosan 2,5g dan 3,5g, tetapi terjadi penurunan pada massa kitosan 4,5g. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Erni et al. (2015) yang memperoleh nilai ketebalan bioplastik dari pati ubi nagara yang semakin meningkat seiring dengan panambahan konsentrasi CMC hingga 3%.

Peningkatan ketebalan disebabkan karena semakin banyak total padatan yang terdapat pada larutan maka semakin tebal pula *film* plastik yang terbentuk (Handayani, 2010). Selain itu, menurunnya ketebalan dipengaruhi oleh banyaknya padatan terlarut, luas permukaan, distribusi padatan terlarut, dan proses pencetakan. Ketebalan tertinggi pada penelitian ini terdapat pada sampel T2 yaitu 0,2314 mm dengan variasi kitosan 3,5g dan CMC 2%. Nilai ketebalan yang diperoleh sudah tergolong baik karena di bawah standar maksimal ketebalan bioplastik pada *Japanesse Industrial Standart* (JIS) yaitu sebesar ≤ 0,25 mm (JIS, 1975).

Parameter uji selanjutnya yaitu daya serap air. Daya serap air merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui kemampuan suatu material dalam menahan maupun menyerap air. Sifat ini merupakan salah satu sifat utama bagi material plastik guna menunjang fungsinya sebagai bahan pengemas yaitu menjaga umur simpan suatu produk (Ikhwanuddin,2018).

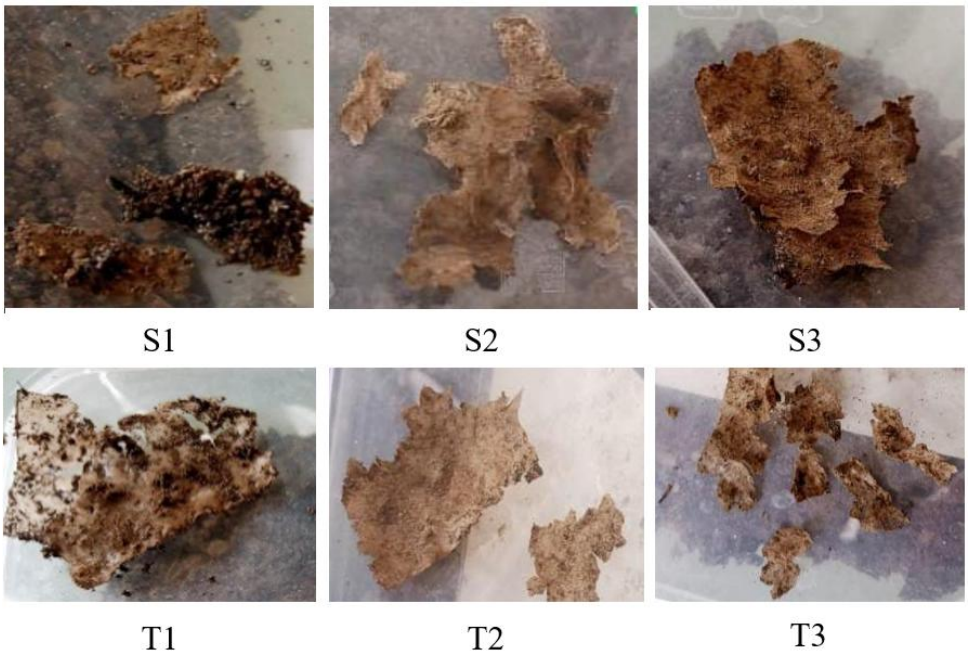
Tabel 5. Data hasil daya serap air berbagai sampel pada penelitian

Sampel	Variasi	Daya Serap Air (%)
S1	2,5 gr kitosan dan 1% CMC	8
S2	3,5 gr kitosan dan 1% CMC	12
S3	4,5 gr kitosan dan 1% CMC	17
T1	2,5 gr kitosan dan 2% CMC	18
T2	3,5 gr kitosan dan 2% CMC	16
T3	4,5 gr kitosan dan 2% CMC	12

Hasil uji daya serap air menunjukkan pola berbeda tergantung konsentrasi CMC. Pada CMC 1%**,** nilai daya serap air meningkat seiring bertambahnya massa kitosan, sedangkan pada CMC 2% justru terjadi penurunan. Hal ini dipengaruhi oleh sifat hidrofilik dari CMC dan kitosan, yang mengandung gugus hidroksil dan karboksilat yang memungkinkan pengikatan air (Tongdeesoontorn, 2011; Nuryati, 2019).

Nilai daya serap tertinggi terdapat pada T1 (2,5 g kitosan dan 2% CMC) sebesar 18%**,** sedangkan yang terendah pada S1 sebesar 8%**.** Rendahnya daya serap air pada S1 menunjukkan struktur film yang lebih kompak dan kuat, sehingga lebih tahan terhadap kelembapan (Rozzana et al., 2022). Daya serap air yang rendah sangat penting dalam aplikasi bioplastik, karena berkontribusi terhadap ketahanan produk terhadap lingkungan lembap, serta mencegah perubahan struktur akibat penetrasi air (Alam et al., 2018). Oleh karena itu, S1 dianggap memiliki sifat paling optimum dalam hal ketahanan air.

Untuk mengevaluasi kemampuan bioplastik terurai secara alami di lingkungan pada penelitian ini juga dilakukan uji biodegradasi. Uji biodegradasi merupakan komponen krusial dalam karakterisasi bioplastik karena memberikan informasi mengenai perilaku material setelah digunakan dan dibuang ke lingkungan. Uji biodegradasi dilakukan dengan memotong sampel menjadi ukuran 5 x 5 cm, kemudian sampel ditimbun dengan tanah. Sampel diletakkan di ruang terbuka, namun tidak terkena panas matahari dan hujan secara langsung. Sampel dibuka setiap satu minggu sekali untuk mengecek kondisi degradasi sampel. Hasil uji biodegradasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Hasil biodegradasi bioplastik selama 53 hari

Hasil uji biodegradasi selama 53 hari menunjukkan bahwa seluruh sampel mengalami degradasi visual yang signifikan. Sampel S1 mengalami degradasi paling cepat dan hampir sempurna, sedangkan T1 menunjukkan laju degradasi yang paling lambat (Tabel 5). Meskipun belum mencapai 100% degradasi penuh seperti standar ASTM D-6002 (60 hari), hasil ini mengindikasikan bahwa bioplastik yang dihasilkan bersifat biodegradable dalam waktu relatif singkat.

Tabel 6. Hasil uji biodegradasi bioplastik selama 53 hari

Kode Sampel	Kitosan (g)	CMC (%)	Hasil Biodegradasi (53 Hari)
S1	2,5	1	Hampir terurai sempurna
S2	3,5	1	Terurai sebagian besar
S3	4,5	1	Terurai sebagian
T1	2,5	2	Terurai sebagian
T2	3,5	2	Terurai sebagian
T3	4,5	2	Terurai sebagian

Faktor-faktor seperti jenis tanah, aktivitas mikroba, kelembapan, serta sifat bahan penyusun sangat memengaruhi laju degradasi (Shakina et al., 2012). Kandungan gugus hidroksil (OH) dan karbonil (CO) dalam pati biji alpukat, kitosan, dan CMC mempermudah proses biodegradasi (Utami et al., 2014). Kitosan berkontribusi dalam mempercepat degradasi melalui interaksinya dengan mikroorganisme tanah, sedangkan CMC**,** sebagai polisakarida dan filler film, dapat menyerap air dan membantu aktivasi biologis mikroba (Wypich, 2003; Wahyuningtyas & Suryanto, 2017). Dengan demikian, kombinasi bahan-bahan tersebut mendukung pembuatan plastik yang ramah lingkungan dan mudah terurai secara hayati dalam waktu yang cukup efisien.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi pati biji alpukat dengan penambahan kitosan dan CMC dapat menghasilkan bioplastik yang bersifat biodegradable dan memiliki karakteristik fisik serta mekanik yang sesuai standar. Variasi komposisi bahan

berpengaruh signifikan terhadap kuat tarik, elongasi, ketebalan, daya serap air, dan laju biodegradasi bioplastik. Sampel terbaik diperoleh pada S1 (2,5 g kitosan dan 1% CMC), dengan nilai elongasi tertinggi (48,66%), daya serap air terendah (8%), serta laju biodegradasi tercepat. Sementara itu, kuat tarik tertinggi diperoleh pada S3 (4,5 g kitosan dan 1% CMC) sebesar 20,59 MPa, melebihi standar minimum JIS (3,92 MPa). Secara keseluruhan, formulasi berbasis pati biji alpukat dengan penambahan kitosan dan CMC terbukti mampu menghasilkan bioplastik yang ramah lingkungan, tahan terhadap air, dan mudah terurai, sehingga berpotensi menggantikan plastik konvensional dalam berbagai aplikasi.

DAFTAR PUSTAKA

Abdillah, A. A., & Charles, A. L. (2021). Characterization of a natural biodegradable edible film obtained from arrowroot starch and iota-carrageenan and application in food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 191, 618-626. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.09.141

Aditia, J., & Putra, A. (2023). Pengaruh penambahan carboxymethyl cellulose (CMC) terhadap sifat mekanik dan biodegradasi plastik biodegradable berbasis selulosa bakteri–polietilen glikol (PEG) dari air kelapa (*Cocos nucifera*). *Periodic*, 12(2), 30-35.

Almasi, H., Ghanbarzadeh, B., & Entezami, A. A. (2010). Physicochemical properties of starch–CMC–nanoclay biodegradable films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 46(1), 1-5. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2009.10.001.

Avérous, L., & Halley, P. J. (2014). Starch polymers: From the laboratory to industrial production. In *Starch Polymers* (pp. 3-10). Elsevier.

Coniwanti, Pamilia, Laila, L., & Mardiyah, R. A. (2014). Pembuatan film plastik biodegredabel dari pati jagung dengan penambahan kitosan dan pemplastis gliserol. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(4).

Fardhyanti, D. S., & Julianur, S. S. (2015). Karakterisasi edible film berbahan dasar ekstrak karagenan dari rumput laut (Eucheuma cottonii). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 4(2), 68–73. https://doi.org/10.15294/jbat.v4i2.4127.

Figueroa, L. O., & Morales, E. (2020). Antimicrobial activity of extracts from avocado seeds. *Food Science and Technology Research*, 26(1), 59–65. https://doi.org/10.3136/fstr.26.59.

Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3(7), e1700782. https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782.

Ginting, M. H. S., Hasibuan, R., Lubis, M., Alanjani, F., Winoto, F. A., & Siregar, R. C. (2018). Supply of avocado starch (Persea americana Mill) as bioplastic material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309(1), 012098. https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012098.

Gutiérrez, T. J. (2018). Characterization and applications of starch-based bioplastics. In *Advances in Biopolymer Applications in Biomedicine, Bioplastics, and Environmental Science*, 147–177. Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813581-0.00007-3.

Handayani, R., & Nurzanah, H. (2018). Karakteristik edible film pati talas dengan penambahan antimikroba dari minyak atsiri lengkuas. *Jurnal Kompetensi Teknik*, 10(1), 1–10.

Hopewell, J., Dvorak, R., & Kosior, E. (2009). Plastics recycling: Challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 2115–2126. https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0311.

Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., ... & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. https://doi.org/10.1126/science.1260352.

Lim, S. T., Hoagland, P. D., & Parris, N. (1999). Plasticization of zein: A thermomechanical, FTIR, and dielectric study. *Journal of Applied Polymer Science*, 71(12), 1967–1978. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19990321)71:123.0.CO;2-9.

Muhammad, R., Ridara, R., & Masrullita. (2020). Synthesis of bioplastic from avocado seed starter with chitosan filling ingredients. *Jurnal Teknologi Kimia*, 9(2), 1–11.

Ningsih, E. P., Ariyani, D., & Sunardi. (2019). Pengaruh penambahan carboxymethyl cellulose terhadap karakteristik bioplastik dari pati ubi nagara (*Ipomoea batatas* L.). *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(1), 77–85. https://doi.org/10.30598/ijcr.2019.7-sun.

Rahmasari, E., Zamhari, M., & Silviyati, I. (2022). Plastik biodegradable berbasis carboxymethyl cellulose dari ampas tebu. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 2(9), 385–391.

Rinaldi, F. S., Ginting, G. M., Ginting, M. H. S., & Hasibuan, R. (2014). Pengaruh penambahan gliserol terhadap sifat kekuatan tarik dan pemanjangan saat putus bioplastik dari pati umbi talas. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(2), 19–24. https://doi.org/10.32734/jtk.v3i2.1608.

Smith, M., Love, D. C., Rochman, C. M., & Neff, R. A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3), 375–386. https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z.

Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., & Aiba, S. (2009). Biodegradability of plastics. *International Journal of Molecular Sciences*, 10(9), 3722–3742. https://doi.org/10.3390/ijms10093722.

Tongdeesoontorn, W., Mauer, L. J., Wongruong, S., Sriburi, P., & Rachtanapun, P. (2011). Effect of carboxymethyl cellulose concentration on physical properties of biodegradable cassava starch-based films. *Chemistry Central Journal*, 5(1), 1–8. https://doi.org/10.1186/1752-153X-5-6.

Vasquez, A., & Glenn, G. M. (2017). Bio-based plastics from fruit seeds. *Journal of Renewable Materials*, 5(2), 88–95. https://doi.org/10.7569/JRM.2017.634112.

Wu, Y., Geng, F., Chang, P. R., Yu, J., & Ma, X. (2009). Effect of agar on the microstructure and performance of potato starch film. *Carbohydrate Polymers*, 76(2), 299–304. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.10.017.

WWF. (2018). *Out of the plastic trap: Saving the Mediterranean from plastic pollution*. WWF Mediterranean Marine Initiative. https://www.wwf.org.uk/.

Yuniastuti, R. T., & Muryeti, S. I. (2021). Sintesis bioplastik dengan pati biji alpukat, selulosa sabut kelapa, sorbitol dan CMC serta penambahan kitosan. *Skripsi.* Jakarta: *Politeknik Negeri Jakarta*.

Yustinah, Noviyanti, S., Hasyim, U., & Syamsudin, A. (2019). Pengaruh penambahan kitosan dalam pembuatan plastik biodegradabel dari rumput laut *Gracilaria* sp dengan pemlastik sorbitol. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019*, 1–6.