

Sifat Mekanik dan Kemampuan Biodegradasi Antimicrobial Bioplastic Berbasis Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus polyrhizus*) dan Ekstrak Daun Biduri (*Calotropis gigantea*)

*Mechanical Properties and Biodegradability Antimicrobial Bioplastic Based on Red Dragon Fruit Peel (*Hylocereus polyrhizus*) and Biduri Leaf Extract (*Calotropis gigantea*)*

Yuvita Lira Vesti Arista^{1)*}, Dewi Mutamimah²⁾

¹⁾Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas PGRI Banyuwangi

²⁾Program Studi Teknologi Hasil Perikanan, Fakultas Pertanian, Universitas PGRI Banyuwangi
Jl. Ikan Tongkol No. 22, Kertosari, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia

*Korespondensi penulis: yuvitalira@uniba.bwi.ac.id

Submisi: 21 Agustus 2023, Review: 1 Oktober 2023, Diterima (Accepted): 31 Desember 2023

ABSTRACT

*Plastic is often chosen as packaging for food products because it's considered practical, non-corrosive, low cost, and able to withstand product water migration, but it's difficult to degrade. So, it need biodegradable plastic to handle that, but most of the biodegradable plastics that have been developed only focus on ease of degradation, do not focus on the microbial contamination problem during use it. One alternative that can be developed is to make antimicrobial bioplastic based on starch from dragon fruit peel and biduri leaves as an antimicrobial source. Until now there is no further information regarding the mechanical properties and degradation ability of antimicrobial bioplastic based on starch from dragon fruit peel and biduri leaf extract. Therefore this research was carried out to determine the mechanical properties including tensile strength, modulus young, and elongation as well as degradation ability against *Aspergillus niger*. The research was conducted using the completely randomized design factorial method which consists 2 factors, where the first factor was the dragon fruit peel starch variation (P1: 15%, P2: 30%, P3: 45%, P4: 60%) and the second factor was the biduri leaf extract addition (B1: 3%, B2: 6%, B3: 9%, B4: 12%). Mechanical properties (elongation and tensile strength) was carried out using Mat. Testing Machine, while modulus young testing uses tension testing. Antimicrobial bioplastic degradation capability testing using *Aspergillus niger* is calculated based on weight loss. The research results showed that the treatment with the addition of 15% dragon fruit peel starch (P1) had good mechanical properties ranging from tensile strength, modulus young, and elongation, while the addition of biduri extract had no effect. The best biodegradation ability was the addition of 60% starch (P4) on antimicrobial bioplastic. The use of starch in greater concentrations can reduce mechanical properties but increase biodegradation capacity.*

Keywords: antimicrobial packaging, biodegradable polymer, cross linking, starch

PENDAHULUAN

Kegiatan penanganan hasil pertanian dan produk pangan tidak terlepas dari penggunaan kemasan plastik karena dinilai

praktis, tidak korosif, *low cost*, dan mampu menahan migrasi air produk ke lingkungan penyimpanan. Plastik memegang peranan penting dalam masyarakat karena banyak

digunakan melindungi dan menjamin keamanan produk serta mencegah kerusakan pangan untuk mengurangi terjadinya potensi *food loss and food waste* (Petkoska *et al.*, 2021). Menurut Aguirre-Joya *et al.* (2018), terdapat sekitar 30% limbah produk pangan karena *handling* yang tidak tepat baik saat penyimpanan maupun saat pendistribusian yang mendominasi TPS (Tempat Pembuangan Sampah), diantaranya sampah kemasan.

Hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan kemasan adalah kemampuan degradasinya. Kemampuan degradasi yang rendah akan meningkatkan potensi pencemaran bagi lingkungan (Petkoska *et al.*, 2021). Plastik yang digunakan dalam pengemasan menimbulkan permasalahan yang cukup serius dimana plastik mengambil bagian dalam memperburuk fenomena global warming, hal ini dapat terjadi karena *raw material* plastik berasal dari hasil pembakaran minyak bumi (Aguirre-Joya *et al.*, 2018; Jeevahan & Chandrasekaran, 2019; Saklani *et al.*, 2019). Permasalahan lain yang ditimbulkan akibat penggunaan plastik yang kurang bijak adalah pencemaran lingkungan. Limbah plastik masih menjadi permasalahan serius yang sulit diselesaikan karena plastik membutuhkan waktu lama dalam proses degradasinya. Rata-rata plastik terdegradasi dalam rentang waktu 100–450 tahun.

Beberapa dekade ini upaya pengurangan limbah plastik dilakukan dengan cara *recycle*, namun upaya ini belum membuahkan hasil optimal karena hanya sekitar 20% saja yang dapat dilakukan *recycle* (Jeevahan & Chandrasekaran, 2019). *Recycling* juga menemui kendala yang sangat serius yaitu

susahnya dalam pengumpulan, sortasi, dan purifikasi limbah plastik. Perlu dilakukan upaya lain dalam penanggulangan permasalahan tersebut salah satunya adalah dengan membuat plastik yang mudah terdegradasi (*biodegradable*). *Biodegradable* plastik hingga saat ini masih dalam tahapan pengembangan, dimana pengganti polimer plastik yang bersifat *non-degradable* diganti dengan yang sifatnya *biodegradable*. Polimer tersebut salah satunya bersumber dari polisakarida (Arincibia *et al.*, 2014; Sánchez-Ortega *et al.*, 2014; Thakur *et al.*, 2018; Xie *et al.*, 2021).

Namun demikian penggunaan pati alami menemui beberapa kendala diantaranya seperti permeabilitas uap air yang rendah, rapuh (elastisitas rendah), dan mudah menyerap air (hidrofilik) sehingga mengakibatkan lapisan film yang dihasilkan memiliki sifat mekanik yang rendah. Oleh sebab itu, perlu upaya penanganan lebih lanjut untuk mengatasi permasalahan pati alami, salah satunya dengan melakukan modifikasi pati dengan metode kimia. Modifikasi pati secara kimia dapat dilakukan dengan menggunakan teknik *cross linking* dengan jalan penambahan STPP (*sodium tripolifosfat*) (Kim & Lee, 2002). Pati yang dilakukan modifikasi *cross linking* akan menghasilkan lapisan film dengan stabilitas yang baik. Lapisan film yang dihasilkan lebih resisten terhadap uap air dan memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) yang baik. Agen pembentuk ikatan silang dari golongan fosfat (STPP) dapat meningkatkan viskositas pati dan juga akan memperbaiki warna lapisan film yang dihasilkan menjadi lebih cerah (Tharanathan, 2005).

Biodegradable plastik yang banyak dikembangkan sebagian besar hanya berfokus kepada kemudahan degradasinya sehingga belum dapat membantu permasalahan dalam cemaran mikroba padahal kerusakan bahan pangan karena cemaran mikroba masih sangat tinggi dan menjadi penyebab tingginya *food loss* dan *food waste*. Oleh sebab itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait plastik *biodegradable* yang mampu berperan dalam mengatasi cemaran mikroba selama pemakaian. Plastik *biodegradable* tersebut disebut sebagai *antimicrobial bioplastic*. Produk *antimicrobial bioplastic* yang pernah dikembangkan antara lain terbuat dari gliserol dan minyak atsiri kulit kayu manis (*Cinnamomum verum*) yang mampu menghambat pertumbuhan mikroba patogen seperti *Escherichia coli* dan *L. monocytogenes* pada apel *fresh cut* selama 9 hari penyimpanan (Naqash *et al.*, 2021). Penelitian serupa oleh Gutierrez-Pacheco *et al.* (2016) yaitu memanfaatkan minyak atsiri daun kayu manis dan pektin yang menunjukkan terjadinya peningkatan efektivitas penghambatan *E. coli*. Pembuatan *antimicrobial packaging* lain yang dilakukan oleh Shafiri & Sajad (2021) dengan memanfaatkan daun dan *pulp* mulberry terenkapsulasi sebagai sumber pektin sekaligus berperan sebagai antimikroba menunjukkan efektifitasnya dalam penghambatan *Staphylococcus aureus* dan *E. coli*.

Selain beberapa *antimicrobial bioplastic* tersebut satu alternatif yang dapat dikembangkan lagi adalah membuat *antimicrobial bioplastic* yang berbasis pati limbah kulit buah naga (*Hylocereus polyrhizus*) dan daun biduri (*Calotropis gigantea*) yang digunakan sebagai sumber

antimikroba. Pemanfaatan kulit buah naga merah dalam pembuatan *bioplastic* sebelumnya pernah dilaporkan oleh Listyarini *et al.* (2020) menunjukkan hasil bahwa *bioplastic* berbasis pektin dan etilen glikol memiliki kuat tarik dan *modulus young* yang baik. Penelitian lain yang dilakukan oleh Troung & Takomi, (2020) terkait pembuatan *bioplastic* berbasis pektin kulit buah naga merah dan *plasticizer* PEG menunjukkan hasil bahwa *bioplastic* yang dihasilkan memiliki nilai kuat tarik yang baik sebesar 5 N/mm². Sementara itu daun biduri mengandung flavonoid, tannin, alkaloid, dan asam linoleat yang dapat berperan sebagai agen antimikroba. Ekstrak etanol daun biduri (*C. gigantea*) efektif menghambat pertumbuhan mikroba diantaranya seperti *Klebsiella*, *Staphylococcus aureus*, dan *Escherichia* sp. (Patel *et al.*, 2023; Pattnaik *et al.*, 2016). Penelitian lain yang dilakukan oleh Ayodha & Guttena (2017) menunjukkan bahwa ekstrak daun biduri mampu menghambat pertumbuhan bakteri *E. coli*, *P. aeruginosa*, *S. aureus*, dan *B. thuringiensis*.

Namun demikian hingga saat ini belum ada informasi lebih lanjut terkait kualitas mutu, khususnya dari sifat mekanik dan kemampuan degradasi *antimicrobial bioplastic* yang berbasis pati limbah kulit buah naga dan ekstrak daun biduri. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik meliputi perpanjangan putus (*elongation*), kekuatan tarik (*tensile strength*), daya elastisitas (*modulus young*), dan kemampuan biodegradasi. *Antimicrobial bioplastic* berbasis pati kulit buah merah yang termodifikasi ikatan silang ini diharapkan dapat menggantikan permasalahan limbah

plastik dan mengurangi permasalahan *food loss* serta *food waste*.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan yaitu neraca analitik (Ohaus), pisau stainless steel, *food chopper*, loyang, spatula, *rotary evaporator* (Buchi), *waterbath* (LabTech), *hotplate stirrer* (IKA), *magnetic stirrer* (Scorex), pH meter (Martini), *cabinet dryer* (LabTech), ayakan 80 mesh, *centrifuge* (Gyrozen), *tension testing* (Shimadzu), *UV-sterilization* (Panasonic), cawan petri (Citotest), *laminar air flow* (Esco), autoklaf (Hirayama), termometer, saringan, pinset, gunting, pipet mikro (Scorex), jarum ose, pipet tetes, oven (Izuzu), bunsen, *shaker incubator* (JP Selecta), *plug*, *spreader*, inkubator (Memmert), dan *glassware*.

Bahan baku dalam pembuatan pati adalah kulit buah naga merah (*hylocereus polyrhizus*) dari hasil sortasi yang sudah tidak memiliki nilai jual di pedagang pengepul buah naga di Kabupaten Banyuwangi. Bahan pembantu dalam modifikasi yaitu STTP (sodium tripolipospat), HCl 1 M, dan NaOH 1 N.

Bahan untuk pembuatan ekstrak biduri yaitu daun biduri (*Calotropis gigantea*) dari daerah pantai dan pemukiman kosong dekat pantai di Kabupaten Banyuwangi. Pengambilan daun biduri dilakukan pada pagi hari (antara 05.00–06.00 WIB). Bahan lain yang digunakan dalam ekstraksi biduri yaitu etanol 96%.

Bahan lain yang digunakan dalam analisis penelitian diantaranya PBAT (*polybutylene adipate-co-terephthalate*), gliserin, aquades, air mineral, kain saring,

kertas saring *whatmann* 42, larutan buffer pH 4 dan 7, alkohol 70%, *Aspergillus niger* yang diperoleh dari proses isolasi dari tempat pembuangan sampah (TPS) di area Wongsorejo-Banyuwangi, agarosa BHB (*Bushnell Haas Broth*) (Himedia), agarose BHA (*Bushnell Haas Agar*) (Himedia), dan PDB (*Potato Dextrosa Broth*) (Himedia) dan PDA (*Potato Dextrosa Agar*) (Himedia).

Tahapan Penelitian

Ekstraksi Pati Kulit Buah Naga

Ekstraksi pati mengacu pada Sinaga *et al.* (2014) yang telah dimodifikasi lama waktu pengeringannya. Kulit buah naga dibersihkan dan dipotong ukuran 1×1 cm, kemudian dilanjutkan dengan pencucian dan juga penirisan. Selanjutnya kulit buah dihaluskan menggunakan *chopper* dan dilakukan penambahan air dengan perbandingan 1:1. Bubur kulit buah naga kemudian didiamkan selama 24 jam dan dilanjutkan dengan dekantasi. Filtrat yang diperoleh kemudian dilakukan pengeringan selama 14 jam suhu 50°C.

Pembuatan Pati Kulit Buah Termodifikasi (Setiyoko & Fety, 2021)

Pembuatan pati kulit buah naga termodifikasi yaitu dengan menyuspensikan pati kulit buah naga alami sebanyak 60 g ke dalam 60 mL aquades dan dilanjutkan dengan penambahan 2% STPP untuk memaksimalkan proses *cross linking*. Penambahan NaOH 1 N dilakukan pada suspensi cairan hingga pH mencapai 10 sambil dilakukan homogenisasi. Tahap selanjutnya, suspensi dipanaskan selama 60 menit pada suhu 45°C sambil dilakukan pengadukan. Bubur pati kemudian ditambah HCl 1 M hingga pH netral (pH 7)

dan dilanjutkan pengendapan selama 24 jam. Campuran suspensi didekantasi untuk memisahkan filtrat dan dilanjutkan dengan pengeringan selama 24 jam suhu 40°C. Pati termodifikasi kemudian dihaluskan dan diayak dengan ayakan 80 mesh.

Pembuatan Ekstrak Simplisia Biduri (Noviyanti et al., 2020)

Daun biduri (*Calotropis gigantea*) dipetik dan dikecilkan ukurannya ($\pm 3 \times 5$ cm). Daun biduri yang sudah dipotong kemudian dikering-anginkan pada suhu ruang selama 7 hari dan dilakukan penghalusan dengan blender. Serbuk simplisia yang diperoleh selanjutnya dilakukan maserasi dengan perbandingan 1:10 dengan menggunakan pelarut etanol 96%. Maserasi dilakukan selama 7 hari, kemudian dilakukan pemisahan ekstrak dengan pelarut menggunakan *rotary evaporator*, kemudian dilakukan pemekatan dengan *waterbath* sehingga diperoleh ekstrak simplisia biduri.

Pembuatan Antimicrobial Bioplastic Berbasis Pati Kulit Buah Naga Termodifikasi dan Ekstrak Daun Biduri

Pembuatan *antimicrobial bioplastic* berbasis pati kulit buah naga termodifikasi mengacu pada beberapa metode (Basiak *et al.*, 2014; Alqahtani *et al.*, 2021; Saman *et al.*, 2019) yang telah dimodifikasi. Prinsip gelatinisasi pati digunakan dalam pembuatan *antimicrobial bioplastic* berbasis pati yakni dengan melakukan penambahan air pada pati kemudian dilakukan pemanasan hingga pati mengalami gelatinisasi. Saman *et al.* (2019) menyatakan bahwa gelatinisasi mengakibatkan terbentuknya ikatan

hidrogen sehingga ikatan amilosa akan berdekatan.

Tahap pembuatan *antimicrobial bioplastic* adalah dengan menimbang pati termodifikasi dengan beberapa kombinasi variasi yaitu 15% (P1), 30% (P2), 45% (P3), 60% (P4), dan ekstrak daun biduri yaitu 3% (B1), 6% (B2), 9% (B3), 12% (B4) dan melarutkannya ke dalam 100 mL aquades, kemudian dilakukan penambahan PBAT (*polybutylene adipat terephthalate*) dan gliserin masing-masing sebesar 20% (b/b) pati. Suspensi yang telah terbentuk dipanaskan suhu 85°C selama 30 menit dengan menggunakan *hotplate stirrer*. Suspensi yang telah tergelatinisasi kemudian disaring untuk memisahkan partikel yang masih menggumpal. Tahap selanjutnya adalah melakukan pencetakan 25 mL suspensi dengan menuangkannya ke dalam cawan petri dan dilanjutkan dengan pengeringan menggunakan *cabinet dryer* suhu 55°C selama 18 jam. *Antimicrobial bioplastic* yang telah terbentuk selanjutnya dipindahkan ke desikator sebelum dilakukan pengujian sifat mekanis.

Rancangan Percobaan

Penelitian dilakukan dengan metode rancangan acak lengkap faktorial yang terdiri atas 2 faktor. Faktor pertama dalam pembuatan *antimicrobial bioplastic* terdiri dari variasi pati kulit buah naga 15% (P1), 30% (P2), 45% (P3), dan 60% (P4), sedangkan faktor kedua merupakan penambahan ekstrak daun biduri dengan variasi 3% (B1), 6% (B2), 9% (B3), dan 12% (B4). Dengan demikian, terdapat 16 kombinasi perlakuan dan pengulangan sebanyak 3 kali.

Metode Analisis

Sifat Mekanik Antimicrobial Bioplastic Berbasis Kulit Buah Naga Merah dan Ekstrak Daun Biduri

Pengujian kekuatan tarik (*tensile strength*) dan *elongation antimicrobial bioplastic* (ASTM, 2005)

Pengujian kekuatan tarik *antimicrobial bioplastic* mengacu pada metode *American Standar Testing Material D 638* (2005). Lapisan film yang telah dibuat dikecilkan ukurannya (panjang 70 mm, lebar 20 mm). Ujung lapisan film diletakkan pada alat *tension testing machine* dengan cara dijepit dan dilanjutkan pencatatan panjang awal. Tahap selanjutnya dilakukan pengukuran dengan menekan tombol *start*, pengukuran yang dilakukan adalah dengan menarik lapisan film hingga putus. Hasil pengujian kekuatan tarik (*tensile strength*) dan *elongation* akan tertera pada layar alat dan dapat dilakukan pencatatan.

Pengujian daya elastisitas (*modulus young antimicrobial bioplastic*)

Pengujian *modulus young* atau daya elastisitas mengacu pada metode *Lailinyngtyas et al.* (2020) dengan menggunakan bantuan *tension testing machine*. Pengujian dilakukan dengan menyiapkan sampel berukuran 2×10 cm pada ketebalan ≤7 mm, dan dilakukan penjepitan 1,5 cm pada kedua panjang sisinya. Sebelum melakukan pengujian dipastikan *extensometer* dan pengukur regangan sudah terpasang dengan baik. Kemudian dilanjutkan dengan pengukuran beban dan tegangan. Tahap selanjutnya dilakukan pencatatan hasil kurva beban-tegangan sebelum dan sesaat putus. Pengujian *modulus young* dilakukan

sebanyak 3 kali pengulangan. Rumus hitung *modulus young* yaitu:

$$\text{Modulus young} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Keterangan: σ = tegangan, ϵ = perenggangan

Pengujian Kemampuan Biodegradasi Antimicrobial Bioplastic Kulit Buah Naga Merah dan Ekstrak Daun Biduri

Isolasi fungi pendegradasi sampah plastik (Fa'is *et al.*, 2020 & Kumar *et al.*, 2013)

Isolasi fungi dilakukan pada sampel tanah dari tempat pembuangan akhir sampah di Desa Sidodadi, Kecamatan Wongsorejo, Kabupaten Banyuwangi. Sampel tanah yang sudah diambil (1 gram) kemudian dimasukkan dalam aquades steril pada tabung reaksi sehingga diperoleh pengenceran 10⁻². Suspensi yang telah terbentuk selanjutnya diambil sebanyak 1 mL dan dimasukkan ke dalam erlemeyer yang telah berisikan media PDB (*Potato Dextrosa Broth*). Suspensi yang telah terbentuk selanjutnya dilakukan inkubasi selama 7×24 jam pada *shaker incubator*.

Fungi yang tumbuh selanjutnya diambil sebanyak 100 µL untuk diletakkan dalam *petridish* yang telah berisikan *antimicrobial bioplastic* + BHA (*Bushnell Haas Agar*), dan dilakukan pemerataan dengan menggunakan *spreader*. Sampel diinkubasi selama 7×24 jam suhu 37°C hingga terbentuk koloni pada permukaan media BHA+*antimicrobial bioplastic*.

Pemurnian/isolasi fungi *Aspergillus niger* (Fa'is *et al.*, 2020 & Kumar *et al.*, 2013)

Koloni yang terbentuk pada permukaan media BHA + *antimicrobial bioplastic* dimurnikan dengan cara mengambil isolat dengan bantuan *plug* dan selanjutnya diinokulasikan pada media

PDA (*Potato Dextrosa Agar*) yang baru. Inkubasi dilakukan selama 7×24 jam suhu 37°C. Proses permurnian dilakukan secara berulang kali hingga diperoleh isolat *Aspergillus niger* murni, ditandai dengan adanya kesamaan karakteristik secara makro dan mikroskopik dengan isolat murni referensi.

Preparasi *antimicrobial bioplastic* (Fa'is *et al.*, 2020 & Kumar *et al.*, 2013)

Antimicrobial bioplastic yang akan dilakukan pengujian biodegradasi terlebih dahulu dilakukan pengecilan ukuran 2×2 cm. Sampel uji disterilisasi selama 30 menit menggunakan alkohol 70% dan dilanjutkan dengan pengovenan selama 24 jam pada suhu 50°C. Tahap selanjutnya sampel dikeringkan selama 30 menit dengan menggunakan sinar ultraviolet (UV) dan dilanjutkan dengan pengovenan suhu 50°C.

Pengujian kemampuan biodegradasi *antimicrobial bioplastic* berbasis pati (Fa'is *et al.*, 2021; Muhonja *et al.*, 2018)

Pengujian biodegradasi pada biodegradabel plastik menggunakan bantuan fungi indigenus yang mengacu pada penelitian Fa'is *et al.* (2021) bahwa kapang indigenus yang banyak dijumpai pada bekas tanah TPSA (Tempat Pembuangan Sampah Akhir) dan memiliki kerja yang optimal berasal dari golongan *Aspergillus niger*. Isolat *A. niger* yang digunakan dalam penelitian ini diisolasi dari sampel tanah di Tempat Pembuangan Sampah (TPS) yang terletak di Wongsorejo Kabupaten Banyuwangi. Isolat *Aspergillus niger* dilakukan pemindahan kultur sekitar 25 mL (10%) ke dalam erlenmeyer yang berisi media BHB dan sampel *antimicrobial bioplastic* steril berukuran

2×2 cm². Campuran inokulum dan sampel *antimicrobial bioplastic* diinkubasi pada suhu 28°C selama 30 hari.

Perhitungan kemampuan biodegradasi berdasarkan *weight loss* (Deepika & Jaya, 2015)

Sampel *antimicrobial bioplastic* dipisahkan dari media (*Bushnell Haas Broth*) setelah inkubasi dan dibersihkan dengan etanol 70% sebanyak 4 kali. Sampel tersebut kemudian dikeringkan dengan oven suhu 50°C (*overnight*). Berat awal dan berat akhir residu polimer dan *antimicrobial bioplastic packaging* ditimbang untuk mengetahui terjadinya *weight loss*. Rumus untuk mengetahui persentase *weight loss* yaitu:

$$WL (\%) = \frac{B1-B2}{B1} \times 100$$

Dimana: WL = *weight loss*, B1= berat awal sampel, B2 = berat akhir sampel

Analisis Data

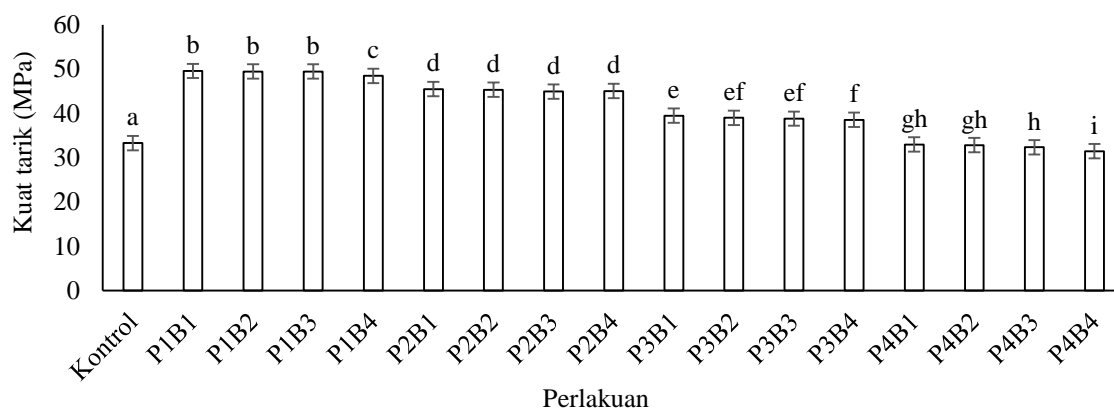
Data yang diperoleh selanjutnya dilakukan analisis sidik ragam (ANOVA) dengan bantuan *software* SPSS versi 21. Uji lanjut *duncan multiple range test* (DMRT) pada taraf kepercayaan 95% dilakukan apabila hasil menunjukkan perbedaan nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Mekanik Antimicrobial *Bioplastic* Berbasis Kulit Buah Naga Merah dan Ekstrak Daun Biduri

Tensile Strenght (Kekuatan Tarik)

Kekuatan tarik/*tensile strength* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kapasitas tegangan maksimal suatu *bioplastic* (Budiman *et al.*, 2018).



Gambar 1. Nilai kuat tarik (*tensile strength*) antimicrobial bioplastic dengan perlakuan penambahan pati kulit buah naga merah variasi 15% (P1), 30% (P2), 45% (P3), 60% (P4) dan penambahan ekstrak daun biduri variasi 3% (B1), 6% (B2), 9% (B3), 12% (B4)

Kekuatan tarik antimicrobial bioplastic kulit buah naga merah dan ekstrak daun biduri disajikan pada **Gambar 1**. Penggunaan pati kulit buah naga merah termodifikasi *cross linking* menunjukkan bahwa lapisan film yang dihasilkan memiliki nilai kekuatan tarik yang lebih baik dibandingkan pada lapisan film tanpa modifikasi pati (kontrol). Saman *et al.* (2019) menyatakan bahwa peningkatan kekuatan tarik pada pati yang dimodifikasi disebabkan karena penambahan STPP (*sodium tripoliphospat*) memicu terbentuknya ikatan silang antara zat pengikat dengan gugus hidroksil.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan pati termodifikasi berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap kekuatan tarik antimicrobial bioplastic kulit buah naga merah dan ekstrak daun biduri yang dihasilkan. Menurut Alqahtani *et al.* (2021), peningkatan kekuatan tarik (*tensile strength*) pada kemasan biodegradable berbahan pati termodifikasi disebabkan karena adanya pembentukan hidrogen antar makromolekul dan pada jaringan matriks bagian dalam sehingga dengan demikian bioplastic menjadi lebih

kuat. Hal tersebut sejalan dengan pernyataan Das *et al.* (2010) bahwa pati termodifikasi dengan metode *cross linking* menghasilkan memiliki daya *elongation* yang baik dikarenakan reagen *cross linking* membentuk ikatan dengan gugus OH pati sehingga membentuk hubungan antara gugus hidroksil dengan eter yang mampu memperbaiki kekuatan mekanik.

Gambar 1 juga menunjukkan bahwa semakin banyak penambahan pati mengakibatkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan menjadi rendah. Nilai kekuatan tarik paling tinggi pada perlakuan penambahan pati sebesar 15% (P1) diikuti penambahan pati 30% (P2) dan 40% (P3), sedangkan nilai kuat tarik paling rendah dijumpai pada penambahan pati sebesar 60% (P4). González *et al.* (2018) menyatakan bahwa penggunaan pati pada konsentrasi 30–40% membuat nilai kekuatan tarik menurun, terbukti saat dilakukan pengamatan dengan menggunakan mikroskop SEM (*Scanning Electron Microscope*) terlihat banyak retakan yang terbentuk. Akan tetapi, antimicrobial bioplastic pada variasi penambahan pati kulit buah naga termodifikasi 15%, 30%,

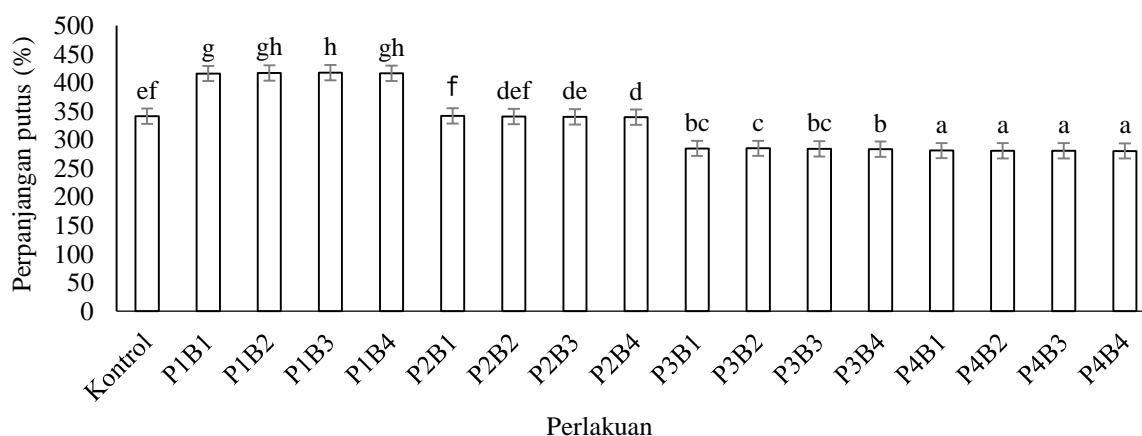
dan 45% memiliki nilai lebih dari 32,71 MPa (**Gambar 1**) sehingga telah memenuhi ketetapan nilai kekuatan tarik plastik konvensional (berbasis polietilen) sebesar 32,71 MPa (Boedeker, 2023).

Perpanjangan Putus (Elongation) Antimicrobial Bioplastic Kulit Buah Naga Merah dan Ekstrak Daun Biduri

Elongation atau perpanjangan putus (%) merepresentasikan perubahan panjang lapisan film saat ditarik hingga mengalami putus (Saman *et al.*, 2019). *Elongation* juga dikenal sebagai nilai yang menunjukkan bentangan dan fleksibilitas lapisan film. Saman *et al.* (2019) menyatakan bahwa nilai *elongation* atau pemanjangan putus yang rendah menunjukkan bahwa *biodegradable film* yang dihasilkan mudah putus atau mengalami keretakan. *Elongation* menentukan elastisitas suatu plastik, nilai yang semakin besar menunjukkan bahwa plastik tersebut dapat ditarik semakin panjang/mulur atau plastik semakin elastis (Budiman *et al.*, 2018). *Biodegradable film* yang dijadikan sebagai kemasan harus mampu memenuhi

golongan ke dalam *moderate properties* yaitu harus memiliki nilai perpanjangan putus atau elongasi sebesar 10–20%. Nilai daya perpanjangan putus (*elongation antimicrobial bioplastic* berbasis kulit buah naga merah dan ekstrak daun biduri tersaji pada **Gambar 2**.

Hasil uji DMRT pada taraf 5% terkait nilai perpanjangan putus (*elongation*) menunjukkan bahwa penambahan pati termodifikasi berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap nilai *elongation antimicrobial bioplastic*. Nilai perpanjangan putus paling baik terdapat pada *antimicrobial bioplastic* variasi pati kulit buah naga termodifikasi 15% (P1) dengan nilai 416% disusul variasi pati 30% (P2) dengan nilai 341%. Variasi pati 45% (P3) dan 60% (P4) memiliki nilai perpanjangan putus pada rentang yang sama yaitu 284%. **Gambar 2** juga menunjukkan penambahan pati pada konsentrasi yang semakin tinggi justru menghasilkan lapisan film dengan nilai *elongation* yang semakin rendah namun keseluruhan *antimicrobial bioplastic* berbasis pati kulit buah naga merah termodifikasi ikatan silang (*cross linking*)



Gambar 2. Nilai perpanjangan putus (*elongation antimicrobial bioplastic* dengan perlakuan penambahan pati kulit buah naga merah variasi 15% (P1), 30% (P2), 45% (P3), 60% (P4) dan penambahan ekstrak daun biduri variasi 3% (B1), 6% (B2), 9% (B3), 12% (B4)

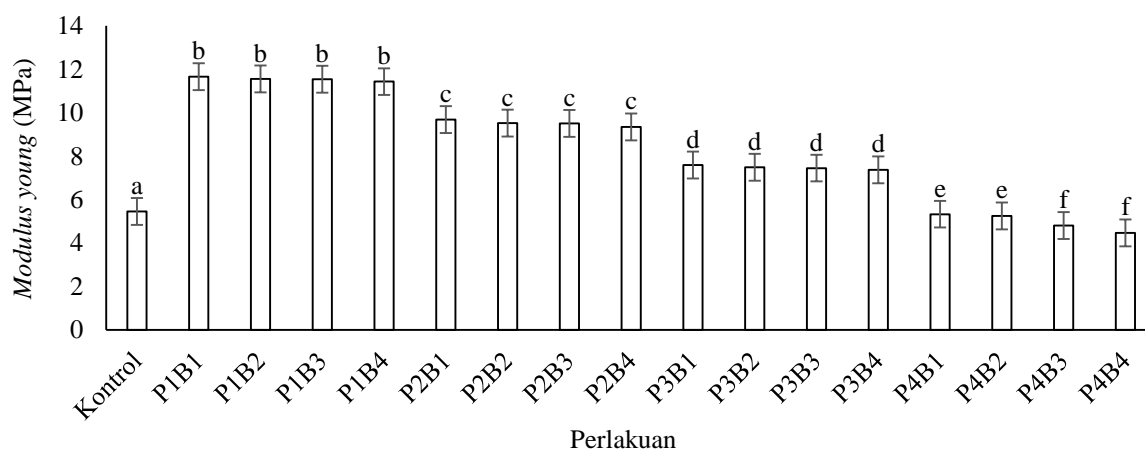
telah memenuhi standar mutu yang ditetapkan oleh *Enviplast Bioplastic* yaitu sebesar 225–300% dan juga telah memenuhi ketetapan berdasarkan SNI *ecoplastic* konvensional yaitu sebesar 21–220%.

Modulus Young (Daya Elastisitas) Antimicrobial Bioplastic Berbasis Kulit Buah Naga Merah dan Ekstrak Daun Biduri

Modulus young (daya elastisitas) merupakan sebuah perbandingan antara nilai perpanjangan putus dengan kekuatan tarik sehingga besaran nilai *modulus young* akan memengaruhi nilai/daya elastisitas *bioplastic* yang dihasilkan (Askeland *et al.*, 2010). *Modulus young bioplastic* berkaitan erat dengan regangan tarik dan kekuatan tarik, dimana semakin besar nilai *modulus young* menunjukkan bahwa *bioplastic* tersebut memiliki daya elastisitas yang baik (Fa'is *et al.*, 2021).

Hasil uji DMRT pada taraf 5% terkait *modulus young* (**Gambar 3**) menunjukkan bahwa penambahan pati berpengaruh nyata ($p>0,05$) terhadap nilai *modulus young antimicrobial bioplastic*, semakin tinggi

penambahan pati maka nilai *modulus young* semakin rendah. Nilai *modulus young* paling tinggi terdapat pada *antimicrobial bioplastic* variasi penambahan kulit buah naga termodifikasi sebesar 15% (P1) sebesar 11,6 MPa, diikuti dengan penambahan pati termodifikasi variasi 30% (P2) sebesar 9,68 MPa, pati termodifikasi 45% (P3) sebesar 7,5 MPa, dan pati termodifikasi 60% (P4) sebesar 5,2 MPa. **Gambar 3** menunjukkan bahwa semakin banyak penggunaan pati dalam pembuatan *bioplastic* dapat mengakibatkan *modulus young* atau daya elastisitas menurun. Hal ini sejalan dengan penelitian Cornelia *et al.* (2013), dimana semakin tinggi konsentrasi pati pada pembuatan *bioplastic* dapat mengakibatkan daya elastisitas dan produk menjadi lebih rapuh. Hal ini disebabkan karena penambahan pati yang semakin tinggi dapat mengurangi kompatibilitas campuran. Aidzan *et al.* (2009) juga menyatakan bahwa penggunaan pati pada persentase di atas 20% mengakibatkan bioplastik yang dihasilkan menjadi lebih rapuh. Nilai *modulus young antimicrobial bioplastic* berbasis pati buah naga termodifikasi sudah memenuhi standar



Gambar 3. Nilai *modulus young* (daya elastisitas) *antimicrobial bioplastic* dengan perlakuan penambahan pati kulit buah naga merah variasi 15% (P1), 30% (P2), 45% (P3), 60% (P4) dan penambahan ekstrak daun biduri variasi 3% (B1), 6% (B2), 9% (B3), 12% (B4)

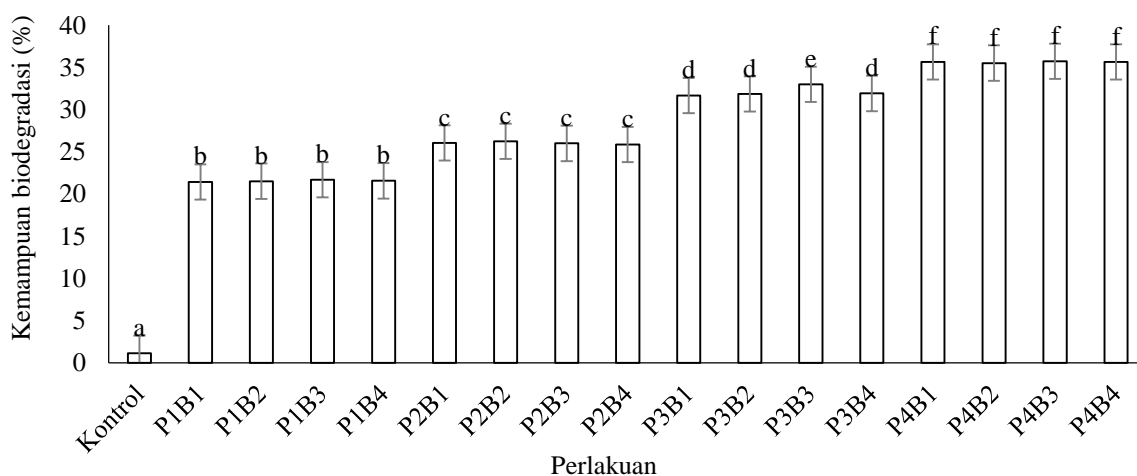
mutu yang ditetapkan oleh Enviplast Bioplastik dimana nilai *modulus young antimicrobial bioplastic* harus berada pada kisaran 5,3–6 Mpa. Namun demikian nilai *modulus young antimicrobial* ini belum memenuhi ketetapan berdasar SNI *ecoplastic* konvensional dengan rentang nilai 117–137 MPa.

Kemampuan Biodegradasi Antimicrobial Bioplastic Berbasis Kulit Buah Naga Merah dan Ekstrak Daun Biduri

Kemampuan biodegradasi *antimicrobial bioplastic* berbasis pati kulit buah naga merah termodifikasi dan ekstrak biduri mengacu pada prinsip penurunan persentase susut bobot (*weight loss*). Hasil uji DMRT pada taraf 5% menunjukkan bahwa penambahan pati berpengaruh nyata ($p > 0,05$) terhadap kemampuan degradasi *antimicrobial bioplastic* dimana semakin tinggi penambahan pati maka nilai kemampuan degradasi semakin tinggi. Kemampuan degradasi yang semakin tinggi menandakan bahwa *antimicrobial bioplastic* yang dihasilkan akan lebih cepat

terurai oleh organisme yang ada di alam (alami) ketika bioplastik ini dibuang ke lingkungan. Dari sisi penambahan ekstrak daun biduri, hal tersebut tidak memberikan pengaruh terhadap daya biodegradasi oleh *A. niger*. Ekstrak daun biduri dilaporkan mampu menghambat pertumbuhan jenis bakteri yaitu *Klebsiella*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia* sp., *E. coli*, *P. aeruginosa*, dan *B. thuringiensis* (Patel *et al.*, 2023; Pattnaik *et al.*, 2016; Ayodha & Guttena, 2017). Pada penelitian ini juga penambahan ekstrak daun biduri pada *antimicrobial bioplastic* dimaksudkan sebagai antimikroba ketika *antimicrobial bioplastic* ini diaplikasikan untuk membungkus bahan pangan sehingga bahan/produk pangan tidak/minim terkontaminasi.

Kemampuan biodegradasi *antimicrobial bioplastic* disajikan pada **Gambar 4**. Kemampuan degradasi oleh kapang *Aspergillus niger* paling tinggi adalah *antimicrobial bioplastic* penambahan pati kulit buah naga 60% (P4). Hal ini sejalan dengan penelitian Fa'is *et al.*



Gambar 4. Nilai kemampuan biodegradasi *antimicrobial bioplastic* dengan perlakuan penambahan pati kulit buah naga merah variasi 15% (P1), 30% (P2), 45% (P3), 60% (P4) dan penambahan ekstrak daun biduri variasi 3% (B1), 6% (B2), 9% (B3), 12% (B4)

(2021) bahwa kapang *Aspergillus niger* mampu mendegradasi *bioplastic* berbasis pati hingga mencapai 20,18%.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Nissa *et al.* (2019) menunjukkan bahwa penggunaan *Aspergillus* sp. yang ditumbuhkan pada media *Salt Agar* (SA) mampu mendegradasi *bioplastic* berbasis pati dimana kemampuan degradasi mencapai 21,84%. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Urbanek *et al.* (2017) juga menunjukkan bahwa penggunaan *Aspergillus niger* dalam bentuk biakan cair mampu mendegradasi *biodegradable starch* dengan persentase mencapai 22,07% dalam kurun waktu 30 hari.

Yunar (2011) menyatakan bahwa kapang *Aspergillus niger* memiliki enzim yang mampu mendegradasi komponen *bioplastic*. Enzim yang berperan dalam degradasi plastik terbagi menjadi 3 kelompok diantaranya seperti enzim glukosaminase yang mampu memecah ikatan polimer monosakarida menjadi komponen yang lebih sederhana. Enzim α -1,4 glukosaminohidrolase (endoamilase) yang mampu menghidrolisis ikatan α -1,4 glikosidik pada struktur pati khususnya pada komponen amilopektin dan amilosa menjadi maltose dan dekstrin. Enzim golongan terakhir adalah α -glukan maltohidrase (eksomilase) yang dapat memecah rantai utama pada pati.

KESIMPULAN

Antimicrobial bioplastic dengan penambahan pati kulit buah naga 15% (P1) memiliki sifat mekanik yaitu *tensile strength* (kekuatan tarik), *modulus young* (daya elastisitas), dan *elongation* (perpanjangan putus) paling baik, diikuti perlakuan penambahan pati kulit buah naga

variasi 30% (P2), 45% (P3), dan 60% (P4). Kemampuan biodegradasi paling baik pada kombinasi penambahan pati kulit buah naga 60% (P4) dan ekstrak daun biduri 12% (B4). Semakin tinggi pati kulit buah naga, maka dapat menurunkan sifat mekanik *antimicrobial bioplastic*, akan tetapi meningkatkan kemampuan biodegradasi.

Antimicrobial bioplastic berbasis pati kulit buah naga termodifikasi telah memenuhi standar nilai kekuatan tarik (*tensile strength*) plastik konvensional (plastik berbasis polietilen) sebesar 32,71 MPa. Nilai *elongation* (perpanjangan putus) juga telah memenuhi ketetapan berdasar SNI *Ecoplastic* Konvensional yaitu sebesar 21–220%. Begitupun oleh enzim bioplastik dimana nilai *modulus young bioplastic* harus berada pada kisaran 5,3–6 MPa. Dengan demikian maka *antimicrobial bioplastic* berbasis kulit buah naga merah dan ekstrak daun biduri dapat digunakan sebagai alternatif pengganti plastik konvensional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Riset dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mensponsori kegiatan penelitian sebagai bagian dari skema Penelitian Dosen Pemula tahun anggaran 2023.

DAFTAR PUSTAKA

Aguirre-Joya, A.J, Miguel, A., De Leon-Zapata, Olga, B.A.P, Cristian, T.L, & Diana. (2018). Basic and applied concepts of edible packaging for food. In *Food Packaging and Preservation* (pp. 1–61). Elsevier Inc.

- <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-811516-9.00001-4>
- Aidzan, W., Ali, R.A., Jamaluddin, J., & Mohammad, I.I. (2009). Development of polyethylene sago based biofilm via blown film molding technique. Faculty of Chemical and Natural Resources. Malaysia, Universiti Teknologi Malaysia.
- Alqahtani, N., Tareq, A., & Salim, A. (2021). Development of low-cost biodegradable films from corn starch and date palm pits (*Phoenix dactylifera*). *Journal Food Bioscience*, 42, 2–7. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101199>
- Askeland, D.R., Fulay, P.P., & Wright, W.J. (2010). *The science and engineering of materials 6th edition*. USA: Cengage Learning.
- Arincibia, M., Gimenez, B., Lopez-Caballero M.E., Gomez-Guill, M.C., & Montero, P. (2014). Release of cinnamon essential oil from polysaccharide bilayer films and its use for microbial growth inhibition in chilled shrimps. *Journal LWT - Food Science and Technology*, 59(2), 1–7. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.06.031>
- ASTM (American Standar Testing Material D638). (2005). *Standard test method for tensile poperties of plastic*. Philadelphia: American Society for Testing Materials.
- Ayodha, D., & Guttena, V. (2017). One-pot green synthesis, characterization, photocatalytic, sensing, and antimicrobial studies of *Calotropis gigantea* leaf extract capped CdS NPs. *Journal Materials Science & Engineering: B*, 225, 33–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mseb.2017.08.008>
- Basiak, E., Sabina, G., & Andrzej, L. (2014). Characterisation of composite edible films based on wheat starch and whey-protein isolate. *International Journal of Food Science and Technology*, 50(2), 372–380. DOI: 10.1111/ijfs.12628
- Budiman, J., Rodiana, N., & Shanti, D.L. (2018). Karakteristik Bioplastik dari pati buah lindur (*Bruguiera gymnorrizha*). *Fishtech – Jurnal Teknologi Hasil Perikanan*, 7(1), 49–59.
- Boedeker, USA. (2017). Polyethylene Specifications. [online]. Boedeker Plastic INC. (Available at: http://www.boedker.com/polyp_p.html) [Accesed 26 December 2023].
- Cornelia, M., Syarief, R., Effendi, H., & Nurtama, B. (2013). Pemanfaatan Pati Biji Durian (*Durio zibethinus* Murr.) dan pati sago (*Metroxylon* sp.) dalam pembuatan bioplastik. *J. Kimia Kemasan*, 35(1), 20–29.
- Das, K., Dipa, R., Bandyopadhyay, N.R, Anirudhha, G., Suparna, S., Saswata, S., . . . Manjusuri, M. (2010). Preparation and characterization of cross-linked starch/poly (vinyl alcohol) green films with low moisture absorption. *Journal Ind. Eng.Chem*, 49, 2176–2185.
- Deepika, S., & Jaya. M.R. (2015). Biodegradation of low density polyethylene by microorganisms from garbage soil. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 3, 15–21.
- Fa'is, J.A., Ratna, S.D., & Ajeng, A.S. (2021). Biodegradasi Bioplastik berbasis pati menggunakan isolat fungi indigenous asal tempat pembuangan akhir Gunung Tugel, Kabupaten Banyumas. *BioEksakta: Jurnal Ilmiah Biologi Unsoed*, 3(4), 205–215.

- González, A., Gastelú, G., Gabriela, N.B., Pablo, D.R., & Cecilia, I.Á.I. (2018). Preparation and characterization of soy protein films reinforced with cellulose nanofibers obtained from soybean by-products. *Journal Food Hydrocolloids*, 89, 758–764. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.11.051
- Gutierrez-Pacheco, M.M., Ortega-Ramirez L.A., Cruz-Valenzuela, M.R., Silva-Espinoza, B.A., Gonzalez-Aguilar, G.A., & Ayala-Zavala, J.F. (2016). *Antimicrobial food packaging. Chapter 50: Combinational Approaches for antimicrobial packaging: Pectin and cinnamon leaf oil*, pp: 609–708. Academia Press. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-800723-5.00050-4>
- Jeevahan, J., & Chandrasekaran, M. (2019). Nanoedible films for food packaging: A review. *Journal Mater Sci*. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03742-y>
- Kim, M., & Lee, S.J. (2002). Characteristics of crosslinked potato starch and starch-filled linear low-density polyethylene films. *Journal Carbohydrate Polymers*, 50(4), 331–337. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00057-7](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00057-7)
- Kumar, S., Merina, P.D.L., Jeyanthi, R., & Sharmila, S. (2013). Isolation and identification of LDPE degrading fungi from municipal solid waste. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 5(3), 78–81.
- Lailyningtyas, D.I., Musthofa, L., & Ary, M.A. (2020). Uji mekanik bioplastik berbahan pati umbi ganyong (*Canna edulis*) dengan variasi selulosa asetat dan sorbitol. *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 8(1), 91–100. <https://doi.org/10.21776/ub.jkptb.2020.08.01.09>
- Listyarini, R.V., Puspita, R.S., Esther, N.N., & Maria, A.T.Y. (2020). Bioplastic from pectin of dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 23(6), 203–208. <https://doi.org/10.14710/jksa.23.6.203-208>
- Muhonja, C.N., Huxley, M., Gabriel, M., & Mabel, I. (2018). Biodegradability of polyethylene by bacteria and fungi from *Dandora dumpsite* Nairobi-Kenya. *Journal PLOS-ONE*, 13(7), 1–17. DOI: 10.1371/journal.pone.0198446
- Naqash, F., Masoodi F.A., Omeera, A., & Sadaf, P. (2021). Effect of active pectin edible coatings on the safety and quality of fresh-cut apple. *International Journal of Food Science and Technology*, pp. 1–10. DOI: 10.1111/ijfs.15059
- Nissa, R.C., Fikriyyah, A.K., Abdullah, A.H.D., & Pudjiraharti, S. (2019). Preliminary study of biodegradability of starch-based bioplastics using ASTM G21-70, dip-hanging, and soil burial test methods. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 277(1).
- Noviyanti, Y., Hepiyansori, & Yudan, A. (2020). Identifikasi dan penetapan kadar senyawa tanin pada ekstrak daun biduri (*Calotropis gigantea*) metode spektrofotometri UV-Vis. *Jurnal Ilmiah Manuntung*, 6(1), 57–64.
- Patel, S., Anubhav, D., & Ajay, K.G. (2023). Evaluation of antimicrobial activity of *Calotropis gigantea* extracts on two main skin infection causing bacteria - *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. *Journal of Food and Nutritional Sciences*, 145–157.

- Pattnaik, P.K., Dattatreya, K., Hiranyamayee, C., Sajad, S., Goutam, G., & Ananya, K. (2016). Chemometric profile & antimicrobial activities of leaf extract of *Calotropis procera* and *Calotropis gigantea*. *Journal Natural Product Research*, 1–5. (Available at <http://www.tandfonline.com/loi/gnpl20>)
- Petkoska, A.T., Davor, D., Nathan, M.D., Nenad, N., & Anita, T.B. (2021). Edible packaging: Sustainable solutions and novel trends in food packaging. *Journal Food Research International*, 140, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981>
- Saklani, P., Siddhnath, Sambit, K.D., & Shiv, M.S. (2019). A Review of edible packaging for foods. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 8(7), 2885–2895. <https://doi.org/10.20546/ijemas.2019.807.359>
- Saman, W.R., Indah, Y., & Sugiarto. (2019). Physicochemical characteristics and functional properties of white sweet potato starch. *International Journal of Engineering and Management Research*, 9(3), 53–57. <https://doi.org/10.31033/ijemr.9.3.7>
- Sánchez-Ortega, I., Blanca, E.G.A., Eva, M.S.L., Aldo, A.R., Eleazar, J.B.C., & Carlos, R. (2014). Antimicrobial edible films and coatings for meat and meat products preservation: Review article. *Scientific World Journal*, 1–18. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/248935>
- Setiyoko, A., & Fety, A.Y. (2021). Pengaruh lama pengadukan dan konsentrasi stpp terhadap karakteristik pati suweg (*Amorphophallus campanulatus*) termodifikasi ikatan silang. *Jurnal Teknologi Hasil Pertanian*, 14(2), 108–116. <https://doi.org/10.20961/jthp.v14i2.51984>
- Shafiri, K.A., & Sajad, P. (2021). Biodegradable flm of black mulberry pulp pectin/chlorophyll of black mulberry leaf encapsulated with carboxymethylcellulose/silica nanoparticles: Investigation of physicochemical and antimicrobial properties. *Journal Materials Chemistry and Physics*, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2021.124580>
- Sinaga, R.F., Gita, M.G., Hendra, M.S.G., & Rosdanelli, H. (2014). Pengaruh penambahan gliserol terhadap sifat kekuatan tarik dan pemanjangan putus bioplastik dari pati umbi talas. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 3(2), 19–24.
- Thakur, R., Pristijono, P., Bowyer, M., Singh, S.P., Scarlett, C.J., Stathopoulos, C.E., & Vuong, Q.V. (2018). A starch edible surface coating delays banana fruit ripening. *Journal LWT-Food Science and Technology*. 100, 341–347. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.055>
- Tharanathan, R.N. (2005). Starch — Value addition by modification: Critical reviews. *Journal Food Science and Nutrition*, 45(5), 371–384. DOI: 10.1080/10408390590967702
- Truong, T.C.T., & Takomi, K. (2020). Pectin bioplastic films regenerated from dragon fruit peels. *Journal Enviromental Sciences*, 62(4), 18–22. DOI: 10.31276/VJSTE.
- Urbanek, A.K., Rymowicz, W., Strzelecki, M.C., Kociuba, W., Franczak, Ł., & Mirończuk, A.M., 2017. Isolation and Characterization of arctic microorganisms decomposing bioplastics. *Amb. Express*, 7(1), 148–158.

- Xie, F., Eric, P., Peter, J.H., & Luc, A. (2021). Advanced nano-biocomposites based on starch. Ialam *Polysaccharides*, pp. 1–75. Springer International Publishing Switzerland. DOI 10.1007/978-3-319-03751-6_50-1
- Yunar, V. (2011). “Evaluasi Biodegradabilitas Plastik Berbahan Dasar Campuran Pati dan Polietilen Menggunakan ASTM G21-09, Uji Mikroorganisme, dan Uji Lapangan”. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.