



ANALISIS PENGARUH PENAMBAHAN POLIETILEN GLIKOL (PEG) TERHADAP KARAKTERISTIK BIOPLASTIK BERBASIS NIRA AREN (*Arenga pinnata*)

[Effect of Polyethylene Glycol (PEG) Addition on the Characteristics of Arenga sap (*Arenga pinnata*)-Based Bioplastics]

Mohammad Rizky^{1*}, RH. Fitri Faradilla¹, Mariani L¹

¹Jurusan Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, Universitas Halu Oleo, Kendari

*Email: rhizky.muhammad01@gmail.com (Telp: +6282296615173)

Diterima tanggal 20 Januari 2025

Disetujui tanggal 30 Mei 2025

ABSTRACT

Bioplastic development represents a promising strategy to reduce plastic waste pollution. Some bioplastics exhibit rigidity and limited elasticity. Incorporating plasticizers, such as polyethylene glycol (PEG), improves flexibility. This study evaluated the effect of PEG 1000 on cellulose formation, physicochemical properties, and FTIR profiles of bioplastics. A completely randomized design (CRD) with five treatments was applied: A1 (0% PEG 1000), A2 (1%), A3 (2%), A4 (3%), and A5 (4%). Data were analyzed using Analysis of Variance (ANOVA), and significant differences were further assessed by Duncan's Multiple Range Test (DMRT) at 95% confidence. All treatments significantly affected cellulose thickness and weight, highest in A4 (5.38 mm and 22.58 g), and bioplastic thickness and weight, highest in A4 (0.203 mm and 0.57 g). PEG addition did not significantly affect water absorption (86–103%). Tensile strength and elongation differed significantly between A1 and A4, with A4 showing the highest values (371.38 MPa and 2.29%). FTIR analysis revealed no new functional groups, indicating that the bioplastic is a physical blend retaining the properties of its components.

Keywords: Bioplastic, cellulose, palm juice, polyethylene glycol (1000).

ABSTRAK

Pengembangan bioplastik menjadi salah satu strategi untuk mengurangi pencemaran sampah plastik. Beberapa bioplastik yang dihasilkan bersifat kaku dan kurang elastis. Penambahan plasticizer, seperti polietilen glikol (PEG), dapat meningkatkan elastisitas. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh PEG 1000 terhadap pembentukan selulosa, karakteristik fisik bioplastik, dan profil FTIR. Metode menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan lima perlakuan: A1 (0% PEG 1000), A2 (1%), A3 (2%), A4 (3%), dan A5 (4%). Data dianalisis menggunakan Analisis Varian (ANOVA), dan perbedaan nyata dilanjutkan dengan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) pada tingkat kepercayaan 95%. Hasil menunjukkan semua perlakuan berpengaruh sangat nyata ($p < 0,05$) terhadap ketebalan dan berat selulosa, tertinggi pada A4 (5,38 mm dan 22,58 g), serta ketebalan dan berat bioplastik tertinggi pada A4 (0,203 mm dan 0,57 g). Penambahan PEG tidak berpengaruh signifikan terhadap kapasitas penyerapan air (86–103%). Hasil uji kuat tarik dan elongasi berbeda nyata antara A1 dan A4, dengan nilai tertinggi pada A4 (371,38 MPa dan 2,29%). Analisis FTIR tidak menunjukkan terbentuknya gugus fungsi baru, menandakan bioplastik merupakan hasil blending fisik yang mempertahankan sifat komponen penyusunnya.

Kata kunci: Bioplastik, nira aren, polietilen glikol (1000), selulosa.

PENDAHULUAN

Pengembangan bioplastik atau plastik *biodegradable* merupakan salah satu upaya yang bisa dilakukan dalam menghadapi pencemaran sampah plastik. Bioplastik memiliki sifat *biodegradable* dan dapat terurai hingga 67% dalam waktu 2 - 3 minggu pada media *sludge* aktif pengolahan air limbah (Andahera et al., 2019). Plastik



biodegradable dapat terbuat dari bahan polimer alami seperti pati, selulosa, dan lemak (Kamsiati *et al.*, 2017). Selulosa menjadi penting untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik karena pemakaian plastik yang semakin besar akan menyebabkan pencemaran lingkungan (Dewanti, 2018). Selulosa adalah biopolimer alami yang banyak terdapat di alam dan merupakan polimer rantai lurus yang terdiri dari ratusan hingga puluhan ribu ikatan glikosida β -(1,4) unit D-glukosa, yang menyebabkan molekul-molekul selulosa membentuk rantai yang saling bersisian, kokoh dan lurus (Alaydin *et al.*, 2020). Selain ditemukan alami pada tumbuhan, selulosa dapat juga diproduksi oleh bakteri. Jenis selulosa ini disebut dengan bioselulosa atau selulosa mikrobial.

Selulosa mikrobial dapat dibuat melalui proses fermentasi menggunakan bakteri *Acetobacter xylinum*. Pertumbuhan selulosa dipengaruhi oleh aktivitas *Acetobacter xylinum* yang dapat dipengaruhi oleh pH, suhu, sumber nitrogen dan sumber karbon. Secara teknis selulosa dapat dibuat dari campuran berbagai media, karena untuk pertumbuhan dari bakteri *Acetobacter xylinum* dalam pembuatan selulosa diperlukan gula, asam organik dan mineral (Majesty *et al.*, 2015). Salah satu bahan yang bisa digunakan sebagai media fermentasi *Acetobacter xylinum* adalah nira aren. Nira aren dapat dimanfaatkan sebagai media fermentasi *Acetobacter xylinum* karena nira aren mengandung gula dalam kisaran 13,9% hingga 14,9% lebih tinggi dibandingkan kandungan gula air kelapa, yaitu 4,5% hingga 6% (Ningsih *et al.*, 2020). Selulosa tumbuhan dan selulosa mikrobial memiliki struktur kimia yang sama, namun sifat fisik dan kimianya berbeda. Salah satu keunggulan selulosa mikrobial adalah kemurniannya yang tinggi jika dibandingkan dengan selulosa tumbuhan yang menghasilkan lignin dan produk hemiselulosa lainnya (Nurjannah *et al.*, 2020). Berdasarkan uraian-uraian di atas, maka selulosa berpotensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan bioplastik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme secara alami sehingga lebih ramah lingkungan.

Penelitian tentang pembuatan bioplastik dengan bahan dasar selulosa sudah sangat banyak dilakukan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Kamaluddin *et al.* (2022) dengan memanfaatkan selulosa yang berasal dari limbah kertas HVS, dan pada penelitian tentang bioplastik dari *Nata de Soya* yang dilakukan oleh Ramadhon (2022) namun bioplastik yang dihasilkan mempunyai sifat yang kaku dan kurang elastis. Untuk mengatasi hal tersebut, maka perlu ditambahkan *plasticizer* pada bioplastik sebagai pemlastis. Penelitian dari Sitompul dan Zubaidah (2017) menyatakan bahwa *plasticizer* polietilen glikol memiliki kelebihan yaitu lebih kuat dan tebal daripada *plasticizer* lainnya. Penambahan PEG juga dapat meningkatkan kompatibilitas dan sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi) serta mempunyai sifat yang stabil terhadap panas. Sifatnya yang mudah larut dalam air dan kesamaan secara struktur kimia karena adanya gugus hidroksil primer pada ujung rantai polieter yang mengandung oksietilen (-CH₂-CH₂-O-) serta kestabilannya membuat PEG tepat dijadikan *Plasticizer* untuk pembuatan plastik *biodegradable* (Prameswari *et al.*, 2022). Berdasarkan uraian yang telah dijelaskan



sebelumnya, maka dalam penelitian ini penulis melaporkan hasil kajian pengaruh penambahan PEG 1000 terhadap karakteristik bioplastik yang dihasilkan.

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri atas bahan utama, bahan pendukung dan bahan analisis. Bahan utama yang digunakan yaitu nira aren, starter *Acetobacter xylinum* dan Polietilen Glikol (PEG) 1000. Bahan pendukung berupa air kelapa tua, nanas masak, gula pasir, ZA food grade, asam asetat (teknis) dan spirtus. Bahan untuk analisis terdiri dari aquades dan alkohol 70% (teknis).

Tahapan Penelitian

Pembuatan Media Starter (Suzanni et al., 2020)

Satu buah nanas dikupas lalu dibersihkan kemudian sebanyak 500 gram diparut hingga menjadi bubur nanas. Nanas yang telah diparut kemudian diperas lalu disaring untuk diambil sarinya. Kemudian ke dalam larutan air kelapa sebanyak 2000 mL ditambahkan gula sebanyak 0,4%, sari nanas 4%, ZA food grade 0,4% dan cuka 0,4%. Campuran tersebut diaduk hingga larut secara sempurna lalu dimasukkan sebanyak 350 mL ke dalam botol kaca ukuran 500 mL.

Peremajaan Starter *Acetobacter xylinum* (Lempang, 2017)

Media campuran yang sebanyak 350 mL harus disterilkan terlebih dahulu dengan menggunakan autoclave pada suhu 121° C selama 15 menit dan ditutup dengan kertas yang sebelumnya sudah disterilkan. Setelah media disterilkan, selanjutnya didinginkan hingga mencapai suhu ruang ($\pm 28^{\circ}\text{C}$). Setelah media tersebut dingin maka dilakukan inokulasi atau memasukkan starter induk *Acetobacter xylinum* sebanyak 50 mL secara aseptis dengan cara didekatkan dengan api bunsen. Selanjutnya, media yang telah diinokulasi didiamkan pada tempat yang bersih dan dengan suhu ruang selama 4-5 hari. Selama pembuatan starter wadah tidak boleh digoncang dan dipindah-pindah karena berpengaruh terhadap lapisan nata yang dihasilkan

Pembuatan Selulosa Nira Aren Modifikasi (Ningsih et al., 2021 Modifikasi)

Nira aren segar disaring kemudian dimasukkan sebanyak 100 mL ke dalam botol kaca dengan kapasitas 150 mL, dicampurkan dengan ZA food grade 0,4%, cuka 0,4% lalu tambahkan dengan PEG 1000 dengan variasi penambahan, yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%. Jika sudah larut sempurna kemudian disterilkan menggunakan autoclave pada suhu 121° C selama 15 menit. Setelah dikeluarkan dari autoclave, dinginkan hingga mencapai suhu ruang setelah kemudian inokulasi dengan memasukkan starter *Acetobacter xylinum* sebanyak 10 mL ke dalam masing-masing botol. Proses inokulasi dilakukan secara aseptis dengan didekatkan pada api bunsen. Sampel yang telah diinokulasi dituangkan kedalam cawan petri sebanyak 50 mL. Sampel yang telah dituang ke



dalam cawan petri dimasukkan ke dalam nampan selanjutnya masukkan kedalam lemari inkubasi. Inkubasi dilakukan selama 10 hari pada suhu ruang.

Pembuatan Bioplastik (Ningsih et al., 2021)

Selulosa yang telah terbentuk setelah proses inkubasi selama 10 hari kemudian dibersihkan. Selulosa yang telah dibersihkan lalu direndam dengan air selama 12 jam (semalam). Kemudian setelah proses perendaman selama 12 jam selulosa tersebut dikeringkan dengan menggunakan kipas angin hingga menjadi bioplastik.

Uji Ketebalan dan Berat Selulosa (Nur et al., 2021)

Ketebalan selulosa diukur dengan menggunakan jangka sorong digital (skala mm). pengukuran dilakukan pada 5 sisi atau 5 bagian dari selulosa di setiap perlakuan dan ulangannya. Setelah selulosa diukur ketebalannya kemudian selulosa ditimbang beratnya dengan menggunakan timbangan analitik. Hasil yang diperoleh dari pengukuran ketebalan dan berat selulosa pada setiap perlakuan dan ulangan tersebut kemudian dirata-ratakan.

Uji Ketebalan dan Berat Bioplastik (Putra dan Thamrin, 2022)

Pengukuran ketebalan bioplastik dapat lakukan dengan menggunakan jangka sorong digital (skala mm). pengukuran ini dilakukan pada 5 sisi yang berbeda dari bioplastik. Setelah bioplastik diukur ketebalannya kemudian bioplastik tersebut ditimbang beratnya dengan menggunakan timbangan analitik. Hasil yang diperoleh dari pengukuran ketebalan dan berat bioplastik pada setiap perlakuan dan ulangan tersebut kemudian didirata-ratakan

Uji Kapasitas Daya Penyerapan Air (Illiing dan Satriawan, 2018)

Uji daya serap air dapat dilakukan dengan menyiapkan sampel bioplastik kemudian dioven dengan suhu 60°C selama 24 jam. Sampel yang sudah dioven kemudian ditimbang berat kering dari masing-masing perlakuan lalu catat hasilnya sebagai (W_1). Setelah itu bioplastik dimasukkan ke dalam cawan petri yang telah diisi dengan aquades lalu rendam bioplastik sampai berat yang di dapatkan konstan. Sampel yang telah direndam kemudian diangkat dan dikeringkan dengan menggunakan tissu, setelah itu dilakukan penimbangan berat akhir sampel (W_2) sehingga diperoleh persentase air yang diserap.

Uji Kuat Tarik dan Elongasi (Panjaitan et al., 2017)

Sampel yang akan diuji terlebih dahulu dikondisikan dalam ruang dengan suhu kelembaban relative standar ($23 \pm 2^{\circ}\text{C}$) selama 24 jam. Sampel akan diuji dipotong sesuai standar. Pengujian dilakukan dengan cara kedua ujung dijepit pada mesin penguji *Tensile*. Selanjutnya dicatat panjang awal dan ujung tinta pencatat diletakkan pada posisi 0 pada grafik. Knob *start* dinyalakan dan alat akan menarik sampel yang putus dan dicatat gaya kuat tarik (F) dan panjang setelah putus. Selanjutnya dilakukan pengujian lembar berikutnya.



Uji FTIR (Satriawan dan Illing, 2018)

Pengujian FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi senyawa yang terkandung dalam plastik *biodegradable*. Pengujian dilakukan dengan cara memotong sampel plastik *biodegradable* kemudian disesuaikan dengan spektrum yang ada. Spektrum FTIR direkam menggunakan spektrofotometer pada suhu ruang, data yang diperoleh berupa gambar spektrum antara *wavenumber* dan transmitasi sehingga dapat diketahui gugus fungsi yang terdapat pada bahan bioplastik.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari satu faktor yaitu tingkat konsentrasi penambahan polietilen glikol (PEG) 1000. Adapun taraf konsentrasi dari PEG 1000 terdiri dari A1 (0%), A2 (1%), A3 (2%), A4 (3%) dan A5 (4%). Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali ulangan sehingga didapat keseluruhan sebanyak 15 unit percobaan. Formulasi dalam rancangan ini ditetapkan berdasarkan penelitian pendahuluan.

Analisis Data

Data yang diperoleh dari analisis uji ketebalan, uji berat, dan uji daya kapasitas penyerapan air dianalisis menggunakan analisis ragam (*Analysis of Variance*). Apabila diperoleh hasil yang berpengaruh nyata terhadap variabel pengamatan maka dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0.05$). Hasil dari analisis kuat tarik dan elongasi dianalisis menggunakan analisis uji T. Hasil dari analisis FTIR dianalisis menggunakan analisis deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik fisik

Pengujian terhadap karakteristik fisik dari penelitian ini meliputi uji ketebalan dan berat selulosa, uji ketebalan dan berat bioplastik kemudian uji kapasitas penyerapan air pada bioplastik. Data yang diperoleh dari pengujian dianalisis menggunakan analisis ragam (*Analysis of Variance*). Apabila diperoleh hasil yang berpengaruh nyata terhadap variabel pengamatan maka dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dengan taraf kepercayaan 95% ($\alpha = 0.05$). hasil rekapitulasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Rekapitulasi Analisis Ragam (Selulosa dan Bioplastik)

Variabel Pengamatan	Keterangan
Ketebalan Selulosa	**
Berat Selulosa	**
Ketebalan Bioplastik	**
Berat Bioplastik	**
Kapasitas Penyerapan Air	tn

Keterangan: ** = berpengaruh sangat nyata ($p < 0,01$),

tn = berpengaruh tidak nyata ($p > 0,05$).



Ketebalan dan Berat Selulosa

Pengujian ketebalan dan berat selulosa bertujuan untuk mengetahui suatu larutan merupakan media fermentasi yang baik atau tidak untuk pertumbuhan *Acetobacter xylinum*. Ketebalan dan berat selulosa juga dapat menunjukkan karakteristik fisik dari bioplastik yang akan dihasilkan. Hasil analisis ketebalan dan berat selulosa dengan perlakuan variasi penambahan PEG 1000 pada media fermentasi nira aren dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ketebalan dan berat selulosa dari hasil fermentasi nira aren (*Arenga pinnata*)

Perlakuan	Rerata Ketebalan (mm) ± SD	Rerata Berat (g) ± SD
A1 (0% PEG)	1,81 ^c ± 0,59	10,85 ^e ± 0,465
A2 (1% PEG)	1,98 ^{bc} ± 0,54	14,83 ^d ± 0,751
A3 (2% PEG)	2,72 ^b ± 0,35	20,78 ^b ± 0,996
A4 (3% PEG)	5,38 ^a ± 0,49	22,58 ^a ± 0,570
A5 (4% PEG)	1,65 ^c ± 0,14	17,44 ^c ± 0,646

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh notasi huruf yang berbeda menunjukkan beda nyata berdasarkan uji DMRT ($\alpha = 0,05$) taraf kepercayaan 95%.

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa sampel yang memiliki ketebalan dan berat tertinggi terdapat pada perlakuan A4 dengan nilai rerata sebesar 5,38 mm dan 22,58 g. Sedangkan sampel dengan ketebalan paling rendah adalah pada perlakuan A5 sebesar 1,65 mm. dan berat paling rendah adalah A1 sebesar 10,85 g. Setelah dilanjutkan dengan uji DMRT pada ketebalan, menunjukkan bahwa perlakuan A4 berbeda nyata dengan A1, A2, A3 dan A5, dimana A3 juga berbeda nyata dengan A1 dan A5 namun berbeda tidak nyata dengan A2. Kemudian setelah dilakukan uji DMRT pada hasil uji berat selulosa, menunjukkan bahwa semua perlakuan berbeda nyata satu sama lain.

Sampel dengan ketebalan dan berat paling tinggi adalah A4 (3% PEG). Berdasarkan hasil pengukuran ketebalan dan berat selulosa, menunjukkan bahwa terjadi peningkatan ketebalan dan berat selulosa pada penambahan 1% hingga 3% kemudian sampel mengalami penurunan pada penambahan sebanyak 4% (A5). Peningkatan ketebalan terjadi karena penambahan PEG 1000 kedalam media pembuatan selulosa akan menambah jumlah padatan terlarut yang akan menghasilkan selulosa yang lebih tebal dan berat. Penambahan PEG 1000 dapat memfasilitasi pembentukan struktur dan mikropori, yang berkontribusi terhadap peningkatan ketebalan dan berat selulosa (Chou *et al.*, 2007). Hasil penelitian ini serupa dengan penelitian Husni *et al.* (2018) yang menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi PEG cenderung meningkatkan ketebalan, ketebalan tertinggi adalah pada penambahan 2% PEG dan semakin menurun pada penambahan 4%, 6% dan 8%.

Penurunan ketebalan dan berat selulosa diduga terjadi karena penambahan PEG 1000 yang berlebihan akan mengganggu aktivitas *Acetobacter xylinum* dalam menghasilkan selulosa. Sejalan dengan penelitian ini, Anas *et al.* (2016) juga menyatakan bahwa ketebalan dan berat selulosa sendiri didapatkan dari hasil aktivitas *Acetobacter xylinum* dengan nutrisi yang terdapat dalam media kultur. Namun konsentrasi bahan plasticizer yang



terlalu tinggi akan menghambat atau mengganggu aktivitas *Acetobacter xylinum*. Abeto (2021) juga menyatakan hal yang serupa, bahwa penambahan *plasticizer* polietilen glikol dengan konsentrasi yang berbeda-beda akan berpengaruh terhadap selulosa yang dihasilkan, karena semakin meningkatnya konsentrasi yang digunakan maka ketebalan selulosa juga akan semakin berkurang. Hal ini juga diperkuat oleh pernyataan Chuai dan Zhang (2014) yang menyatakan bahwa penambahan PEG ke dalam larutan selulosa dapat menurunkan viskositas, yang kemudian menyebabkan distribusi selulosa yang tidak merata dan menghasilkan lapisan selulosa yang lebih tipis.

Ketebalan dan Berat Bioplastik

Pengukuran ketebalan dan berat bioplastik berfungsi untuk mengevaluasi seberapa besar kemampuan bioplastik dalam mempertahankan mutu dari produk yang dikemas (Dewi et al., 2023). Parameter ketebalan juga dapat mempengaruhi parameter lainnya seperti kuat tarik, elongasi dan ketahanan air. Hasil analisis ketebalan bioplastik dengan perlakuan variasi penambahan PEG 1000 pada media fermentasi nira aren dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Ketebalan dan berat Bioplastik

Perlakuan	Rerata Ketebalan (mm) ±SD	Rerata Berat (g) ±SD
A1 (0% PEG)	0,109 ^b ±0,013	0,20 ^b ± 0,191
A2 (1% PEG)	0,119 ^b ±0,010	0,21 ^b ±0,048
A3 (2% PEG)	0,133 ^b ±0,015	0,25 ^b ±0,071
A4 (3% PEG)	0,203 ^a ±0,052	0,57 ^a ±0,063
A5 (4% PEG)	0,106 ^b ±0,024	0,26 ^b ±0,086

Keterangan: angka-angka yang diikuti oleh notasi huruf yang berbeda menunjukkan berbeda nyata berdasarkan uji DMRT 0,05 dengan taraf kepercayaan 95%

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa sampel yang memiliki ketebalan dan berat yang paling tinggi terdapat pada perlakuan A4 sebesar 0,202 mm dan 0,57 g. Sedangkan sampel dengan ketebalan yang paling rendah adalah pada perlakuan A5 sebesar 0,106 mm dan berat paling rendah pada perlakuan A1 sebesar 0,20 g. setelah dilanjutkan dengan uji DMRT pada hasil ketebalan dan berat bioplastik, menunjukkan bahwa perlakuan A4 berbeda nyata dengan perlakuan A1, A2, A3 dan A5.

Sampel dengan ketebalan dan berat paling tinggi adalah A4 sebesar 0,202 mm dan 0,57 g, sedangkan ketebalan paling rendah adalah perlakuan A5 sebesar 0,106 mm. Berdasarkan hasil pengukuran ketebalan bioplastik, menunjukkan bahwa sampel mengalami peningkatan ketebalan seiring dengan penambahan PEG 1000, mulai dari 1% hingga penambahan 3%. kemudian pada penambahan sebanyak 4% (A5) sampel mengalami penurunan ketebalan. Hal yang mempengaruhi perbedaan ketebalan dan berat pada bioplastik ini adalah pada selulosa yang digunakan sebagai bahan baku pembuatan bioplastik. Semakin tebal dan berat selulosa yang didapatkan maka semakin berat pula bioplastik yang dihasilkan dari selulosa tersebut.



Uraian di atas diduga dapat terjadi karena penambahan PEG 1000 ke dalam media pembuatan bioplastik, perlakuan tersebut akan menambah jumlah padatan dalam bioplastik, sehingga bertambah pula volume bioplastik yang dihasilkan. Ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Wahyuningtyas *et al.* (2019) bahwa Peningkatan jumlah massa yang terlarut pada bioplastik akan menyebabkan bertambahnya ketebalan bioplastik dan berat. Serupa dengan yang dikatakan oleh Fadilla *et al.* (2023) yang menyatakan bahwa nilai ketebalan bioplastik yang meningkat dapat disebabkan banyaknya padatan pada larutan sehingga bioplastik yang dihasilkan semakin tebal. Nilai rerata ketebalan pada penelitian ini yaitu antara 0,106-0,202 mm. Nilai tersebut lebih tinggi dari penelitian bioplastik selulosa dengan penambahan kitosan Yuniastuti dan Muryeti. (2021), yaitu 0,159-0,175 mm. Nilai tersebut juga sudah sesuai dengan standar JIS (*Japanese Industrial Standards*) yaitu < 0,25 mm.

Kapasitas Penyerapan Air Bioplastik

Analisis kapasitas penyerapan air merupakan suatu pengujian untuk mengetahui kemampuan bahan yang diuji dalam menyerap air atau yang menggambarkan aspek ketahanan air pada bioplastik (Muharam *et al.*, 2022). Hasil analisis kapasitas penyerapan air pada bioplastik dengan perlakuan variasi penambahan PEG 1000 pada media fermentasi nira aren dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas Penyerapan Air pada Bioplastik

Perlakuan	Rerata Kapasitas Penyerapan Air (%)±SD
A1 (0% PEG)	102,94±8,45
A2 (1% PEG)	85,74±31,55
A3 (2% PEG)	85,72±17,28
A4 (3% PEG)	89,98±28,57
A5 (4% PEG)	94,43±9,26

Berdasarkan Tabel 4, data uji kapasitas penyerapan air menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata antara sampel A1, A2, A3, A4 dan A5 dengan nilai rerata berkisar antara 94,43% sampai dengan 102,94%. Artinya, perlakuan variasi penambahan PEG 1000 pada media fermentasi nira aren berpengaruh tidak nyata terhadap kemampuan sampel dalam menyerap air. Pada Tabel 4 yang menunjukkan kapasitas penyerapan air pada bioplastik, sampel yang mempunyai kapasitas penyerapan air paling tinggi adalah pada perlakuan A1 (0% PEG/Kontrol) dengan rerata sebesar 102,94%. Sedangkan kapasitas penyerapan air yang paling rendah adalah pada perlakuan A3 (2% PEG 1000) dengan nilai sebesar 85,72. Namun dari semua perlakuan tidak ada sampel yang menunjukkan adanya perbedaan nyata terhadap nilai kapasitas penyerapan airnya.

Nilai kapasitas penyerapan air pada bioplastik dapat dipengaruhi oleh kerapatan bioplastik, ketebalan, dan suhu. Jika bioplastik tersebut tebal maka perpindahan air akan semakin rendah (Nur *et al.*, 2020). Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa hasil pengujian kapasitas penyerapan air adalah berpengaruh tidak



nyata. Hal ini juga didukung Buzzi *et al.* (2017), dimana efek PEG pada kapasitas penyerapan air tidak signifikan pada konsentrasi tertentu. Pada konsentrasi yang rendah, PEG diduga tidak cukup banyak untuk mempengaruhi sifat hidrofobisitas atau hidrofisitas bioplastik secara nyata. Pada penelitian ini, kapasitas penyerapan air bioplastik berkisar antara nilai ini lebih besar di bandingkan penelitian Shrestha *et al.*, (2022) bioplastik dari pati kentang dengan penambahan gliserol yang nilai kapasitas penyerapan airnya berkisar antara 37%-79% dan lebih kecil dari penelitian Singan dan Chiang (2017) bioplastik dari pati singkong yang nilai kapasitas penyerapan airnya berkisar antara 87%-131,29%. Perbedaan nilai daya serap air tersebut bisa disebabkan oleh penggunaan bahan baku utama yang berbeda. Sifat penyerapan air bioplastik lebih dipengaruhi oleh sifat intrinsik dari polimer utama yang digunakan (Judawisastra *et al.*, 2017).

Kuat tarik dan elongasi

Analisis kuat tarik dan elongasi pada bioplastik bertujuan untuk mengetahui daya tahan, fleksibilitas, dan kualitas mekanik dari bioplastik yang dihasilkan. Hasil analisis kuat tarik dan elongasi bioplastik dengan perlakuan variasi penambahan PEG 1000 pada media fermentasi nira aren dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kuat tarik dan Elongasi Bioplastik Perlakuan Terpilih dan Kontrol

Pengujian	Perlakuan (Penambahan PEG)		Notasi	SNI Bioplastik (7188.7:2016)
	A1 (0% PEG 1000)	A4 (3% PEG 1000)		
Kuat Tarik (MPa)	106,51±7,22	371,38±35,01	*	24,7-302 MPa
Elongasi (%)	5,15±2,38	2,29±0,49	*	21-220 %

Keterangan: * = berbeda nyata

Berdasarkan Tabel 5, dapat dilihat bahwa pada uji kuat tarik, nilai tertinggi dari kedua sampel adalah pada sampel A4 dengan nilai kuat tarik sebesar 371,38 MPa sedangkan pada sampel A1 hanya memiliki nilai sebesar 106,51 MPa. Kemudian untuk hasil pengujian elongasi, sampel yang memperoleh nilai terbesar adalah sampel A1 dengan nilai sebesar 5,15% sedangkan sampel A4 memperoleh nilai sebesar 2,29%.

Berdasarkan hasil uji kuat tarik pada Tabel 5 nilai kuat tarik paling tinggi adalah pada perlakuan A4 (terpilih) sebesar 371,38 MPa, sedangkan sampel A1 (kontrol) memiliki nilai kuat tarik sebesar 106,51 MPa. Berdasarkan uji-T, menunjukkan hasil yang berbeda nyata terhadap kuat tarik dari bioplastik ($p<0,05$). Hasil tersebut telah memenuhi standar kuat tarik bioplastik jika mengacu pada SNI 7288. 7:2016 yaitu 24,7 – 302 MPa. Nilai tersebut juga lebih tinggi dibanding bioplastik dengan penambahan sorbitol yang mempunyai nilai kuat tarik sebesar 41,3 MPa pada penelitian Nuriyah *et al.* (2018) dan penelitian Agustin (2022) dengan penambahan gliserol yang mempunyai nilai kuat tarik sebesar 19,57 MPa.

Umumnya Penambahan *plasticizer* dapat membuat bioplastik menjadi lebih fleksibel dengan cara meregangkan ikatan, artinya nilai % elongasinya akan bertambah. Seperti yang diungkapkan oleh Syaubari *et al.*



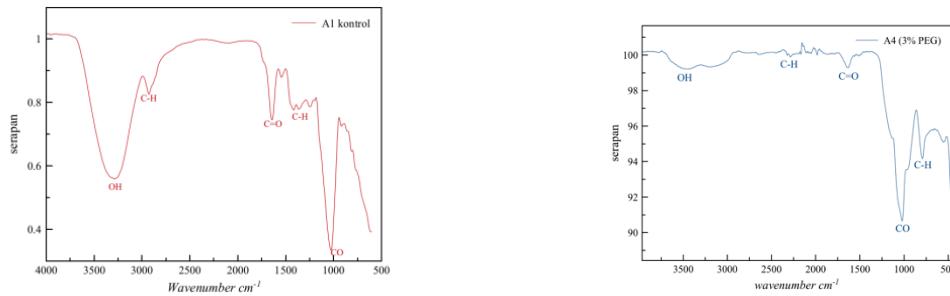
(2023) bahwa *plasticizer* merupakan aditif yang ditambahkan untuk meningkatkan fleksibilitas bahan polimer. Polimer dengan struktur kristalin dapat diturunkan kekakuan melalui penambahan pemlastis. Namun pada penelitian ini hasil uji kuat tarik dan elongasi menunjukkan hasil yang sebaliknya, yaitu kuat tarik dari bioplastik dengan penambahan PEG 1000 meningkat dan elongasinya menurun. Serupa dengan hasil penelitian Husni *et al.* (2018), dimana hasil uji kuat tarik bioplastik dengan penambahan PEG sebagai *plasticizer* meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi PEG. Tingginya nilai kuat tarik pada sampel dengan penambahan PEG 1000 diduga berkaitan dengan ketebalan bioplastik, dimana semakin tebal bioplastik maka semakin besar pula nilai kuat tariknya (Sisnayati *et al.*, 2019). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Maryuni *et al.* (2018) kemudian penelitian Nurulhasni dan Suparno (2023), yang menyatakan ketebalan bioplastik berbanding lurus dengan nilai kuat tariknya. Dimana semakin tebal bioplastik maka semakin tinggi juga nilai kuat tariknya dan begitupun sebaliknya.

Elongasi atau perpanjangan putus adalah terjadinya penambahan persentase panjang suatu material seperti bioplastik yang diukur pada saat panjang awal (tanpa penarikan) dan pada saat diberikan daya tarik sampai mengalami pemutusan (Maladi, 2019). Elongasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan pemanjangan edible film, semakin tinggi nilai elongasinya maka kemasan edible film semakin fleksibel dan plastis (Intandiana *et al.*, 2020). Nilai % elongasi diindikasikan dengan perubahan nilai panjang maksimum bioplastik sebelum mencapai kondisi putus, sehingga merupakan suatu nilai perbandingan antara nilai pertambahan panjang material bioplastik setelah diberikan beban terhadapnya dengan nilai panjang awal material bioplastik sebelum diberi beban (Widhiantari *et al.*, 2021)

Berdasarkan hasil uji elongasi pada Tabel 5 hasil tersebut belum memenuhi standar elongasi bioplastik jika mengacu pada SNI 7288. 7:2016 yaitu sebesar 21-220%. Nilai elongasi tertinggi adalah pada sampel A1 (Kontrol), yaitu sebesar 5,51 % sedangkan sampel A4 (Terpilih) mempunyai nilai elongasi sebesar 2,29%. Hal ini diduga bisa terjadi karena nilai elongasi cenderung berbalik dengan nilai kuat tarik bioplastik. Sesuai dengan yang dinyatakan oleh Sholekhahwati dan Sedyadi (2020) bahwa apabila nilai kuat tarik menurun maka nilai elongasinya meningkat dan begitu pula sebaliknya jika nilai kuat tarik meningkat maka elongasinya akan menurun. Begitu pula dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Widhiantari *et al.* (2021), dimana menunjukkan bahwa pemberian konsentrasi penguat yang semakin meningkat berbanding lurus dengan peningkatan kuat tarik dari bioplastik yang dihasilkan, tetapi berbanding terbalik dengan nilai % elongasinya

FTIR

Hasil analisis FTIR pada bioplastik dengan perlakuan terpilih A4 (3% PEG 1000) dan bioplastik tanpa penambahan PEG 1000 A1 (Kontrol) dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 6.



Gambar 8. Analisis FTIR bioplastik (a) A1 dan (b) A4 (3% PEG 1000)

Tabel 6. Analisis FTIR pada Bioplastik Perlakuan Terpilih dan Kontrol

Wavenumber cm^{-1}		Gugus Fungsi
A1	A4	
3288,63	3451,26	OH
2930,10	2288,03	C-H
1642,25	1634,01	C=O
1417,65	-	C-H
1028,21	1021,84	CO
-	791,71	C-H

Analisis FTIR (*Fourier Transform Infra Red*) adalah suatu metode analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi dan mempelajari struktur kimia dari suatu bahan atau senyawa. Dalam konteks bioplastik, analisis FTIR digunakan untuk menentukan adanya interaksi antara komponen yang digunakan dalam pembuatan bioplastik (Satriawan dan Illing 2017). Berdasarkan dari pengujian FTIR, bioplastik sampel A1 (kontrol) menunjukkan terdapat *wavenumber*. 1028,21 cm^{-1} , 1417,65 cm^{-1} , 1642,25 cm^{-1} , 2930,10 cm^{-1} , dan 3288,63 cm^{-1} . *Wavenumber* 1028,21 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi CO, *wavenumber* 1417,65 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi C-H, *wavenumber* 1642,25 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi C=O, *wavenumber* 2930,10 cm^{-1} , menunjukkan adanya gugus fungsi C-H, *wavenumber* 3288,63 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus fungsi OH.

Penelitian yang dilakukan oleh Azitati *et al.* (2022) menunjukkan hasil yang serupa, yaitu terdapat ikatan OH dan C=O pada *wavenumber* 3486,97 cm^{-1} dan 1644,99 cm^{-1} , dimana gugus fungsi OH menurut Masthura (2019) dapat ditemukan pada *wavenumber* bang 3000-3600 cm^{-1} kemudian menurut Rekso dan Sudrajat (2018) gugus fungsi C=O dapat ditemukan pada *wavenumber* 1520-1680 cm^{-1} . Gugus fungsi OH yang terdapat pada bioplastik bersifat hidrofilik atau mudah larut dalam air, hal tersebut sesuai dengan penelitian Teo *et al.* (2015) dan Weiping (2015) dalam Masthura (2019) yang menyatakan bahwa sifat hidrofilik dari suatu bioplastik juga dapat dilihat dari adanya gugus OH pada bioplastik. Adanya gugus fungsi tersebut menunjukkan bahwa bioplastik tersebut dapat terdegradasi dengan baik di tanah. Hasil analisis FTIR pada penelitian Suryati *et al.* (2016) gugus fungsi C-H dapat dideteksi pada *wavenumber* 2250-2960 cm^{-1} . Kemudian menurut Rekso dan Sudrajat (2018)



gugus fungsi CO dapat ditemukan pada *wavenumber* 1000-1260 cm⁻¹. Penelitian yang dilakukan oleh Hayati *et al.* (2020) juga menunjukkan bahwa spektrum IR bioplastik terdeteksi munculnya gugus fungsi C-H khas selulosa pada *wavenumber* 1340-1470 cm⁻¹ dan *wavenumber* 2850-2970 cm⁻¹. Adanya gugus fungsi OH dan C-H menunjukkan bahwa bioplastik yang terbuat dari selulosa sesuai dengan temuan Rachmawaty *et al.* (2013) bahwa gugus fungsi regangan OH dan CH merupakan gugus fungsi utama pada selulosa. Sedangkan gugus fungsi yang teridentifikasi seperti C-O dan C-H alkena merupakan ciri dari gugus fungsi yang dimiliki PEG (Asjun *et al.*, 2023).

Hasil analisis FTIR sampel A4 (3% PEG) menunjukkan adanya gugus fungsi OH pada *wavenumber* 3451,26 cm⁻¹, *wavenumber* 2288,03 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi C-H, *wavenumber* 1634,01 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi C=O, *wavenumber* 1021,84 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi CO, dan pada *wavenumber* 791,71 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus fungsi C-H. Penelitian Maulana *et al.* (2021) pada hasil uji FTIR terdeteksi munculnya gugus fungsi C-H pada *wavenumber* 839,03 cm⁻¹ dan 1963 cm⁻¹ dan yang menunjukkan kehadiran senyawa PEG. Hasil penelitian Azitati *et al.* (2022) juga mendeteksi adanya gugus fungsi C-H pada *wavenumber* 613,85 cm⁻¹ dan 603,99 cm⁻¹. Hasil dari pengujian FTIR menunjukkan bahwa penambahan PEG 1000 tidak menghasilkan gugus fungsi baru. Terjadinya hal ini karena gugus fungsi selulosa ((C₆H₁₀O₅)_n) dan PEG 1000 (H(OCH₂CH₂)_nOH) sebagian besar terdiri dari ikatan yang sama dan tidak memiliki banyak perbedaan *wavenumber* (Maulana *et al.*, 2021). Sesuai dengan (Pratiwi *et al.*, 2016) yang menyatakan bahwa tidak ditemukannya gugus fungsi baru yang terbentuk, menandakan bioplastik yang dihasilkan merupakan produk dari proses blending secara fisika sehingga bioplastik ini memiliki sifat seperti komponen-komponen penyusunnya.

KESIMPULAN

Penambahan PEG 1000 berpengaruh terhadap pembentukan selulosa dimana dapat meningkatkan ketebalan dan berat selulosa. Akan tetapi ketebalan dan beratnya menurun pada penambahan 4% PEG (A5). Penambahan PEG 1000 berpengaruh terhadap ketebalan dan berat bioplastik tetapi berpengaruh tidak nyata terhadap kapasitas penyerapan air. Nilai kapasitas air yang dihasilkan berkisar antara 86% sampai 103%. Sifat mekanik bioplastik dengan penambahan PEG 1000 pada uji kuat tarik telah memenuhi standar SNI 7288. 7:2016. Perlakuan terpilih (A4) memiliki nilai kuat tarik sebesar 371,38 MPa. Sedangkan hasil uji elongasi masih belum memenuhi standar SNI 7288. 7:2016. Nilai elongasi tertinggi adalah A1 (kontrol) sebesar 5,15%. Hasil dari pengujian FTIR menunjukkan bahwa penambahan PEG 1000 tidak menghasilkan gugus fungsi baru. Tidak ditemukannya gugus fungsi baru yang terbentuk, menandakan bioplastik yang dihasilkan merupakan produk dari proses *blending* secara fisika sehingga bioplastik ini memiliki sifat seperti komponen-komponen penyusunnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Abeto. 2021. Pengaruh Penambahan Polietilen Glikol (PEG) Pada Plastik Biodegradable Berbasis Selulosa Bakterial dari Air Kelapa. Skripsi. Universitas Negeri Padang. Padang.
- Agus J, Ramadhani S, Sabrina PN, Wulandari DR, dan Ruslan ZA. 2023. Pengembangan Biodegradable Foam Berbahan Dasar Pati dari Ekstrak Jagung dengan Penambahan Serat dari Pelepah Pisang. *Jurnal Chemica*. 24(1): 78-86.
- Agustin S. 2022. Sintesis dan Karakterisasi Bioplastik Transparan Berbasis Selulosa Bakterial. Disertasi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Alaydin S, Bhernama BG, dan Yulian, M. 2020. Perbandingan Kadar Selulosa dari Rumput Laut Merah (*Rhodophyta*). *Amina*. 2(1): 33-37.
- Anas AK, Ariefta NR, Nurfiana Y, dan Rohaeti E. 2016. Pengaruh Penambahan 1, 4-Butanadiol Dan Polietilen Glikol (PEG) 1000 Terhadap Kemudahan Biodegradasi Bioplastik Dari Biji Nangka (*Artocarpus heterophyllus*). *Eksakta: Jurnal Ilmu-Ilmu MIPA*. 16(2): 115-123.
- Andahera C, Sholikhah I, Islamiati DA, dan Pusfitasari MD. 2019. Pengaruh Penambahan Jenis dan Konsentrasi Plasticizer Terhadap Kualitas Bioplastik Berbasis Selulosa dari Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Indonesian Journal of Pure and Applied Chemistry*. 2(2): 46-54.
- Azizati, Z., Afidin, I. M. Z., dan Hasnowo, L. A. 2022. The Effect Of Sorbitol Addition In Bioplastic From Cellulose Acetate (Sugarcane Bagasse)-Chitosan. *Walisongo Journal of Chemistry*. 5(1), 94-101.
- Buzzi O, Yuan S, dan Routley B. 2017. Development and Validation of a New Near-Infrared Sensor to Measure Polyethylene Glycol (PEG) Concentration in Water. *Sensors (Basel, Switzerland)*. 17: 1-11.
- Chou W, Yu D, Yang M, dan Jou C. 2007. Effect Of Molecular Weight And Concentration Of PEG Additives On Morphology And Permeation Performance Of Cellulose Acetate Hollow Fibers. *Separation and Purification Technology*. 57(2): 209-219.
- Chuai CZ, dan Zhang, Z., 2014. Effect of Polyethylene Glycol (PEG) on Molten Plasticized Cellulose Acetate (CA). *Advanced Materials Research*. 8(30): 172-175.
- Dewanti DP. 2018. Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit Untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan Cellulose Potential of Empty Fruit Bunches Waste as the Raw Material of Bioplastics Environmentally Friendly. *Jurnal Teknologi Lingkungan*. 19(1): 81-88.
- Dewi KS, Yulianti NL, dan Setiyo Y. 2023. Karakteristik Fisik Kemasan Bioplastik Dari Pati singkong Dan Karagenan Dengan Variasi Durasi Gelatinisasi Dan Jenis plasticizer. *Jurnal BETA (Biosistem dan Teknik Pertanian)*. 11(2).
- Fadilla A, Amalia V, dan Wahyuni IR. 2023. Pengaruh Selulosa Ampas Tebu (*Saccharum officinarum*) sebagai Zat Pengisi Plastik Biodegradable berbasis Pati Kulit Singkong (*Manihot fsculenta*). In *Gunung Djati Conference Series*. 34: 69-80.
- Faradilla RF, Lee G, Sivakumar P, Stenzel M, dan Arcot J. 2018. Effect Of Polyethylene Glycol (PEG) Molecular Weight And Nanofillers On The Properties Of Banana Pseudostem Nanocellulose Films. *Carbohydrate Polymers*. 205: 330-339.



Hayati K, Setyaningrum CC, dan Fatimah S. 2020. Pengaruh Penambahan Kitosan Terhadap Karakteristik Plastik Biodegradable Dari Limbah Nata De Coco Dengan Metode Inversi Fasa. Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan. 4(1): 9-14.

Husni DAP, Rahim EA, dan Ruslan R. 2018. Pembuatan Membran Selulosa Asetat Dari Selulosa Pelepas Pohon Pisang. KOVALEN: Jurnal Riset Kimia. 4(1): 41-52.

Illing I, dan Satriawan MB. 2018. Uji Ketahanan Air Bioplastik dari Limbah Ampas Sagu Dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Gelatin. Cokroaminoto Palopo University Journals. 3(1): 182-189.

Intandiana S, Dawam AH, Denny YR, Septiyanto RF, dan Affifah I. 2019. Pengaruh karakteristik bioplastik pati singkong dan selulosa mikrokristalin terhadap sifat mekanik dan hidrofobisitas. EduChemia (Jurnal Kimia dan Pendidikan). 4(2): 185-194.

Judawisastra H, Sitohang RDR, dan Marta L. 2017. Water absorption and its effect on the tensile properties of tapioca starch/polyvinyl alcohol bioplastics. IOP Conference Series: Materials Science And Engineering. 223(1): 1-9.

Kamaluddin MA, Maryono M, Hasri H, dan Rizal HP. 2022. Pengaruh Penambahan Plasticizer Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Selulosa Limbah Kertas. Analit: Analytical and Environmental Chemistry. 7(2): 197-208.

Kamsiati E, Herawati H, dan Purwani EY. 2017. Potensi Pengembangan Plastik *Biodegradable* Berbasis Pati Sagu dan Ubi kayu Di Indonesia. Jurnal Litbang Pertanian. 36(2): 67-76.

Lempang M. 2017. Produksi Nata Pinnata dari Nira Aren. Buletin Eboni. 14(1): 23-33.

Majesty J, Argo BD, dan Nugroho WA. 2015. Pengaruh Penambahan Sukrosa dan Lama Fermentasi Terhadap Kadar Serat Nata dari Sari Nanas (*Nata de Pina*). Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem 3(1):80- 85.

Maladi I. 2019. Pembuatan Bioplastik Berbahan Dasar Pati Kulit Singkong (*Manihot utilissima*) dengan Pengaruh Selulosa Jerami Padi, Polivinil Alkohol dan Bio-Compatible Zink Oksida. Skripsi. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah. Jakarta.

Maryuni AE, Mangiwa S, dan Dewi WK. 2018. Karakterisasi Bioplastik Dari Karaginan Dari Rumput Laut Merah Asal Kabupaten Biak Yang Dibuat Dengan Metode Blending Menggunakan Pemlastis Sorbitol. Jurnal Kimia Avogadro. 2(1): 1-9.

Masthura. 2019. Pengaruh Jenis Plasticizer Terhadap Edible Film Berbasis Karaginan *Eucheuma cottoni*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Ar-Raniry. Aceh.

Maulana DS, Mubarak AS, dan Pujiastuti DY. 2021. The Concentration of Polyethylen Glycol (PEG) 400 On Bioplastic Cellulose Based Carrageenan Waste on Biodegradability and Mechanical Properties Bioplastic. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 679(1): 1-6.

Maulana J, Suryanto H, Susilo BD, Yanuhar U, Aminnudin A, Pradana YRA, dan Bintara RD. 2021. FTIR Analysis Of Polyethylene Glycol Treated Bacterial Cellulose Pellicle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 847(1): 1-6.

Ningsih EP, Ariyani D, dan Sunardi S. 2019. Pengaruh Penambahan Carboxymethyl Cellulose Terhadap Karakteristik Bioplastik Dari Pati Ubi Nagara (*Ipomoea batatas* L.). Indonesian Journal of Chemical Research. 7(1): 77-85.



- Ningsih L, Zakiah Z, dan Rahmawati. 2021. Fermentasi Nira Kelapa (*Cocos nucifera L.*) Dengan Penambahan Ekstrak Kecambah Kacang Hijau (*Phaseolus radiate L.*) Pada Pembuatan Nata de Nira. Bioma: Jurnal Biologi Makassar. 6(1): 57-65.
- Ningsih NY, Ismail, Margaretha S, dan Wirnangsih DU. 2020. Komposisi Proksimat Dan Indeks Glikemik Nira Aren. Biospecies. 13(2): 1-9.
- Nur FA, Sukainah A, dan Mustarin A. 2021. Pemanfaatan Kecambah Kacang Hijau dan Kecambah Kacang Kedelai Sebagai Sumber Nitrogen Dalam Pembuatan Nata de Pinnata dari Nira Aren (*Arenga pinnata Merr*). Jurnal Pendidikan Teknologi Pertanian. 7(1): 105-116.
- Nur M, dan Sunarharum WB. 2019. *Kimia Pangan..* Universitas Brawijaya Press. Malang
- Nur RA, Nazir N, dan Taib G. 2020. Karakteristik Bioplastik dari Pati Biji Durian dan Pati Singkong Yang Menggunakan Bahan Pengisi MCC (*Microcrystalline Cellulose*) dari Kulit Kakao. Gema Agro. 25(1): 1-10.
- Nuriyah L, Saroja G, Ghufron M, Razanata A, dan Rosid NF. 2018. Karakteristik Kuat Tarik Dan Elongasi Bioplastik Berbahan Pati Ubi Jalar Cilembu Dengan Variasi Jenis Pemlastis. Natural B. 4(4): 177-182.
- Nurjannah NR, Sudiarti T, dan Rahmidar L. 2020. Sintesis Dan Karakterisasi Selulosa Termetilasi Sebagai Biokomposit Hidrogel. Al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan. 7(1): 19-27.
- Nurulhasni D, dan Suparno S. 2023. Homemade Bioplastics (Biodegradable Plastic from Cassava Peel Waste) with Analysis of the Effect of Glycerol and Cellulose Ratio on Tensile Strength, Elongation, and Thickness. JST (Jurnal Sains dan Teknologi). 12(1): 56-64.
- Panjaitan RM, Irdoni I, dan Bahruddin B. 2017. Pengaruh Kadar Dan Ukuran Selulosa Berbasis Batang Pisang Terhadap Sifat Dan Morfologi Bioplastik Berbahan Pati Umbi Talas. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Dan Sains. 4(1): 1-7.
- Prameswari CA, Prembayun AR, Puspitaningrum A, Naaifah MI, Azhari F, Hasan MIN, dan Khoirunnisa A. 2022. Sintesis Plastik *Biodegradable* dari Pati Kulit Singkong dan Kitosan Kulit Larva Black Soldier Fly dengan Penambahan Polyethylene glycol sebagai Plasticizer. Jurnal Pendidikan Tambusai. 6(1): 4454-4461.
- Putra EPD dan Thamrin ES. 2022. Sifat Fisik Dan Mekanik Bioplastik Dari Pati Kulit Pisang Ambon (*Musa paradisiaca*) Dengan Plasticizer Sorbitol. Agroindustrial Technology Journal. 6(2): 164-174.
- Rachmawaty R, Metty M, dan Slamet P. 2013. Sintesis selulosa diasetat dari eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) dan potensinya untuk pembuatan membran. Jurnal Teknologi Kimia dan Industri. 2(3): 8-16.
- Ramadhan ASP. 2022. Pengaruh Penambahan Selulosa Bacterial Dari Nata De Soya Dan Kitosan Pada Pembuatan Bioplastik. Skripsi. Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur.
- Satriawan MB, dan Illing I. 2018. Uji FTIR bioplastik dari limbah ampas sagu dengan penambahan variasi konsentrasi gelatin. Dinamika. 8(2): 1-13.
- Shrestha B, Shah S, Chapain K, Joshi R, dan Pandit R. 2022. Effect of Plasticizer Concentration on the Physicochemical Properties of Starch-based Bioplastic Prepared from Potato Peels. Spectrum of Emerging Sciences. 28(3): 1739-1749.
- Singan G, dan Chiang LK. 2017. The Relationship Between Absorbency and Density of Bioplastic Film Made from Hydrolyzed Starch. AIP Conference Proceedings. 1901(1): 1-7.



- Sisnayati, S., Hatina, S. and Rahmi, A., 2019. Karakteristik Mekanik Plastik Biodegradable Berbahan Dasar Tepung Biji Durian Dengan Bahan Aditif Ekstrak Bawang Putih. Applicable Innovation of Engineering and Science Research (AVoER): 778-782.
- Sitompul AJWS., Dan Zubaidah, E. 2017. Pengaruh Jenis Dan Konsentrasi Plasticizer Terhadap Sifat Fisik Edible Film Kolang Kaling (*Arenga pinnata*). Jurnal Pangan Dan Agroindustri. 5(1): 13-25.
- Suryati S, Meriatna M, dan Marlina M. 2017. Optimasi proses pembuatan bioplastik dari pati limbah kulit singkong. Jurnal Teknologi Kimia Unimal. 5(1):78-91.
- Suzanni MA, Munandar A, dan Saudah S. 2020. Pengaruh Konsentrasi Ekstrak Nanas (*Ananas comosus*) Dan Waktu Fermentasi Pada Pembuatan *Nata de Coco* Dari Limbah Air Kelapa. Jurnal Serambi Engineering. 5(2):1043-1049.
- Syaubari S, Riza M, Elisa Y, dan Muti A. 2023. Pengaruh Penambahan Poli Etilen Glikol dan Gliserol Pada Biodegradable Plastik terhadap Uji Mekanik. Jurnal Inovasi Ramah Lingkungan. 4(2): 16-19.
- Wahyuningtyas D, Sukmawati PD, dan Fitria NM. 2019. Optimasi Pembuatan Plastik Biodegradable dari Pati Kulit Singkong dengan Penambahan Asam Sitrat Sebagai Crosslinking Agent. Seminar Nasional Teknik Kimia "Kejuangan":1-8.
- Widhiantari IA, Hidayat AF, Muttalib SA, Khalil FI, dan Puspitasari I. 2021. Sifat Mekanik Bioplastik Berbasis Kombinasi Pati Biji Nangka Dan Tongkol Jagung. Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem. 9(1): 76-83.
- Yuniastuti RT, dan Muryeti SI. 2021. Sintesis Bioplastik dengan Pati Biji Alpukat, Selulosa Sabut Kelapa, Sorbitol dan CMC serta Penambahan Kitosan. Repository Politeknik Negeri Jakarta.
- Zhang Y, Liu Q, dan Rempel C. 2018. Processing And Characteristics Of Canola Protein-Based Biodegradable Packaging: A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 58(3): 475-485.