

Pembuatan Kemasan Biokomposit Berbasis PVA (Polyvinyl Alcohol) dan Limbah Kulit Kopi

Andika Mulyawan Kusumah¹, William Christian¹, Tagor Marsilam Siregar¹, Melanie Cornelia¹, Kam Natania^{2*}

¹ Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan, Tangerang 11510, Indonesia

² Laboratorium Penelitian dan Pengawasan Mutu, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan, Tangerang 11510, Indonesia

*E-mail: natania.fti@uph.edu

Diterima: 14 Agustus 2023; Disetujui: 14 Desember 2023

ABSTRAK

Kemasan biokomposit adalah kemasan yang dibuat dari campuran dari beberapa bahan alam. Dalam makalah ini dipaparkan hasil penelitian kemasan biokomposit yang menggunakan campuran kulit luar biji kopi dengan polimer alam polivinil alkohol (PVA) yang berasal dari sintesis bakteri. Kulit luar kopi merupakan limbah dari industri pengolahan kopi yang terdiri dari campuran kulit luar dan kulit tipis (*silver skin*) yang terlepas pada saat proses pembersihan. Kulit luar kopi mengandung kandungan serat selulosa yang dapat menjadi bahan pengisi dalam pembuatan kemasan biokomposit berbasis PVA. Polivinil alkohol (PVA) memiliki kekuatan tarik yang baik sehingga sering dimanfaatkan dalam pembuatan kemasan, meskipun demikian PVA memiliki kelemahan yaitu mudah menyerap air sehingga mudah terurai ketika kontak dengan air. Dalam penelitian ini, kulit luar kopi ditambahkan sebagai material pengisi untuk meningkatkan sifat fisik dan mekanik komposit berbasis PVA komersial supaya lebih tahan air, tidak mudah terurai, dan aman bagi lingkungan. Yang menjadi faktor dalam penelitian ini adalah rasio perlakuan PVA dan limbah kopi (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50) serta penambahan *plasticizer* gliserol dengan konsentrasi yang berbeda (2% dan 4%) campuran kemudian dicampur dan dipanaskan sebelum dicetak dengan menggunakan aplikator. Pada tahap berikutnya dilakukan penambahan asam sitrat untuk meningkatkan ketahanan air dari kemasan biokomposit. Penambahan kulit luar kopi dapat meningkatkan karakteristik mekanik kemasan biokomposit berbasis PVA (rasio 90:10) dengan penambahan gliserol dan asam sitrat sebanyak 2%. Biokomposit yang dihasilkan memiliki penurunan daya serap air sebanyak sebanyak 70% dan waktu urai 2 kali lebih panjang dibanding kontrol kemasan dengan menggunakan 100% PVA. Selain itu juga memiliki tekstur yang baik, dengan nilai kuat tarik sebesar 12,48±1,60 MPa, elongasi sebesar 301,99±32,18%, dan modulus Young sebesar 4,16±0,08 MPa.

Kata kunci: gliserol; kemasan biokomposit; limbah kopi; polivinil alkohol.

ABSTRACT

Biocomposite packaging is a type of packaging that were made from the combination of natural polymers. In this research the biocomposite packaging is made from a combination of coffee husk and natural polymer polyvinyl alcohol (PVA). Coffee husk is a by-product from coffee processing that consists of the outer skin and silver skin of coffee beans that were separated at the cleaning stage of coffee beans. The coffee husk contains cellulose material that can act as a filler for the biocomposite packaging from PVA. PVA although has a promising feature as a natural packaging material, has the weak point in its high hygroscopicity which made it vulnerable toward degradation when comes in contact with water or moisture. The addition of coffee husk was done to increase the physical and mechanical properties of PVA. Different ratios of PVA and coffee by-products (100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50) with different glycerol addition (2% and 4%) and the last stage is the addition of citric acid to improve their water resistance. All the mixture was undergone mechanical stirring in heated plate before applied into a film applicator and dried. From the result, the best formulation of PVA and coffee husk was was the 90:10 ratio with 2% of glycerol and citric acid addition, which reduce their hygroscopicity up to 70% and prolong their degradation rate compared to the packaging made from 100% PVA. The chosen formulation also has a tensile strength of 12,48±1,60 MPa, elongation of 301,99±32,18%, Young's modulus of 4,16±0,08 MPa.

Keywords: *biocomposite packaging; coffee by-products; glycerol; polyvinyl alcohol.*

PENDAHULUAN

Kemasan biokomposit adalah kemasan alami yang dibuat dari campuran polimer yang terbuat dari sumber alam dan mudah terurai oleh mikroorganisme. Pada umumnya, kemasan biokomposit menggunakan campuran dari beberapa polimer, baik sintetik maupun alami. Beberapa polimer yang umum digunakan untuk membuat kemasan biokomposit adalah pati, selulosa, protein dan beberapa polimer lainnya. Polimer-polimer ini dapat diekstrak dari berbagai sumber, salah satunya adalah dari limbah pangan. Penelitian yang dilakukan oleh Buxoo dan Jeetah (2020),

melakukan pembuatan kemasan *biodegradable* dengan menggunakan polimer alami dari limbah buah nanas, jeruk dan juga daun rami. Dalam penelitian tersebut untuk meningkatkan resistansi dari kemasan digunakan *beeswax* sebagai pelapis anti air. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Mashuni *et al.* (2022), selulosa yang diekstrak dari tongkol jagung digunakan sebagai bahan pengisi dari plastik biokomposit yang dibuat dari kitosan.

Polivinil alkohol (PVA) merupakan polimer alam yang memiliki sifat mudah diurai, hidrofilik, dan karakteristik mekanik yang baik. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan PVA sebanyak 5% dan gliserol 1%

memberikan peningkatan signifikan pada sifat mekanik kemasan biodegradable (Lewandowska, 2009). Berdasarkan penelitian sebelumnya, penggunaan PVA dapat meningkatkan *kuat tarik* kemasan menjadi $29,47 \pm 1,70$ MPa, dan peningkatan elongasi menjadi $10,99 \pm 0,04$ (Limbong, Harsojuwono, & Hartiati, 2022). Walaupun begitu, PVA memiliki sifat hidrofilik yang tinggi, sehingga menyebabkan polimer ini mudah sekali terurai apabila terkena air (Czibulya et al., 2021), sehingga dalam perkembangannya penggunaan PVA membutuhkan kombinasi dari polimer lain untuk meningkatkan ketahanan dari kemasan biokomposit tersebut (Lewandowska, 2009; Ounkaew et al., 2018; Purnavita & Anggraeni, 2019).

Kopi Indonesia sudah diekspor hingga manca negara, dimana menurut data terakhir dari badan pusat statistik produksi kopi di Indonesia tercatat mencapai angka sebesar 774,96 ribu Ton pada tahun 2022 dan sudah diekspor hingga ke berbagai negara di dunia (Badan Pusat Statistik, 2023). Peningkatan produksi dan konsumsi kopi membawa juga tingginya limbah sisa dari proses pengolahan kopi. Limbah kopi umumnya terdiri dari limbah sebelum proses yang meliputi limbah yang muncul pada tahap pengupasan dari biji kopi dan limbah yang muncul setelah proses penyeduhan kopi (Limantara et al., 2019).

Salah satu limbah kopi pada tahap pengupasan, berasal dari kulit luar atau kulit ari dari biji kopi. Kulit luar dan kulit ari biji kopi memiliki kandungan serat yang tinggi, dan masih dapat digunakan sebagai *filler* untuk meningkatkan sifat mekanik kemasan biokomposit melalui kandungan selulosanya (Garcia & Kim, 2021; Oliveira, Passos, Ferreira, Coimbra, & Gonçalves, 2021). Pada umumnya penambahan limbah kedalam matriks polimer akan mempengaruhi ketahanan atau kekuatan dari polimer, Pada penelitian sebelumnya penambahan ekstrak selulosa dapat meningkatkan kekuatan kemasan komposit PVA (Abdulkhani, Marvast, Ashori, Hamzeh, & Karimi, 2013; Frone et al., 2011; Santi, Cigada, Del Curto, & Farè, 2019). Diharapkan dengan mengkombinasikan limbah kopi dengan matriks PVA, dapat dihasilkan kemasan alternatif yang memiliki sifat mekanik yang baik, tahan air, dan mudah terurai.

METODOLOGI

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada pembuatan kemasan biokomposit adalah limbah kopi berupa kulit ari kopi yang diperoleh secara langsung dari "PT. Cipta Harum Lestari" Indonesia, serbuk PVA yang diperoleh dari "Toko Planet Kimia", Indonesia, etanol, gliserol, asam sitrat, H_2SO_4 dari Merck, tanah media tanam organik "TANAH SUBUR" yang diperoleh dari toko "Pilar Pot" Indonesia.

Alat yang digunakan pada pembuatan kemasan biokomposit adalah *herb grinder*, *cabinet dryer*, ayakan 80 mesh, *hotplate and magnetic stirrer*, film aplikator HTM-AVFA5, *texture analyzer* "TA.XT.plus", *miniature tensile grips*, , *kjeldahl unit-B790*.

Prosedur Penelitian

Limbah kopi dikeringkan di dalam pengering kabinet, pada suhu $50^\circ C$ selama 12-16 jam, kemudian dilakukan pengecilan ukuran dengan menggunakan *herb grinder* dan kemudian diayak dengan dengan ukuran 80 mesh. limbah kopi yang dihasilkan kemudian dianalisis kadar air dan kandungan lignoselulosanya (Frone et al., 2011; Garcia & Kim, 2021).

Penelitian Tahap I

Pada tahap ini dilakukan pembuatan kemasan biokomposit dengan menggunakan limbah kopi dan Polivinil Alkohol (PVA). PVA dilarutkan dengan konsentrasi 10% (b/v) dan dipanaskan dengan menggunakan *hotplate and magnetic stirrer* hingga mencapai suhu $80^\circ C$ selama 30 menit. Setelah pendinginan larutan PVA tersebut ditambahkan limbah kopi dengan rasio 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50 dan gliserol sesuai dengan perlakuan (2% dan 4%) dan campuran diaduk hingga homogen.

Setelah homogen, 45g campuran kemudian dicetak dengan menggunakan cetakan biofilm, dan dikeringkan pada suhu $50^\circ C$ selama 24 jam. Setelah kering, lembaran kemasan biokomposit dianalisis karakteristik fisiknya yang meliputi laju biodegradasi, *water absorption*, dan analisis tekstur meliputi *kuat tarik*, elongasi, dan modulus Young (Ounkaew et al., 2018; Purnavita & Anggraeni, 2019).

Rancangan percobaan pada penelitian tahap I menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) dua faktor dengan dua kali pengulangan. Faktor pertama yang digunakan pada penelitian ini adalah rasio perbandingan antara PVA dan limbah kopi dengan enam perlakuan rasio yang berbeda, yaitu 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40, 50:50. Faktor kedua yang digunakan pada penelitian ini adalah konsentrasi gliserol dengan dua perlakuan berbeda, yaitu 2% dan 4%. Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini adalah ANOVA dengan menggunakan aplikasi SPSS versi 25.

Penelitian Tahap 2

Pada tahap kedua formulasi biokomposit dengan rasio terbaik kemudian ditambahkan asam sitrat. Larutan asam sitrat 3% (b/v) dipanaskan hingga suhu $80^\circ C$. Secara perlahan PVA dimasukkan ke dalam beaker berisi larutan asam sitrat 3% (Jiang et al., 2023). Campuran kemudian diaduk hingga homogen dan transparan kemudian digabungkan dengan limbah kopi dan gliserol sesuai perlakuan terbaik. Kemasan biokomposit kemudian dianalisa kekuatan mekaniknya, laju biodegradasi dan laju penyerapan airnya.

Rancangan percobaan pada penelitian tahap II menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) satu faktor dengan dua kali pengulangan. Faktor yang digunakan adalah jenis perlakuan. Jenis perlakuan yang digunakan adalah kontrol yang merupakan kemasan tanpa penambahan asam sitrat (A_1) sebagai parameter 1 dan kemasan biokomposit dengan penambahan asam sitrat (A_2) sebagai parameter 2. Analisis statistik yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis *Independent T-Test* dengan menggunakan aplikasi SPSS versi 25.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisa limbah kopi

Jenis biji kopi yang diproses pada PT Cipta Harum Lestari adalah biji kopi arabika (*Coffea arabica*) dan biji kopi robusta (*Coffea canephora var. Robusta*). Rasio biji kopi arabika dan robusta pada pemrosesan adalah 25:75. Pada proses pengumpulan sisa proses, bagian kulit luar pada biji kopi hijau (*silverskin*) dan bagian lain seperti *husk*, *parchment* dan ranting kecil terkumpul pada bagian *chaff collector* dengan bantuan pompa udara. Menurut Oliveira et al. (2021), *coffee silverskin* merupakan limbah yang paling banyak dihasilkan dari proses penyangraian biji kopi. Limbah kopi merupakan kulit tipis dengan sifat *flakey* yang memiliki warna coklat cerah serta aroma kopi kuat. Tabel analisis kandungan limbah kopi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Tabel komposisi kimia limbah kopi

Kandungan (%)	Rata-rata ± SD
Kadar Air	10,94±0,25
Hemiselulosa	24,97±0,94
Selulosa	22,10±0,91
Lignin	35,56±3,59

Hasil analisis menunjukkan bahwa limbah kopi halus memiliki nilai kadar air sebesar 10,94±0,25%. Kadar air limbah kopi yang tinggi mungkin disebabkan karena sumber bahan baku limbah kopi merupakan limbah campuran yang terdiri dari *parchment*, *husk*, dan *silver skin* yang diperoleh melalui proses pengolahan biji kopi hijau (*green beans*). *Husk* memiliki kadar air berkisar 13 hingga 15%, sedangkan *parchment* memiliki kadar air berkisar 9%(Oliveira et al., 2021). Menurut International Coffee Organization, kadar air ideal yang dimiliki oleh biji kopi hijau sebelum proses pemanggangan adalah berkisar pada 8 hingga 12,5%, baik pada kopi jenis arabica dan robusta sehingga hasil kadar air yang diperoleh pada sampel limbah kopi sudah sesuai dengan standar oleh ICO.

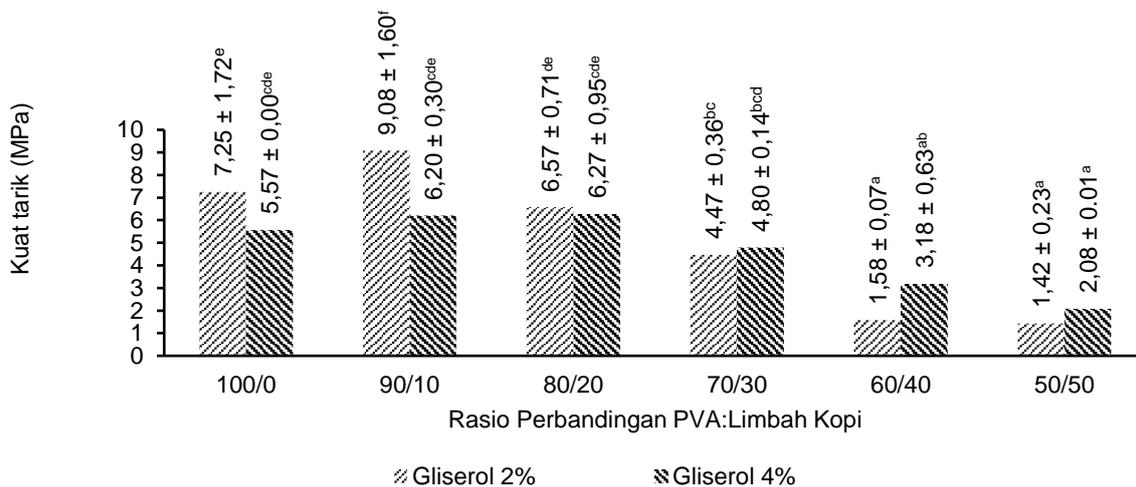
Hasil analisis kandungan lignoselulosa menunjukkan bahwa limbah kopi memiliki kandungan hemiselulosa sebesar 24,97±0,94%, selulosa sebesar 22,10±0,91%, dan lignin sebesar 35,56±3,59%. Menurut Oliveira et al. (2021), kandungan hemiselulosa pada limbah kopi adalah 16%-35%, kandungan selulosa pada limbah kopi adalah 24%-28% dan kandungan lignin pada limbah kopi adalah 29%-38%. Dapat dilihat bahwa kandungan lignoselulosa, selulosa dan lignin yang didapat dalam penelitian ini sesuai dengan rata-rata kandungan selulosa dari limbah biji kopi. Limbah biji kopi yang diperoleh dari PT. Cipta Harum Lestari merupakan limbah kopi campuran, sehingga memiliki kadar selulosa yang beragam.

Pembuatan Kemasan Biokomposit

Kemasan biokomposit dibuat melalui 2 tahap utama, yaitu pencampuran PVA dan limbah kopi, kemudian pencetakan. Kemasan biokomposit hasil pencetakan memiliki perbedaan warna dan juga viskositas yang berbeda, dimana semakin banyak kandungan limbah kopi pada kemasan, maka warna dari kemasan yang dihasilkan semakin gelap dan meningkat kekentalannya. Limbah kopi memiliki kadar serat yang tinggi, sehingga mempengaruhi kekentalan dari larutan. Selulosa umum dipakai sebagai materi penguat matriks biokomposit. Penambahan selulosa ke dalam matrix PVA terlihat memunculkan lapisan lain yang tidak terdispersi sempurna membentuk struktur jaringan tambahan diantara matriks PVA sehingga mempengaruhi kepadatan dari campuran (Frone et al., 2011; Santi et al., 2019).

Pengaruh Rasio Perbandingan PVA: Limbah Kopi dan Konsentrasi Gliserol terhadap Kuat tarik Kemasan Biokomposit

Hasil analisis statistik menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) pada rasio perbandingan PVA:limbah kopi dan interaksi antar 2 faktor terhadap nilai *kuat tarik* dari kemasan biokomposit. Sehingga analisis lanjut dilakukan dengan uji post-hoc (Duncan) pada faktor rasio perbandingan yang dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1, biokomposit dengan rasio 90:10 dengan penambahan gliserol 2% merupakan rasio kemasan dengan nilai *kuat tarik* tertinggi dan berbeda signifikan dari perlakuan lainnya (9,08±1,60 MPa). Hasil menunjukkan bahwa penambahan limbah kopi ke dalam komposisi kemasan dapat meningkatkan *kuat tarik*, namun hanya pada konsentrasi tertentu karena setelah melewati batas konsentrasi tersebut, maka *kuat tarik* dari kemasan akan kembali menurun.



Gambar 1. Grafik *kuat tarik* kemasan biokomposit (Keterangan: Notasi huruf berbeda menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$))

Hasil yang sama juga diperoleh dari penelitian sebelumnya, dimana penambahan selulosa sebesar 20% dapat meningkatkan kuat tarik hingga 10,32 Mpa, namun ketika sudah melebihi 20% kuat tarik dari kemasan akan menurun (Frone et al., 2011). PVA dapat berikatan hidrogen dengan selulosa, apabila gugus hidroksil pada selulosa telah berikatan secara intra dan intermolekular pada struktur

selulosa, kemampuan pengikatan dengan PVA akan terhambat, menyebabkan perlunya eliminasi gugus amorphous menyisakan gugus crystalline agar dapat meningkatkan kekuatan struktural material komposit (Teodorescu et al., 2017) Hal ini mengindikasikan potensi berkurangnya kuat tarik seiring penambahan limbah akibat

tingginya kadar polimer amorphous dari kandungan lignin limbah kopi.

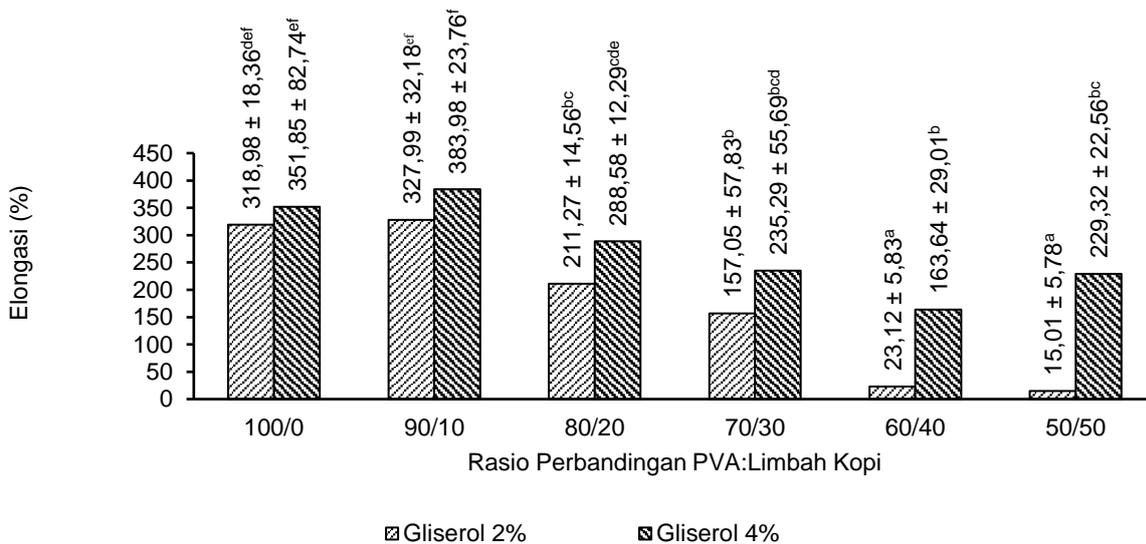
Kemasan biokomposit yang memiliki rasio limbah yang tinggi juga memiliki tekstur yang cenderung kasar. Tekstur yang kasar dari film menunjukkan terdapat ketidakhomogenan dari film hasil pembuatan film maker. Proses pencampuran yang tidak homogen juga dapat mengakibatkan kurang meratanya distribusi molekul yang menyusun komponen bioplastik, sehingga material yang diperoleh dapat mengalami penurunan kuat tarik. Selain itu, kekasaran juga dapat disebabkan oleh aglomerasi selulosa.

Selain itu rantai polimer yang panjang dari selulosa dapat membuat kemasan semakin kokoh dan kuat, namun penambahan limbah kopi dalam jumlah yang terlalu banyak akan menyebabkan ikatan antara selulosa, PVA, dan gliserol tidak kuat dan membuat campuran yang dihasilkan menjadi tidak homogen, sehingga kekuatan tariknya akan menurun. Kandungan selulosa dalam limbah kering kopi mencapai sekitar $35.56 \pm 3.59\%$ dari total berat kering pada limbah kopi halus, selulosa terdiri dari campuran kristal yang teratur dan tidak teratur (amorphous) (Santi et al., 2019). Struktur kristal dari selulosa akan membentuk benang-benang serat yang dapat memperkuat atau memperlemah tekstur dari biokomposit. Apabila kristal selulosa bercampur

dengan kristal yang amorphous, maka tekstur serat yang dihasilkan tidak akan kompak dan justru menyebabkan tekstur rapuh pada campuran biokomposit. Hasil analisis univariat menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan pada konsentrasi gliserol terhadap kuat tarik. Sampel biokomposit dengan konsentrasi gliserol 4% memiliki nilai rata-rata kuat tarik sebesar $4,68 \pm 1,67$ MPa, lebih rendah dibandingkan sampel dengan konsentrasi gliserol 2% ($5,06 \pm 3,08$ MPa). Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian sebelumnya, dimana peningkatan konsentrasi gliserol dapat menurunkan kuat tarik yang dimiliki oleh kemasan film karena gliserol dapat mengurangi ikatan hidrogen internal pada kemasan, sehingga akan membuat gaya tarik intermolekul pada rantai polimer melemah dan menurunkan kuat tarik dan kekakuan kemasan (Ounkaew et al., 2018; Purnavita & Anggraeni, 2019).

Pengaruh Rasio Perbandingan PVA: Limbah Kopi dan Konsentrasi Gliserol terhadap Elongasi Kemasan Biokomposit

Hasil analisis statistik dan *post hoc* menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) pada rasio perbandingan PVA:limbah kopi, konsentrasi gliserol, dan interaksi antar kedua faktor (Gambar 2).

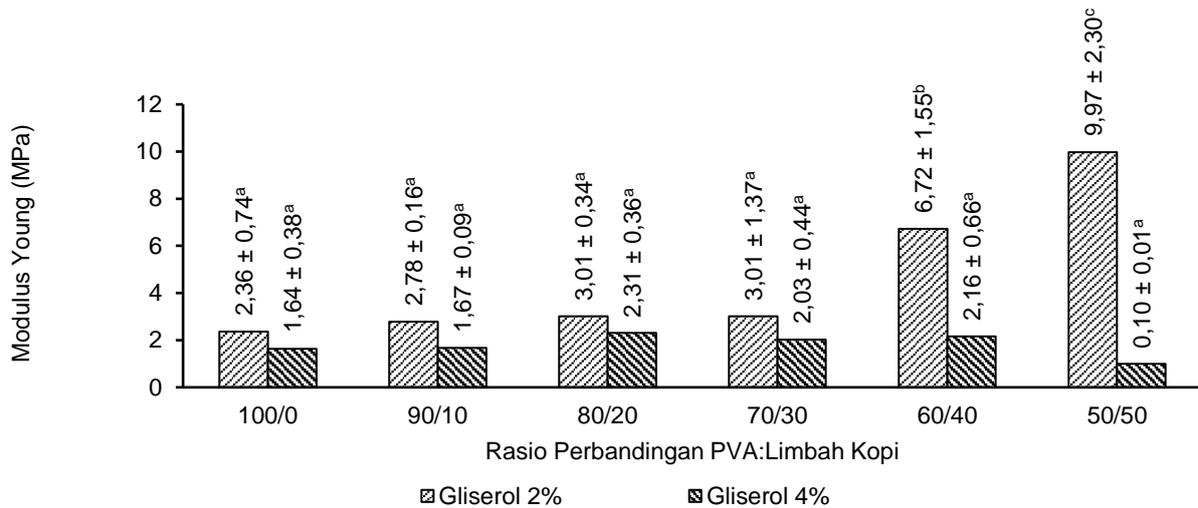


Gambar 2. Grafik elongasi kemasan biokomposit (Keterangan: Notasi huruf berbeda menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$))

Penambahan limbah kopi yang mengandung selulosa sebagai *filler* dapat menurunkan persen pemanjangan yang dimiliki oleh kemasan, dikarenakan selulosa berikatan dengan polimer pada kemasan, dan membuat ruang pori-pori pada kemasan semakin berkurang dan mengakibatkan berkurangnya kebebasan partikel dalam kemasan untuk bergerak sehingga elongasi dari kemasan pun akan menurun (Santi et al., 2019). Semakin tinggi konsentrasi gliserol yang digunakan, nilai elongasi yang dimiliki kemasan pun semakin tinggi. Gliserol didalam biokomposit berperan sebagai *plasticizer* yang akan meningkatkan mobilitas molekul dalam rantai polimer, sehingga akan meningkatkan nilai plastisitas dan elongasi tinggi (Galus & Kadzińska, 2016). Nilai elongasi tertinggi dimiliki oleh kemasan dengan rasio perlakuan 90:10 dengan penambahan gliserol 4% ($383,98 \pm 23,76\%$).

Pengaruh Rasio Perbandingan PVA: Limbah Kopi dan Konsentrasi Gliserol terhadap Modulus Young Kemasan Biokomposit

Hasil analisis statistik dan uji *post-hoc* menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) pada rasio perbandingan PVA:limbah kopi, konsentrasi gliserol, dan interaksi antar kedua faktor terhadap modulus Young kemasan. Dari hasil analisa terlihat semakin tinggi kandungan limbah kopi pada kemasan, maka nilai modulus Young dari kemasan tersebut semakin tinggi dan membuatnya semakin kaku. Hasil tersebut sesuai dengan teori dimana semakin tinggi kandungan limbah kopi, akan membuat kemasan semakin tidak elastis dan memiliki nilai elongasi yang semakin rendah, sehingga akan mengakibatkan kemasan tersebut memiliki nilai Modulus Young yang semakin tinggi (Garcia & Kim, 2021; Santi et al., 2019). Nilai modulus Young tertinggi dimiliki oleh perlakuan 50:50 dengan konsentrasi gliserol 2% ($9,97 \pm 2,30$ MPa).



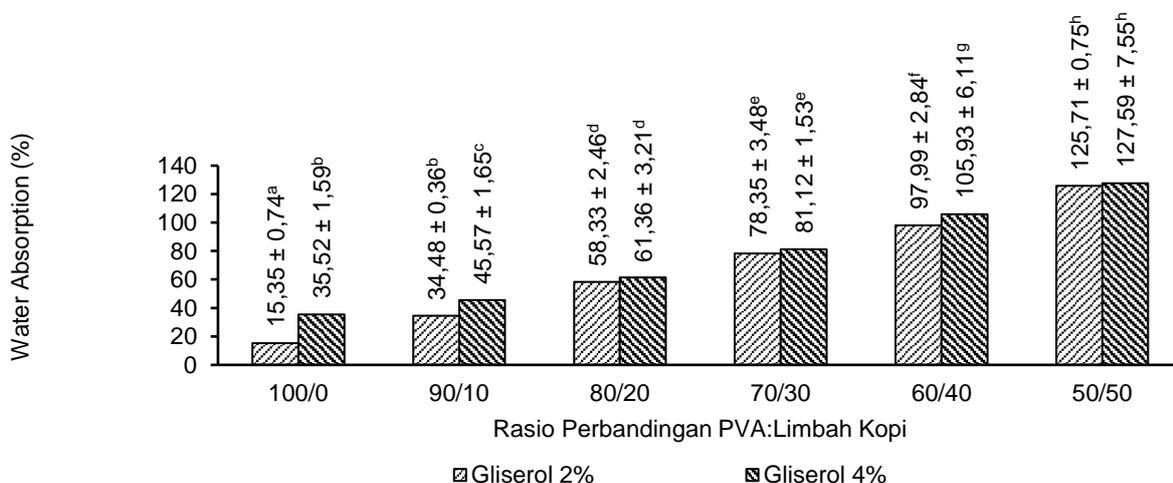
Gambar 3. Grafik modulus young kemasan biokomposit (Keterangan: Notasi huruf berbeda menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$))

Perbedaan konsentrasi gliserol menghasilkan perbedaan yang signifikan terhadap nilai modulus Young dari kemasan biokomposit. Dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa seluruh sampel dengan konsentrasi gliserol 4% memiliki nilai modulus Young yang lebih rendah dibandingkan sampel dengan konsentrasi gliserol 2%. Komposisi Gliserol sangat memengaruhi elastisitas kemasan biokomposit, dimana semakin tinggi konsentrasi gliserol maka kekuatan atau nilai *kuat tarik* dari kemasan akan menurun yang secara langsung akan meningkatkan elongasi. Penurunan kuat tarik dan peningkatan elongasi akan mempengaruhi rasio modulus Young menjadi semakin rendah yang berarti menandakan benda tersebut semakin elastis. Molekul gliserol dapat mengisi celah intermolekular antar polimer yang mengubah orientasi tiga dimensi dari polimer, mengurangi energi yang diperlukan untuk menggerakkan rantai polimer. Sebagai konsekuensi, terjadi peningkatan pergerakan antar rantai polimer. Selain itu penggantian ikatan hidrogen antar rantai polimer dengan ikatan hidrogen polimer-gliserol-polimer menyebabkan meningkatnya pergerakan rantai polimer sehingga meningkatkan fleksibilitas dari film (Galus &

Kadzińska, 2016; Purnavita & Anggraeni, 2019; Seligra, Medina Jaramillo, Famá, & Goyanes, 2016).

Pengaruh Rasio Perbandingan PVA: Limbah Kopi dan Konsentrasi Gliserol terhadap *Water Absorption* Kemasan Biokomposit

Hasil analisis statistik dan uji *post hoc* menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) pada rasio perbandingan antara PVA dengan limbah kopi, konsentrasi gliserol, dan interaksi antar faktor terhadap %*water absorption* yang dimiliki oleh kemasan. PVA memiliki kelarutan dalam air yang tinggi. Kelarutan yang tinggi disebabkan terdapatnya gugus hidroksil bebas pada matriks polimer PVA, sehingga memudahkan komponen PVA untuk berikatan dengan air dan terurai didalam air (Jiang et al., 2023). Penambahan konsentrasi limbah kopi dan gliserol akan meningkatkan daya serap air yang dimiliki oleh kemasan. Pada rasio perbandingan 90:10 dengan konsentrasi gliserol 2%, kemasan memiliki nilai daya serap air sebesar $34,48 \pm 0,36\%$, lebih rendah dibandingkan rasio 100:0 dengan penambahan gliserol 4% yang memiliki nilai daya serap air sebesar $35,52 \pm 1,59$.



Gambar 4. Grafik uji *water absorption* kemasan biokomposit (Keterangan: Notasi huruf berbeda menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$))

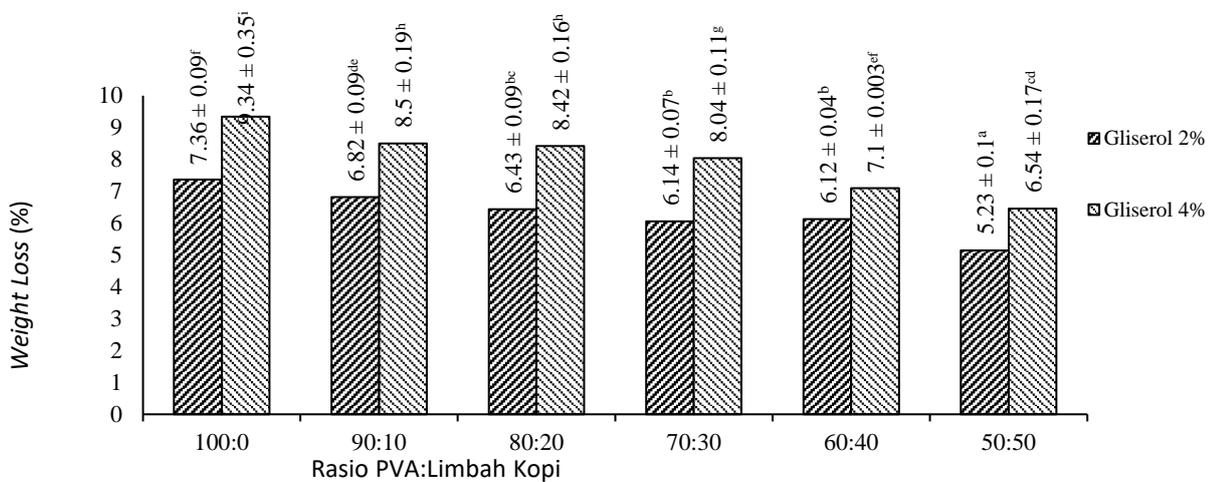
Penambahan serat selulosa dari kulit durian pada penelitian yang dilakukan Mahardika, 2021, menunjukkan bahwa penambahan selulosa akan meningkatkan daya serap air dari bahan biokomposit. Hal ini dikarenakan penambahan selulosa dalam jumlah berlebih meningkatkan daya serap air karena adanya pembentukan ikatan hidrogen intramolekul, termasuk dengan molekul air (Abdulkhani et al., 2013; Mahardika et al., 2021). Peningkatan konsentrasi gliserol juga meningkatkan daya serap air karena gugus hidroksil yang dimilikinya berikatan dengan molekul air.

Pengaruh Rasio Perbandingan PVA: Limbah Kopi dan Konsentrasi Gliserol terhadap Kemampuan Biodegradasi Kemasan Biokomposit

Hasil analisis statistik dan uji *post hoc* menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) pada rasio perbandingan antara PVA dengan limbah kopi terhadap laju degradasi dari kemasan biokomposit. Penambahan limbah kopi terlihat menurunkan kecepatan biodegradasi dari

kemasan biokomposit PVA. Penambahan konsentrasi limbah kopi, menurunkan kadar degradasi dari kemasan biokomposit. Laju degradasi kemasan biokomposit dihitung dari kehilangan berat selama proses perendaman didalam tanah selama 1 minggu. Selama proses perendaman terjadi reaksi degradasi matriks polimer yang disebabkan oleh aktivitas hidrolisa air atau mikroorganisme. Semakin banyak komponen yang mudah terurai, semakin tinggi laju biodegradasi. Dalam penelitian ini terlihat dimana semakin banyak limbah kopi yang ditambahkan ke dalam komposisi kemasan maka kemasan akan semakin lambat untuk terdegradasi.

Limbah kopi yang digunakan mengandung lignin dalam jumlah besar (35.57%) Lignin memiliki sifat sulit untuk larut, kompleks secara kimiawi, dan memiliki sedikit ikatan yang dapat dihidrolisis. Hanya beberapa jenis fungi terutama pada jenis basidiomycota yang dapat melakukan biodegradasi terhadap lignin (Garcia & Kim, 2021).



Gambar 5. Grafik uji biodegradasi kemasan biokomposit (Keterangan: Notasi huruf berbeda menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$))

Kandungan lignin yang tinggi pada limbah kopi menyebabkan penurunan kemampuan biodegradasi dari limbah kopi. Penambahan konsentrasi gliserol dapat meningkatkan kemampuan degradasi dari film disebabkan sifatnya yang menurunkan derajat crystallinity pada selulosa, sehingga menurunkan densitas bioplastik, dan meningkatkan kemampuan degradasi dari mikroorganisme (Buxoo & Jeetah, 2020; Seligra et al., 2016).

Penentuan Perlakuan Terbaik Kemasan Biokomposit

Kemasan biokomposit dengan perlakuan terbaik ditentukan berdasarkan kesesuaian sifat mekanik, *water absorption*, dan kemampuan biodegradasi yang dimiliki dibandingkan dengan SNI 7188:2016 mengenai "Kategori produk tas belanja plastik dan bioplastik mudah terurai" serta melalui perbandingan dengan perlakuan lainnya. Berdasarkan SNI, bioplastik minimal memiliki nilai *kuat tarik* atau kuat tarik sebesar 24,7-302 MPa, % elongasi sebesar 21-220% dan modulus young sebesar 117-137 MPa (BSN, 2016; Simarmata et al., 2020). Berdasarkan penelitian tahap I, kemasan biokomposit dengan perlakuan terbaik merupakan perlakuan 90:10 dengan konsentrasi gliserol sebesar 2% yang memiliki nilai *kuat tarik* atau kuat tarik sebesar 9,08±1,60 MPa, % elongasi sebesar 327,99±32,18%, dan modulus young sebesar 2,78±0,16 MPa pada analisis tekstur, %daya serap air sebesar 34,48±0,36% pada *water absorption test*, dan %berat hilang sebesar 6,82±0,09% pada uji biodegradasi. Formulasi ini

terpilih sebagai perlakuan terbaik dikarenakan memiliki %berat hilang yang cukup baik, memiliki nilai elongasi dan modulus Young yang jauh lebih tinggi dan lebih elastis dibandingkan dengan standar, walaupun nilai kuat tarik yang dimiliki berada di bawah standar. Formulasi ini juga berhasil membuktikan bahwa penambahan limbah kopi dapat menurunkan daya serap air yang dimiliki oleh kemasan, dengan nilai yang cukup baik, yaitu 34,48±0,36% yang akan dibandingkan nilai *water absorption*, sifat mekanik, dan kemampuan biodegradasi yang dimiliki pada penelitian tahap II.

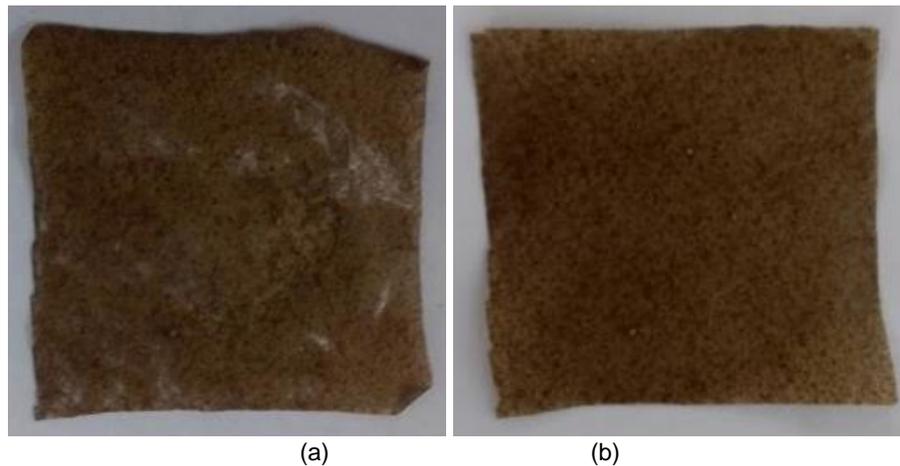
Penelitian Tahap II

Penelitian tahap II bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan asam sitrat terhadap *water absorption*, sifat mekanik, dan kemampuan biodegradasi kemasan biokomposit. Kemasan dengan perlakuan terbaik yang telah terpilih pada penelitian tahap I, yaitu perlakuan 90:10 dengan konsentrasi gliserol 2% dibandingkan nilai analisis tekstur, %*water absorption*, dan biodegradasi yang dimiliki dengan perlakuan sama, namun dengan penambahan asam sitrat yang akan digunakan sebagai perlakuan kontrol. Penambahan asam sitrat dan proses pemanasan dapat meningkatkan hidrofobisitas dari struktur biokomposit PVA dengan limbah kopi (Czibulya et al., 2021; Jiang et al., 2023).Tabel data pengaruh penambahan asam sitrat terhadap karakteristik kemasan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data pengaruh penambahan asam sitrat terhadap karakteristik kemasan

Parameter Uji	Jenis Perlakuan	
	90:10	90:10 (2%)
Kuat tarik (MPa)	9,08±1,60 ^a	12,48±1,40 ^a
Elongasi (%)	327,99±32,18 ^a	301,78±3,79 ^a
Modulus Young (MPa)	2,78±0,16 ^b	4,16±0,08 ^a
Water Absorption (%)	34,48±0,36 ^a	12,41±0,05 ^b
Uji Biodegradasi (%)	6.82±0,09 ^a	12,58±0,25 ^a

Keterangan: Notasi huruf berbeda menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$)



Gambar 6. Kemasan Biokomposit dengan rasio PVA/Limbah kopi 90/10 tanpa penambahan asam sitrat (a) dan dengan penambahan asam sitrat (b)

Pada parameter kuat tarik, hasil analisis statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan ($p > 0,05$) antara perlakuan penambahan asam sitrat terhadap nilai kuat tarik yang dihasilkan oleh kemasan biokomposit dengan atau tanpa penambahan asam sitrat. Berdasarkan penelitian sebelumnya, asam sitrat dalam konsentrasi yang tinggi ($> 10\%$ b/b) berperan sebagai *plasticizer*, dimana asam sitrat akan mengurangi gaya tarik intermolekul dalam polimer sehingga akan meningkatkan jarak antar molekul, dan menurunkan nilai kuat tarik yang dimiliki oleh kemasan. Dalam penelitian ini penambahan asam sitrat dalam konsentrasi 2% tidak mempengaruhi karakter mekanik dari biokomposit; nilai *tensile*, *elongasi*, modulus young tidak menunjukkan adanya perbedaan secara statistik ($p > 0,05$). Penambahan asam sitrat dalam jumlah lebih tinggi diatas 10% dapat bertindak sebagai *plasticizer* (Hardjono, Hermien Suharti, Permatasari, & Sari, 2016; Ounkaew et al., 2018). Biokomposit yang mendapat penambahan asam sitrat menunjukkan permukaan yang lebih halus dan mengkilap dibandingkan biokomposit tanpa penambahan asam sitrat (Gambar 6).

Pada parameter *water absorption*, hasil analisis statistik menunjukkan terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) antara perlakuan penambahan asam sitrat terhadap kemampuan *water absorption* dari kemasan biokomposit. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kemasan dengan penambahan asam sitrat memiliki nilai *%water absorption* yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan kontrol. Selain nilai prosentasi *water absorption*, perubahan fisik secara signifikan juga terlihat pada kemasan dimana kemasan biokomposit dengan penambahan asam sitrat dapat dikeringkan dan hampir tidak mengalami perubahan bentuk dan tekstur setelah perendaman. Sedangkan pada kemasan kontrol, kemasan menjadi lengket dan mengalami

perubahan bentuk seperti retak atau sebagian hancur menjadi potongan kecil setelah perendaman dilakukan. Hal ini membuktikan penambahan asam sitrat sebanyak 2% (b/v) sangat berpengaruh terhadap ketahanan air yang dimiliki oleh kemasan biokomposit. Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian sebelumnya yang mengatakan bahwa penambahan asam sitrat sebagai *crosslinker* pada kemasan dapat meningkatkan stabilitas terhadap degradasi air (Czibulya et al., 2021).

Pada parameter uji biodegradasi, penambahan asam sitrat terlihat mempengaruhi laju biodegradasi dari kemasan. Hasil analisis statistik uji biodegradasi selama 7 menunjukkan perbedaan signifikan antara penambahan asam sitrat terhadap kemampuan biodegradasi kemasan. Kemasan biokomposit PVA dengan penambahan asam sitrat memiliki struktur silang yang lebih kuat dan bersifat hidrofobik sehingga lebih rentan terhadap degradasi. (Huang, Liu, Tseng, & Chen, 2023; Nataraj, Reddy, & Reddy, 2020; Sharmin, Sone, Walsh, Sivertsvik, & Fernández, 2021).

KESIMPULAN

Penambahan limbah kopi dan asam sitrat dapat memperbaiki karakteristik mekanis dan ketahanan air dari kemasan PVA. Kemasan biokomposit yang dibuat dari PVA/limbah kopi dengan rasio 90:10 dengan penambahan gliserol dan asam sitrat sebanyak 2% memiliki penurunan daya serap air sebanyak 70% dan waktu degradasi 2 kali lebih panjang dibandingkan kontrol kemasan dengan menggunakan 100% PVA. Biokomposit yang dihasilkan juga memiliki tekstur yang baik, dengan daya kuat tarik sebesar

12,48±1,60 MPa, elongasi sebesar 301,99±32,18%, dan modulus Young sebesar 4,16±0,08 MPa.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Penelitian dan Pengawasan Mutu dan Laboratorium Kimia Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkhani, A., Marvast, E., Ashori, A., Hamzeh, Y., & Karimi, A. (2013). Preparation of cellulose/polyvinyl alcohol biocomposite films using 1-n-butyl-3-methylimidazolium chloride. *International Journal of Biological Macromolecules*, 62. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2013.08.050
- Badan Pusat Statistik. (2023). Statistik Kopi Indonesia 2021. In *Badan Pusat Statistik*. Jakarta. Retrieved from <https://www.bps.go.id/id/publication/2023/11/30/abde293e6c0fc5d45aaa9fe8/statistik-kopi-indonesia-2022.html>
- Buxoo, S., & Jeetah, P. (2020). Feasibility of producing biodegradable disposable paper cup from pineapple peels, orange peels and Mauritian hemp leaves with beeswax coating. *SN Applied Sciences*, 2(8), 1359. doi: 10.1007/s42452-020-3164-7
- Czibulya, Z., Csík, A., Tóth, F., Pál, P., Csarnovics, I., Zelkó, R., & Hegedűs, C. (2021). The Effect of the PVA/Chitosan/Citric Acid Ratio on the Hydrophilicity of Electrospun Nanofiber Meshes. *Polymers*, 13(20). doi: 10.3390/polym13203557
- Frone, A., Panaitescu, D., Donescu, D., Spataru, C., Radovici, C., Trusca, R., & Somoghi, R. (2011). Preparation and characterization of PVA composites with cellulose nanofibers obtained by ultrasonication. *Bioresources*, 6, 487. doi: 10.15376/biores.6.1.487-512
- Galus, S., & Kadzińska, J. (2016). Moisture Sensitivity, Optical, Mechanical and Structural Properties of Whey Protein-Based Edible Films Incorporated with Rapeseed Oil. *Food Technology and Biotechnology*, 54(1), 78–89. doi: 10.17113/ftb.54.01.16.3889
- Garcia, C. V., & Kim, Y.-T. (2021). Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin as Potential Materials for Packaging: A Review. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(8), 2372–2384. doi: 10.1007/s10924-021-02067-9
- Hardjono, H., Hermien Suharti, P., Permatasari, D., & Sari, V. (2016). PENGARUH PENAMBAHAN ASAM SITRAT TERHADAP KARAKTERISTIK FILM PLASTIK BIODEGRADABLE DARI PATI KULIT PISANG KEPOK (*Musa acuminata* balbisiana Colla). *Jurnal Bahan Alam Terbarukan*, 5, 22–28. doi: 10.15294/jbat.v5i1.5965
- Huang, S.-M., Liu, S.-M., Tseng, H.-Y., & Chen, W.-C. (2023). Effect of Citric Acid on Swelling Resistance and Physicochemical Properties of Post-Crosslinked Electrospun Polyvinyl Alcohol Fibrous Membrane. *Polymers*, 15(7). doi: 10.3390/polym15071738
- Jiang, S., Qiao, C., Liu, R., Liu, Q., Xu, J., & Yao, J. (2023). Structure and properties of citric acid cross-linked chitosan/poly(vinyl alcohol) composite films for food packaging applications. *Carbohydrate Polymers*, 312, 120842. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120842>
- Lewandowska, K. (2009). Miscibility and thermal stability of poly(vinyl alcohol)/chitosan mixtures. *Thermochimica Acta*, 493(1), 42–48. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tca.2009.04.003>
- Limantara, J., Tedjokoesoemo, P. E. D., Rizqy, M. T., Studi, P., Interior, D., Petra, U. K., ... Penelitian, A. M. (2019). *Penggunaan Ampas Kopi Sebagai Material Alternatif pada Produk Interior*. 7(2), 846–849.
- Limbong, S. F., Harsojuwono, B. A., & Hartiati, A. (2022). Pengaruh Pengaruh Konsentrasi Polivinil Alkohol dan Lama Pengadukan pada Proses Pemanasan Terhadap Karakteristik Komposit Biotermoplastik Maizena dan Glukomanan. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno; Vol 7 No 1 (2022)DO - 10.24843/JITPA.2022.V07.I01.P05*.
- Mahardika, M., Asrofi, M., Amelia, D., Syafri, E., M R, S., & Siengchin, S. (2021). Tensile Strength and Moisture Resistance Properties of Biocomposite Films Based on Polyvinyl Alcohol (PVA) with Cellulose as Reinforcement from Durian Peel Fibers. *E3S Web of Conferences*, 302, 2001. doi: 10.1051/e3sconf/202130202001
- Nataraj, D., Reddy, R., & Reddy, N. (2020). Crosslinking electrospun poly (vinyl) alcohol fibers with citric acid to impart aqueous stability for medical applications. *European Polymer Journal*, 124, 109484. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109484>
- Oliveira, G., Passos, C. P., Ferreira, P., Coimbra, M. A., & Gonçalves, I. (2021). Coffee By-Products and Their Suitability for Developing Active Food Packaging Materials. *Foods*, 10(3). doi: 10.3390/foods10030683
- Ounkaew, A., Kasemsiri, P., Kamwilaisak, K., Saengprachatanarug, K., Mongkolthananaruk, W., Souvanh, M., ... Chindaprasirt, P. (2018). Polyvinyl Alcohol (PVA)/Starch Bioactive Packaging Film Enriched with Antioxidants from Spent Coffee Ground and Citric Acid. *Journal of Polymers and the Environment*, 26(9), 3762–3772. doi: 10.1007/s10924-018-1254-z
- Purnavita, S., & Anggraeni, A. (2019). Pengaruh Penambahan Beeswax Dan Gliserol Terhadap Karakteristik Poliblend Glukomanan – Polivinil Alkohol (Pva). *Jurnal Inovasi Teknik Kimia*, 4. doi: 10.31942/inteka.v4i2.3023
- Santi, R., Cigada, A., Del Curto, B., & Farè, S. (2019). Modulable properties of PVA/cellulose fiber composites. *Journal of Applied Biomaterials & Functional Materials*, 17(1), 2280800019831224. doi: 10.1177/2280800019831224
- Seligra, P. G., Medina Jaramillo, C., Famá, L., & Goyanes, S. (2016). Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starch-glycerol with citric acid as crosslinking agent. *Carbohydrate Polymers*, 138, 66–74. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.11.041
- Sharmin, N., Sone, I., Walsh, J. L., Sivertsvik, M., & Fernández, E. N. (2021). Effect of citric acid and plasma activated water on the functional properties of sodium alginate for potential food packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100733. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100733>