

Pengaruh Selulosa Nanokristal dari Serat Buah Kelapa Sawit sebagai Pengisi dan Kalium Klorida sebagai Agen Pendispersi Terhadap Sifat Fisik Bioplastik Berbasis Pati Biji Alpukat (*Persea americana*)

The Effect of Nanocrystal Cellulose from Palm Fruit Fiber as Filler and Potassium Chloride as Dispersing Agent on the Physical Properties of Bioplastic Based on Avocado (*Persea americana*) Seed Starch

M. Thoriq Al Fath*, Maulida Lubis, Ghendis Ekawati Ayu, Nisaul Fadilah Dalimunthe
Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Padang Bulan, Medan, 20155, Indonesia

*Email: thoriq@usu.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh selulosa nanokristal dan kalium klorida (KCl) pada bioplastik dari pati biji alpukat dan gliserol sebagai *plasticizer*. Pada penelitian ini, selulosa nanokristal yang diperoleh dari serat buah kelapa sawit dihidrolisis dengan menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) pada konsentrasi 50%. Pati yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari proses ekstraksi biji alpukat. Proses pembuatan bioplastik digunakan metode *casting* dengan penambahan selulosa nanokristal sebagai pengisi 1%, 2%, 3%, dan 4% (b/b), KCl sebagai pendispersi 0%, 1%, 2%, dan 3% (b/b), dan gliserol sebagai *plasticizer* sebesar 30%. Berdasarkan analisis densitas, nilai densitas optimum diperoleh pada penambahan 2% selulosa nanokristal dan 2% KCl dengan nilai sebesar 0,041 gram/cm³. Nilai penyerapan air yang terbaik adalah dengan penambahan selulosa nanokristal 2% dan KCl 1%, dengan nilai 57,1% dan 53,8%. Hasil *Scanning Electron Microscope* menunjukkan butiran-butiran selulosa nanokristal yang tersebar seragam mengisi permukaan bioplastik. Penambahan KCl sebagai agen pendispersi memberikan dampak yang baik.

Kata kunci: selulosa nanokristal, kalium klorida, biji alpukat, bioplastik, serat buah kelapa sawit

Abstract

This study aims to determine the effect of nanocrystalline cellulose and potassium chloride (KCl) to bioplastics from avocado seed starch and glycerol as *plasticizer*. In this study, nanocrystal cellulose obtained from palm fruit fiber was hydrolyzed using sulfuric acid (H_2SO_4) at a concentration of 50%. The starch used in this study was obtained from the avocado seed extraction process. On producing bioplastic, the casting method was used with the addition of nanocrystal cellulose as filler of 1%, 2%, 3%, and 4% (%w), KCl as dispersing agent of 0%, 1%, 2%, and 3% (%w), and glycerol as plasticizer by 30 (%w). Based on the density test, the optimum value was obtained at 2% of nanocrystal cellulose and 2% of KCl with the value around 0.041 gram/cm³. The best water absorption values were 57.1% and 53.8% which obtained at 2% of nanocrystal cellulose and 1% of KCl. Scanning Electron Microscope test results showed uniformly distributed nanocrystal cellulose granules filling the surface of the bioplastic. The addition of KCl as dispersion agent give a good impact.

Keywords: *nanocrystal cellulose, potassium chloride, avocado seed, bioplastic, palm fruit fiber*

Pendahuluan

Penggunaan plastik yang semakin meningkat menimbulkan masalah yang cukup serius bagi lingkungan. Plastik konvensional biasanya terbuat dari turunan minyak bumi yang susah untuk terdegradasi sehingga menyebabkan kerusakan lingkungan. Teknologi biomaterial, khususnya biopolimer sangat menarik perhatian dalam menciptakan film fleksibel yang ramah lingkungan dan aman bagi kesehatan. Beberapa biopolimer seperti polisakarida, protein, dan lipid telah digunakan

sebagai matriks polimerik untuk pengembangan alternatif kemasan *biodegradable*, karena mudah didapat, dapat diperbaharui, biaya rendah dan ramah lingkungan [1].

Pati (polisakarida) merupakan biopolimer yang menjadi salah satu komponen penting dalam pembuatan bioplastik. Pati paling menguntungkan dalam pembuatan bioplastik karena memiliki sifat transparansi, non-toksitas, dan biaya rendah [2, 3]. Beberapa pati yang sering digunakan dalam produksi bioplastik adalah pati kentang, pati jagung, singkong,

biji durian. Biji alpukat dapat dijadikan sebagai sumber pati karena kandungan amilopektin dalam biji alpukat yang cukup tinggi sebesar 23%. Selain itu, pemanfaatan biji alpukat yang belum memadai dan mudah didapat sehingga sangat berpotensi dapat digunakan sebagai pati dalam bioplastik.

Biasanya akibat elastisitas yang rendah mempengaruhi kualitas sifat mekanik lapisan film dari pati. Pati dapat dicampur dengan gliserol (*plasticizer*) untuk meningkatkan karakteristiknya, karena gliserol memiliki sifat hidrofobik atau tahan air. Penambahan *plasticizer* dalam campuran film *biodegradable* sangat penting untuk mencegah retaknya lapisan film akibat gaya intermolekul yang tinggi [4]. Selain ditambahkan *plasticizer*, untuk meningkatkan kekuatan mekanik dari bioplastik perlu ditambahkan penguat/pengisi. Selulosa merupakan penguat alami yang dapat diperoleh dari serat alami. Serat alami telah banyak diterapkan dalam berbagai bidang khususnya sebagai penguat/pengisi dalam bioplastik karena memiliki banyak keuntungan yaitu mudah didapat, murah, dapat meningkatkan kekuatan mekanik, dan densitas yang rendah [5].

Serat buah kelapa sawit merupakan limbah dari proses pengolahan minyak kelapa sawit yang pemanfaatannya belum memadai. Serat buah kelapa sawit mengandung selulosa yang cukup tinggi sebesar 39,5% [6]. Wilayah Sumatera Utara memiliki sekitar 1,4 juta hektar perkebunan kelapa sawit menghasilkan minyak kelapa sawit setiap tahun sekitar 4,4 juta ton *crude palm oil* [7]. Biomassa yang diproduksi oleh kelapa sawit cukup melimpah. Kelimpahan kandungan lignoselulosa yang ditemukan dalam serat buah kelapa sawit berpotensi untuk digunakan kembali dalam pembuatan selulosa nanokristal sebagai pengisi dalam bioplastik.

Namun dalam penggunaan selulosa nanokristal dalam bioplastik masih memiliki kekurangan seperti penyebaran selulosa nanokristal yang belum merata sehingga mempengaruhi karakteristik dan sifat-sifat dari produk bioplastik yang dihasilkan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Silviana dan Hadiyanto (2017) dalam pembuatan bioplastik dengan bahan baku pati sagu dan penguat mikrofibril selulosa dari bambu dengan bantuan ultrasonik *homogenizer* menghasilkan permukaan bioplastik dengan pori yang tersebar secara tidak merata. Hal ini menandakan bahwa penggabungan dengan proses ultrasonifikasi saja belum memiliki pengaruh yang maksimal terhadap morfologi bioplastik [8]. Penambahan agen pendispersi dalam pembuatan bioplastik dapat menjadi alternatif sehingga menghasilkan bioplastik dengan morfologi yang baik serta penyebaran pengisi yang merata. Menurut Zhang et al. (2015) pada pembuatan bioplastik dengan penambahan KCl sebagai agen pendispersi, mampu mereduksi waktu homogenisasi akibat pengaruh gaya elektrostatis [9].

Berdasarkan penjelasan tersebut, sehingga dilakukan mengenai karakteristik bioplastik pati biji alpukat yang dihasilkan dengan penambahan pengisi

selulosa nanokristal dari serat buah kelapa sawit dan gliserol sebagai *plasticizer* serta KCl sebagai agent pendispersi.

Teori

Salah satu jenis plastik yang mudah terurai secara alami disebut dengan bioplastik karena terbuat dari bahan-bahan yang mudah terdekomposisi. Pati, lemak dan selulosa merupakan polimer alami yang digunakan dalam pembuatan bioplastik. Sementara itu, pati dan *poly lactic acid* (PLA) merupakan bahan yang seringkali digunakan sebagai bahan utama pembuatan bioplastik [10].

Pati merupakan karbohidrat yang tersusun atas unit glukosa yang terikat dalam ikatan glikosidik. Pati merupakan campuran 2 polimer yaitu amilosa dan amilopektin. Didalam pati terkandung sekitar 75%-80% amilopektin dan 20%-25% amilosa. Sumber pati bervariasi di seluruh dunia, tetapi termasuk jagung, kentang, singkong, dan buah bit. Pati sering digunakan dalam berbagai industri seperti perekat dan industri emulsi, *glass fiber*, sarung tangan medis, pengemasan dan dibidang pertanian [11].

Indonesia merupakan daerah tropis yang banyak ditumbuhi buah alpukat (*Persea Americana Mill*). Menurut Badan Pusat Statistik Indonesia (2019), tanaman alpukat mengalami peningkatan produksi sebesar 12,57% per tahun khusus di daerah Sumatera Utara dengan total produksi sebesar 461,613 ton pada tahun 2019 [12]. Tingginya produksi buah alpukat menyebabkan tingginya juga biji alpukat yang dihasilkan dengan pemanfaatannya belum memadai. Amilosa dan amilopektin merupakan senyawa utama yang terdapat dalam biji alpukat, kandungan amilosa pada biji alpukat cukup tinggi, yakni sekitar 23% [13].

Selulosa dengan diameter ukuran nano biasanya disebut dengan nanoselulosa yang memiliki sifat khusus seperti kemampuan menikat air yang tinggi, rasio permukaan yang besar terhadap volume, kekuatan tarik yang tinggi, sangat porous dan jaringan yang halus sehingga nanoselulosa sangat berbeda dengan selulosa alami [14]. Pada dasarnya, nanomaterial terdiri dari tiga kelompok yaitu selulosa nanokristal, selulosa *nanofiber*, dan *bacterial nanoselulosa*. Selulosa nanokristal bisa dimanfaatkan di berbagai bidang industri. Pada industri *packaging*, nanoselulosa dapat digunakan sebagai bahan penguat kemasan [15].

Kelapa sawit adalah tanaman penghasil minyak kelapa sawit berupa *Crude Palm Oil* (CPO) yang banyak dihasilkan di Indonesia terutama di pulau Sumatera. Serat merupakan limbah yang dihasilkan dalam proses pengolahan kelapa sawit dengan kandungan 39,5% selulosa, 32,8% lignin, 9,8% hemiselulosa, 9,3% abu, dan 8,6% mineral [6].

Kalium klorida (KCl) bertindak sebagai agen pendispersi. KCl merupakan senyawa garam alkali yang terbentuk dari unsur kalium (K^+) dan klorida (Cl^-) [16]. Penambahan kalium klorida sebagai agen pendispersi mampu meningkatkan kekuatan tarik dan

membantu mereduksi gelembung udara pada permukaan bioplastik [17].

Gliserol merupakan *plasticizer* yang baik pada pembuatan film komposit karena ramah lingkungan, penguapan rendah dan mudah dilarutkan dalam air. Gliserol merupakan alkohol terhidrasi dengan nama lain gliserin yang diperlukan dalam pembuatan bioplastik sehingga menurunkan kekakuan pada bioplastik. Selain itu, gliserol memiliki sifat dapat menyerap air dari udara atau higroskopis [18].

Metodologi Penelitian

Bahan dan Alat

Biji alpukat digunakan sebagai sumber pati yang diperoleh dari penjual pokok koci di Jalan HM. Joni, Medan, Sumatera Utara. Serat buah kelapa sawit yang didapat dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) di Tanjung Sementok, Aceh Tamiang, Aceh. Bahan-bahan kimia yang digunakan untuk isolasi selulosa nanokristal adalah asam nitrat (HNO_3), natrium hidroksida (NaOH), natrium hipoklorit (NaOCl), hidrogen peroksida (H_2O_2), natrium nitrit (NaNO_2), natrium sulfat (Na_2SO_3) dan asam sulfat (H_2SO_4).

Adapun alat yang digunakan untuk isolasi nanokristal selulosa adalah *hot plate*, ayakan 50 mesh, sentrifugator, *ultrasonic bath* dan membran dialisis. Alat yang digunakan untuk penyediaan biokomposit adalah cetakan bioplastik, *hot plate* dan *magnetic stirrer*.

Pembuatan Selulosa Nanokristal

Serat buah kelapa sawit dicuci dan dikeringkan di bawah sinar matahari selama 8 jam. Serat kering dicampur dan dihaluskan hingga berbentuk bubuk dengan ukuran 50 mesh. Kemudian didelignifikasi dengan 1 L asam nitrat (HNO_3) 3,5% dan 10 mg natrium nitrit (NaNO_2) selama 2 jam pada suhu 90 °C. Disaring dan dicuci hingga diperoleh *filtrat* dengan pH netral. Proses menghilangkan hemiselulosa dengan cara residu dimasukkan ke dalam larutan 750 mL natrium hidroksida 2% (b/v) dan natrium sulfat (Na_2SO_3) dengan suhu 50 °C selama 1 jam. Kemudian diputihkan dengan 250 mL larutan natrium hipoklorit (NaOCl) 1,75% (b/v) pada suhu dididih selama 0,5 jam. Kemudian, residu dimasukkan ke dalam 500 mL larutan natrium hidroksida (NaOH) 17,5% selama 0,5 jam pada suhu 80 °C. Kemudian diputihkan kembali menggunakan larutan hidrogen peroksida (H_2O_2) 10% pada suhu 60 °C selama 5 menit. Selulosa yang diperoleh selanjutnya dicuci hingga mencapai pH netral dan dikeringkan dalam oven [19]. Proses hidrolisis selulosa dilakukan dalam konsentrasi asam sulfat (H_2SO_4) 50%. Sebanyak 1 gram selulosa dicampur dalam 25 mL asam sulfat (H_2SO_4) pada suhu 45 °C selama 45 menit. Suspensi ditambahkan air suling dan dibiarkan mengendap semalaman. Suspensi disentrifugasi dengan kecepatan 10.000 rpm selama 20 menit untuk menghilangkan kelebihan asam hingga pH netral. Kemudian suspensi didispersikan dengan ultrasonifikasi pada suhu

runagan selama 10 menit dan dikeringkan pada suhu 60 °C dalam oven.

Isolasi Pati Biji Alpukat

Biji alpukat dengan berat 100 gram dicuci bersih kemudian ditiriskan. Potong-potong biji alpukat hingga berukuran 2 cm² dan ditambahkan 100 mL air kemudian diblender hingga halus. Setelah halus, akan terbentuk bubur biji alpukat dan disaring *filtrat* yang diperoleh kemudian didiamkan selama 1 jam sehingga terbentuk pati (endapan). Dipisahkan air dengan pati (endapan) yang terbentuk. Dicuci endapan pati yang diperoleh, kemudian diaduk dan diendapkan lagi selama 1 jam. Dikeringkan dalam oven, endapan pati yang diperoleh selama 30 menit dengan suhu 70 °C. Pati yang diperoleh dihaluskan hingga berbentuk serbuk dan diayak 100 mesh agar diperoleh ukuran yang seragam.

Pembuatan Bioplastik

Pati biji alpukat dan selulosa nanokristal yang diinginkan ditimbang dengan variasi *filler* yaitu 6:4, 7:3, 8:2, dan 9:1 (b/b) sebanyak 3 gram dari total berat kering pati-selulosa nanokristal. Selulosa nanokristal dimasukkan ke dalam *beaker glass* yang berisi 75 mL *aquadest* dan ditambahkan larutan KCl dengan konsentrasi 0%, 1%, 2%, dan 3% (b/v). Kemudian larutan didispersikan menggunakan *ultrasonic bath* selama 30 menit pada suhu ruangan. Setelah 30 menit, pati ditambahkan ke dalam larutan selulosa nanokristal-KCl yang telah terdispersi. Ditambahkan 30% gliserol dan diaduk hingga merata. Tuang larutan tersebut ke dalam cetakan, kemudian dikeringkan selama 48 jam pada suhu ruangan.

Karakterisasi Sifat Fisik Bioplastik

Analisis Densitas

Analisis densitas atau penentuan rapat massa *film* dilakukan dengan standar ASTM D792, yakni dengan bioplastik dipotong dengan ukuran 2 cm x 2 cm, dan volumenya dihitung. Kemudian potongan *film* tersebut ditimbang [20]. Nilai densitas dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$\text{Densitas} = \frac{\text{massa bioplastik (gram)}}{\text{volume bioplastik (cm}^3\text{)}} \dots\dots\dots(1)$$

Analisis Scanning Electron Microscope (SEM)

Analisis menggunakan SEM dilakukan di Laboratorium Penelitian Terpadu Universitas Sumatera Utara dengan perbesaran 3000x.

Analisis Penyerapan Air

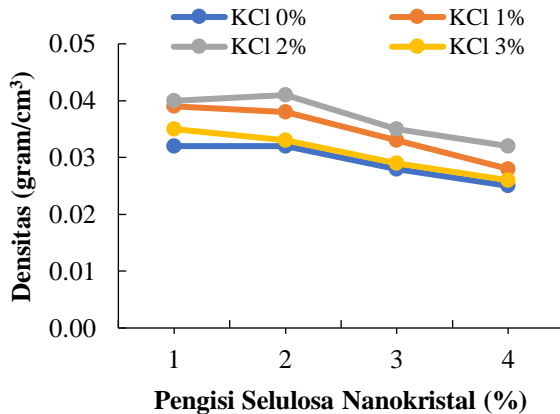
Uji penyerapan air dilakukan dengan memotong *film* dengan ukuran sekitar 2 cm x 2 cm lalu ditimbang massanya. *Film* dimasukkan ke dalam wadah berisi air. Setelah perendaman dalam air, *film* dikeluarkan dari air setiap 20 menit dan ditimbang untuk mengukur berat basah. Nilai penyerapan air dihitung dengan Persamaan (2) berikut ini.

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{\text{berat basah} - \text{berat kering}}{\text{berat basah}} \times 100\% \dots\dots(2)$$

Hasil

Pengaruh Penambahan Selulosa Nanokristal dan Kalium Klorida (KCl) pada Bioplastik

Pengaruh penambahan selulosa nanokristal dan kalium klorida (KCl) terhadap densitas bioplastik yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 1.

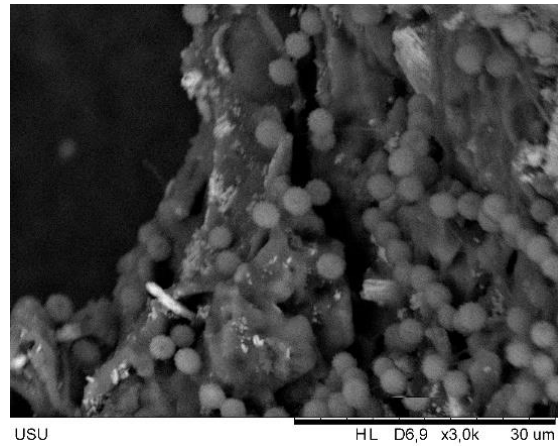


Gambar 1. Pengaruh penambahan selulosa nanokristal dan kalium klorida (KCl) terhadap densitas bioplastik

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa penambahan selulosa nanokristal dan KCl terhadap densitas bioplastik memiliki perubahan yang signifikan. Nilai densitas tertinggi sebesar 0,041 gram/cm³ pada penambahan selulosa nanokristal 2% dan kalium klorida 2%. Sementara itu, nilai densitas terendah sebesar 0,025 gram/cm³ pada penambahan selulosa nanokristal 4% dan penambahan kalium klorida 0%. Gambar 1. juga menunjukkan bahwa nilai densitas meningkat dengan penambahan selulosa nanokristal hingga 2%. Hal ini disebabkan oleh selulosa nanokristal yang memiliki sifat hidrofilik sehingga terjadi interaksi antara ikatan hidrogen yang lebih kuat antara matriks pati dan pengisi [21]. Penurunan densitas pada penambahan selulosa nanokristal 3% dan 4% disebabkan oleh penambahan pengisi yang berlebihan dapat merusak ikatan antara matriks dan pengisi sehingga menurunkan densitas bioplastik. Selain itu, perbedaan polaritas antara pati, selulosa nanokristal dan gliserol mengakibatkan kurangnya kerapatan struktur bioplastik [22].

Penambahan KCl bertindak sebagai agen pendispersi selulosa nanokristal memberikan hasil yang signifikan terhadap kekuatan tarik bioplastik. KCl membantu pendispersian selulosa nanokristal dalam bioplastik. Hal ini didukung dengan hasil SEM pada Gambar 2.

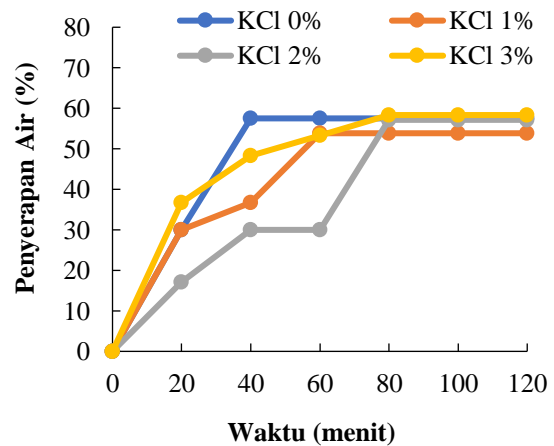
Gambar 2 menunjukkan butiran-butiran selulosa nanokristal yang tersebar seragam mengisi permukaan bioplastik. Penambahan KCl sebagai agen pendispersi memberikan dampak yang baik. KCl dapat terionisasi menjadi K⁺ dan Cl⁻. Kation K⁺ dapat membuat larutan bioplastik menjadi setimbang sehingga dapat mendispersikan selulosa nanokristal dengan baik [9]. Pendispersian selulosa nanokristal yang merata dapat meningkatkan densitas bioplastik.



Gambar 2. Hasil analisis menggunakan SEM bioplastik dengan penambahan selulosa nanokristal 2% dan kalium klorida 2%

Pengaruh Penambahan Kalium Klorida (KCl) pada Penambahan Selulosa Nanokristal 2% terhadap Sifat Penyerapan Air Bioplastik

Pengaruh penambahan kalium klorida (KCl) sebagai agen pendispersi pada penambahan selulosa nanokristal 2% terhadap sifat penyerapan air bioplastik dapat dilihat pada Gambar 3.



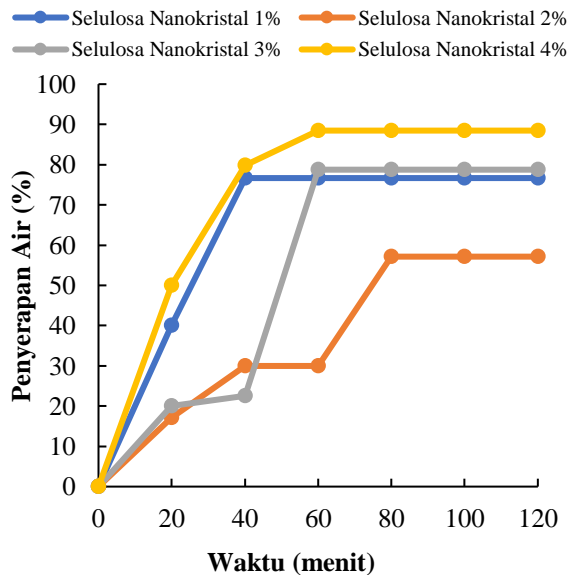
Gambar 3. Pengaruh Penambahan Kalium Klorida (KCl) terhadap Sifat Penyerapan Air Bioplastik

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa penambahan KCl pada penambahan selulosa nanokristal 2% diperoleh waktu konstan hingga 120 menit dengan sifat penyerapan air bioplastik yang diperoleh pada penambahan KCl 0% adalah 57,5%, KCl 1% adalah 53,8%, KCl 2% adalah 57,1%, dan KCl 3% adalah 58,3%. Pada waktu 20 menit pertama, sifat penyerapan air semakin meningkat karena kemampuan menyerap air masih tinggi hingga mencapai titik jenuh pada 80 menit. Peningkatan nilai penyerapan air ini disebabkan oleh KCl sebagai agen pendispersi memiliki tekanan osmotik yang tinggi, sehingga dapat menyerap kandungan air dalam bioplastik. Kemampuan KCl yang dapat menyerap kandungan air dapat menyebabkan ikatan antara

gliserol dan pati akan menjadi rapuh sehingga dapat menurunkan kekuatan mekanik pada bioplastik yang dihasilkan [17].

Pengaruh Penambahan Selulosa Nanokristal Pada Penambahan Kalium Klorida (KCl) 2% Terhadap Sifat Penyerapan Air Bioplastik

Gambar 4 menunjukkan pengaruh penambahan selulosa nanokristal terhadap sifat penyerapan air bioplastik.



Gambar 4. Pengaruh penambahan selulosa nanokristal (NCC) terhadap sifat penyerapan air bioplastik

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa penambahan selulosa nanokristal pada penambahan kalium klorida (KCl) 2% dan gliserol 30% diperoleh waktu konstan hingga 120 menit dengan sifat penyerapan air bioplastik yang diperoleh pada penambahan selulosa nanokristal 1% adalah 76,7%, 2% adalah 57,1%, 3% adalah 78,8%, dan 4% adalah 88,5%. Tingkat penyerapan air pada menit ke-20 masih tinggi hingga menit ke-80. Selulosa nanokristal dari serat buah kelapa sawit memiliki kristalinitas yang tinggi mampu berinteraksi dengan baik antara gugus hidroksil (OH) pada gliserol dan interaksi intermolekul pada pati sehingga mencegah peregangan ikatan rantai polimer dan mencegah penyerapan air. Sedangkan pada penambahan selulosa nanokristal 3% dan 4%, nilai penyerapan air bioplastik mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan penambahan selulosa nanokristal yang berlebihan menyebabkan penyebaran selulosa nanokristal yang tidak merata dan menumpuk sehingga meregangkan OH dan memudahkan perpindahan air ke dalam bioplastik sehingga kemampuan penyerapan air bioplastik meningkat. Adanya zona amorf dan penumpukan pada selulosa nanokristal juga melemahkan OH dan meningkatkan mobilitas pada rantai polimer sehingga memudahkan air untuk berpindah ke dalam bioplastik sehingga meningkatkan sifat penyerapan air [23, 24].

Kesimpulan

Penambahan selulosa nanokristal pada bioplastik mampu meningkatkan sifat fisik dari bioplastik dengan baik. Berdasarkan uji densitas, nilai densitas optimum diperoleh pada penambahan 2% selulosa nanokristal dan 2% kalium klorida (KCl) dengan nilai sebesar 0,041 gram/cm³. Nilai penyerapan air yang terbaik adalah dengan penambahan selulosa nanokristal 2% dan KCl 1%, dengan nilai 57,1% dan 53,8%. Hasil *Scanning Electron Microscope* menunjukkan butiran-butiran selulosa nanokristal yang tersebar seragam mengisi permukaan bioplastik. Penambahan KCl sebagai agen pendispersi memberikan dampak yang baik.

Daftar Pustaka

- [1] Y. Sarkingobir and A. Lawal, "Bioplastics: Their advantages and concerns," *Materials and Metallurgical Engineering*, vol. 11, no. 1, pp. 13-18, 2021.
- [2] J. B. A. Silva, T. Nascimento, L. A. S. Costa, F. V. Pereira, B. A. Machado, G. V. P. Gomes, D. J. Assis, and J. I. Druzian, "Effect of source and interaction with nanocellulose cassava starch, glycerol and the properties of films bionanocomposites," in *Materials Today: Proceedings*, 2015, vol. 2, no. 1, pp. 200–207.
- [3] S. Mali, M. Victória, E. Grossmann, and Fábio Yamashita, "Starch films: production, properties and potential of utilization," *Semina : Ciências Agrárias*, vol. 31, no. 1, pp.137-156, 2012.
- [4] Maulida, T. Kartika, M. B. Harahap, and M. H. S. Ginting, "Utilization of mango seed starch in manufacture of bioplastic reinforced with microparticle clay using glycerol as plasticizer," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 309, no. 1.
- [5] A. Campos, A. R. Sena Neto, V. B. Rodrigues, B. R. Luchesi, L. H. C. Mattoso, and J. M. Marconcini, "Effect of raw and chemically treated oil palm mesocarp fibers on thermoplastic cassava starch properties," *Ind. Crops Prod.*, vol. 124, pp. 149–154, 2018.
- [6] J. Lamaming, R. Hashim, C. P. Leh, O. Sulaiman, T. Sugimoto, and M. Nasir, "Isolation and characterization of cellulose nanocrystals from parenchyma and vascular bundle of oil palm trunk (*Elaeis guineensis*)," *Carbohydr. Polym.*, vol. 134, 2015.
- [7] Anonim, *Industri minyak sawit Sumatera Utara berkelanjutan*. edisi ke-XII, Bogor: Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia, Cabang Sumatera Utara, 2016.
- [8] S. Silviana and H. Hadiyanto, "Preparation of sago starch-based biocomposite reinforced microfibrillated cellulose of bamboo assisted by mechanical treatment," in *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol. 1855.
- [9] X. Zhang, Y. Yu, W. Li, D. Ren, and H. Wang, "MFC from KCl solution," *Bioresources*, vol.

- 10, no. 4, pp. 6635-6642, 2015.
- [10] E. Kamsiati, H. Herawati, and E. Y. Purwani, "Potensi pengembangan plastik biodegradable berbasis pati sagu dan ubi kayu di Indonesia," *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, vol. 36, no. 2, pp. 67-76, 2017.
- [11] I. Gonçalves de Moura, A. Vasconcelos de Sá, A. S. Lemos Machado Abreu, and A. V. Alves Machado, *Bioplastics from agro-wastes for food packaging applications*, in A. M. Grumezescu, *Nanotechnology in the Agri-Food Industry*, Volume 7. Amsterdam: Elsevier Academic Press in Food Packaging, 2017.
- [12] Anonim, *Produksi Buah-buahan di Indonesia, Tahun 2015-2019*, Kementerian Pertanian, Indonesia, 2019.
- [13] D. Hana Kartika, Mutmainah, and Mufrod, "Pengaruh peningkatan konsentrasi pati biji alpukat (*Persea americana* mill.) sebagai pengikat terhadap karakteristik fisik granul dan tablet ekstrak akar alang-alang (*Imperata cylindrica* Linn.)," *Majalah Obat Tradisional*, vo. 17, pp. 22-26, 2012.
- [14] D. Klemm, F. Kramer, S. Moritz, T. Lindstrom, M. Ankerfords, D. Gray, and A. Dorris, "Nanocelluloses: A new family of nature-based materials," *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 50, no. 24, pp. 5438–5466, 2011.
- [15] H.-Y. Yu, Z.-Y. Qin, L. Liu, X.-G. Yang, Y. Zhou, and J.-M. Yao, "Comparison of the reinforcing effects for cellulose nanocrystals obtained by sulfuric and hydrochloric acid hydrolysis on the mechanical and thermal properties of bacterial polyester," *Compos. Sci. Technol.*, vol. 87, pp. 22–28, 2013.
- [16] N. Isfa'ni, T. Tundjung, Handayani, Yulianti, and Zulkifli, "Pengaruh pemberian senyawa KCl (kalium klorida) terhadap pertumbuhan kecambah sorgum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench)," *J. Ilm. Biol. Eksperimen dan Keanekaragaman Hayati*, vol. 5, no. 1, pp. 11-18, 2018.
- [17] K. Puspitasari, "Pengaruh penambahan kitosan terhadap sifat fisik dan mekanik film biopolimer dari pati batang kelapa sawit (*Elaeis guineensis* jack) dengan plasticizer sorbitol," Skripsi, Universitas Sumatera Utara, Medan, 2015
- [18] S. Purnavita, D. Y. Subandriyo, and A. Anggraeni, "Penambahan gliserol terhadap karakteristik bioplastik dari komposit pati aren dan glukomanan," *Metana*, vol. 16, no. 1, pp. 19–25, 2020.
- [19] G. E. Ayu, H. Nasution, M. Lubis, H. Harahap, and M. T. Al Fath, "The production of nanocrystalline cellulose from oil palm fruit fibers using chemical treatment," in *AIP Conference Proceeding*, 2020, vol. 2267.
- [20] Anonim, *Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Plastics by Displacement (ASTM D729)*, ASTM, Philadelphia, 2020, pp. 1-6.
- [21] A. Shafqat, N. Al-Zaqri, A. Tahir, and A. Alsalmeh, "Synthesis and characterization of starch based bioplastics using varying plant-based ingredients, plasticizers and natural fillers.," *Saudi J. Biol. Sci.*, vol. 28, no. 3, pp. 1739–1749, 2021.
- [22] M. Fazeli and R. A. Simão, "The effect of cellulose nanofibers on the properties of starch biopolymer," *Macromol. Symp.*, vol. 380, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [23] R. Ortega-Toro, "Development and characterization of corn starch films by blending with more hydrophobic compounds," Thesis, Universitat Politecnica De Valencia, Valencia, 2015
- [24] J. Shojaeiarani, D. S. Bajwa, and S. Chanda, "Cellulose nanocrystal based composites: A review," *Composites Part C*, vol. 5, 2021.