

SIFAT FISIK DAN MEKANIK KEMASAN *TABLEWARE* DARI KOMPOSIT AMPAS TEH HITAM DAN TEPUNG TAPIOKA

Riel Jeremy Jordan Umboh¹, Yudi Pranoto^{1*}, Sri Rahayoe²

¹Departemen Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada

²Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada

Email: pranoto@ugm.ac.id

ABSTRAK

Sumber serat dari limbah yang ramah lingkungan dan mudah didapatkan seperti serat ampas teh hitam dapat bermanfaat sebagai bahan alternatif kemasan plastik *non-biodegradable*. Ampas teh hitam berperan sebagai pengisi dalam matriks tepung tapioka untuk membuat *tableware*. Faktor penting yang harus diperhatikan adalah penentuan ukuran partikel serat yang sesuai dapat meningkatkan kualitas komposit. Penelitian ini melakukan pembuatan *tableware* menggunakan metode *compression molding* dengan penerapan tekanan dan panas dalam cetakan. Pembuatan *tableware* terdiri dari dua variabel bebas yaitu rasio massa ampas teh hitam: pati tapioka dengan empat taraf (30:70, 40:60, 50:50, 60:40) dan ukuran partikel dengan tiga taraf (400-250 μm , 250-125 μm , <125 μm). Tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi karakter fisik (morfologi, ketebalan, densitas, penyerapan air) dan mekanik (kuat tarik, kuat fleksural) dengan variasi rasio massa ampas teh hitam : tepung tapioka dan ukuran partikel ampas teh hitam. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan serat dan pengecilan ukuran partikel ampas teh dapat berpengaruh secara signifikan ($p < 0,05$) dalam meningkatkan sifat fisik dan mekanik *tableware* yang dihasilkan. Rasio 50:50 (50% ampas teh) dan ukuran partikel <125 μm memberikan morfologi yang baik, ketebalan dan kuat tarik yang tinggi, sedangkan rasio 60:40 (60% ampas teh) dan ukuran partikel 250-125 μm memberikan densitas dan kuat fleksural yang rendah, dan penyerapan air yang rendah.

Kata kunci- ampas teh hitam; ukuran partikel serat; tepung tapioka; *tableware*

PENDAHULUAN

Dekade ini, industri jasa boga mengalami perubahan besar-besaran, dimana pelanggan lebih memilih memesan makanan *take-away* yang memerlukan kemasan sekali pakai. Tidak hanya jasa boga, peningkatan penggunaan *tableware* sekali pakai lebih disukai sebagian besar orang karena lebih mudah dan praktis. Namun, penggunaan plastik berbasis *petroleum* masih sering digunakan dalam pembuatan kemasan makanan yang susah terurai dalam tanah dan dapat terakumulasi menjadi polusi yang merusak lingkungan. Maka dari itu, produksi *tableware* skala besar dengan sifat sekali pakai dan ramah lingkungan sangat dibutuhkan untuk memenuhi gaya hidup di zaman sekarang (Dybka-Stepień et al., 2021).

Kemasan yang mudah terurai dan ramah lingkungan dapat dibuat dari bahan alami yang terbarukan dan murah, salah satunya serat alami lignoselulosa dari limbah sisa pertanian (Duan et al., 2016). Sumber lignoselulosa yang dapat digunakan adalah teh hitam yang merupakan minuman dengan konsumsi harian hampir 18-20 miliar gelas atau sekitar 6,3 miliar ton (Debnath et al., 2021). Dalam produksi teh, limbah yang dihasilkan hampir miliaran ton dan hanya dibuang atau dibakar saja (Mahmoud et al., 2020). Salah satu komponen utama lignoselulosa yaitu selulosa dalam ampas teh cukup tinggi yaitu sekitar 33,54% (Azzahra dan Taufik, 2020) sehingga dapat digunakan sebagai filler dalam pembuatan *tableware*. Polimer ampas teh sudah digunakan dalam pembuatan kemasan atau komposit lainnya dengan penambahan larutan selulosa (Duan et al., 2016), polietilen densitas tinggi (HDPE) (Dönmez Çavdar et al., 2011), asam polilaktat (PLA) (Gao dan Ogata, 2020), dan komposit papan partikel (Batiancela et al., 2014).

Selain pemilihan bahan baku, penentuan ukuran dan bentuk lignoselulosa sebagai pengisi dalam komposit perlu dicermati. Ukuran partikel ditentukan karena memengaruhi interaksinya dengan matriks (Versino dan García, 2019). Partikel yang besar cenderung teraglomerasi satu sama lain dalam komposit (Samal, 2020) sedangkan ukuran partikel yang kecil dapat terdistribusi dengan baik. Maka dari itu, ukuran partikel perlu ditentukan agar dapat meningkatkan kekuatan dan kualitas dari komposit *tableware*.

Matriks yang dibutuhkan dalam kemasan mudah terurai (*degradable*) memiliki sifat yang ramah lingkungan, salah satunya adalah pati. Polimer pati dapat digunakan karena jumlahnya yang melimpah dan mudah ditemukan (Oliveira et al., 2019). Pati yang digunakan dalam pembuatan komposit harus diubah menjadi termoplastis dengan penambahan pemlastis seperti air, gliserol, atau sorbitol beserta pemberian suhu dan tekanan yang tinggi (Bodirläu et al., 2014). Jenis pati yang digunakan pada penelitian ini adalah pati tapioka. Tepung tapioka merupakan tepung yang sudah diekstraksi patinya dari singkong dengan kadar amilosa mencapai rata-rata 20,7 % (Hsieh et al., 2019).

Dalam meningkatkan sifat mekanik dan resistensi terhadap air dari komposit, diperlukan formulasi pati dan serat alami. Penentuan kombinasi antar tepung tapioka dengan ampas teh yang optimal beserta ukuran partikel ampas teh perlu diteliti supaya mendapatkan kualitas *tableware* yang baik. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi karakter fisik dan mekanik *tableware* dengan variasi rasio massa ampas teh hitam : tepung tapioka beserta ukuran partikel ampas teh.

METODOLOGI PENELITIAN

A. Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alat *compression molding* modifikasi (CV. Mitra Teknitama, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia), pengayak otomatis (Haver & Boecker EML 200 Pure, Oelde, Jerman), grinder (Phillips HR-2116, Eindhoven, Belanda), *food mixer* (Trisonic T-1505, New York, Amerika Serikat), ayakan 40, 60, dan 120 mesh, *cabinet dryer*, mikrometer digital (Einhill 0-150 mm, Landau and der Isar, Jerman), *scanning electron microscope* JSM-6510LA (JEOL Ltd, Tokyo, Jepang), *Universal Testing Machine* (Zwick 0,5, ZwickRoell, Singapura). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ampas teh hitam yang diperoleh di daerah Demangan, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia, tepung tapioka komersil diperoleh dari PT Budi Acid Jaya Tbk (Lampung, Indonesia), gliserol 98 % (Merck, Darmstadt, Jerman), dan akuades.

B. Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan yang dilakukan adalah rancangan acak lengkap faktorial dengan 2 variabel bebas, yaitu rasio massa ampas teh: tepung tapioka dengan 4 taraf rasio massa (30:70), (60:40), (50:50), (40:60), dan perlakuan variasi ukuran partikel dengan 3 taraf yaitu 400 – 250 μm , 250 – 125 μm , dan <125 μm . Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali.

C. Prosedur Penelitian

1. Preparasi Bahan Baku

Preparasi ampas teh hitam diadaptasi dari metode Chaireh et al. (2020). Ampas teh hitam yang diperoleh dibersihkan dari kotoran yang masih tersisa dan dicuci dengan air mengalir terlebih dahulu. Setelah itu masing-masing sampel dikeringkan pada suhu 55 °C selama 48 jam agar kadar air <10 %. Ampas teh hitam kering dihaluskan dan dilakukan pengayakan bertingkat dengan ayakan ukuran partikel 400 μm (mesh 40), 250 μm (mesh 60), dan 125 μm (mesh 120). Ampas teh yang dihasilkan memiliki komposisi kadar air 4,89%, selulosa 38,78%, hemiselulosa 16,74%, dan lignin 25,33%.

2. Pembuatan Kemasan *Tableware*

Pembuatan *molded tableware* dalam bentuk nampan dilakukan dengan metode dari Ibrahim et al. (2020), yang dimodifikasi. Ampas teh hitam dengan formulasi persentase rasio massa ampas teh hitam : tepung tapioka yaitu 30:70, 40:60, 50:50, 60:40 beserta ukuran partikel partikel 400-250 μm , 250-125 μm , dan <125 μm dicampur dengan *food mixer* kecepatan rendah selama 5 menit. Setelah itu ditambahkan gliserol 15% (w/w) massa pati dan akuades 100 ml lalu dicampur menggunakan *food mixer* kecepatan rendah sambil dipanaskan hingga 80 °C selama 10 menit.

Adonan diambil sebanyak 170 g lalu diletakkan pada cetakan dingin berbentuk nampan (20 cm × 15 cm × 2 mm). Cetakan tersebut ditempatkan pada alat *compression molding* yang sudah dipanaskan pada suhu 150 °C. Penekanan dilakukan sebesar 30 kg/cm² selama 5 menit lalu ditingkatkan hingga 150 kg/cm² selama 15 menit. Produk *tableware* dibiarkan dingin terlebih dahulu

dan dikondisikan pada suhu ruang 27 ± 2 °C dan kelembaban relatif 55 ± 5 % minimal 48 jam sebelum dilakukan analisis.

D. Pengamatan Sifat Fisik dan Mekanik *Tableware*

1. Ketebalan

Pengujian ketebalan sampel diukur menggunakan mikrometer digital. Pengukuran dilakukan dalam 10 tempat acak berbeda dalam komposit. Rata-rata nilai ketebalan digunakan untuk perhitungan nilai densitas (Román-Moreno et al., 2020).

2. Densitas

Pengujian densitas produk didasarkan metode Abbass et al. (2020). Produk diukur massa (g) dengan timbangan akurasi 0,01 g dan dimensi volumenya yaitu panjang, lebar, dan tebal (cm). Densitas produk dihitung dengan persamaan (1) sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Keterangan :

ρ = densitas sampel (g/cm^3)

m = massa yang terukur (g)

V = volume yang terukur (cm^3)

3. Morfologi

Morfologi *tableware* dapat dilihat dengan penampakan visual dan mikrostruktur dari *tableware*. Metode didasarkan dari Kamaruddin et al. (2022). Mikrostruktur *tableware* dilihat menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). *Tableware* dipotong dengan ukuran 1×1 cm untuk diamati permukaan penampang melintangnya (*cross section*) perbesaran $1000 \times$ dengan voltase 10 kV.

4. Penyerapan air

Uji penyerapan air dilakukan sesuai metode Hassan et al. (2020), dengan modifikasi. Kemasan *molded tableware* dipotong dengan ukuran 50×50 mm lalu dihitung massa awal (m_1). Sampel ditenggelamkan dalam akuades 100 ml. Setelah itu, air yang masih menempel pada permukaan sampel dikeringkan dengan tissue sebelum ditimbang massa akhir (m_2). Penyerapan air dihitung dengan persamaan (2).

$$PA (\%) = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \times 100 \% \quad (2)$$

5. Kuat Tarik

Kuat tarik didasarkan pada metode ASTM D638-14 yang dimodifikasi (Hassan et al., 2020). Kuat tarik diuji menggunakan *universal testing machine* (UTM) dengan panjang *gauge* 50 mm dan kecepatan probe 5 mm/menit. Nilai kuat tarik berupa *tensile strength* (MPa) dicatat.

6. Kuat Fleksural

Kuat fleksural didasarkan pada metode ASTM D790-10 yang dimodifikasi (Hassan et al., 2020). Kuat fleksural diuji menggunakan *universal testing machine* (UTM) dengan metode yang digunakan adalah uji 3-titik fleksural, spesimen 150×40 mm dengan jarak sanggah 100 mm dan kecepatan probe 2 mm/menit. Nilai kuat fleksural dihitung menggunakan persamaan (3).

$$\sigma = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (3)$$

Keterangan :

σ = Kuat fleksural (MPa)

P = Tekanan yang diberikan (N)

L = Jarak sanggah (mm)

b = Lebar sampel (mm)

h = Tebal sampel (mm)

E. Analisa Data

Data hasil dianalisis dengan pengujian *two-way Analysis of Variance* (ANOVA). Jika ada pengaruh yang nyata ($p < 0,05$), maka dilanjutkan dengan uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) dengan tingkat kepercayaan 95%.

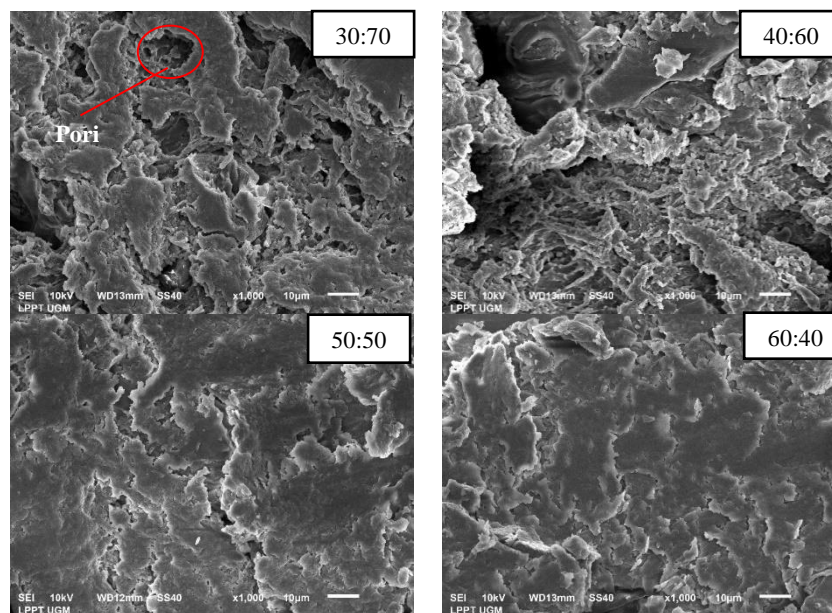
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sifat Fisik *Tableware*

Hasil produk *tableware* dalam bentuk nampan dapat dilihat pada Gambar 1. Morfologi penampang melintang *tableware* bertujuan untuk mengetahui mikrostruktural komposit dan kompatibilitas antar bahan penyusun. Berdasarkan Gambar 2, 3, dan 4 menunjukkan tidak adanya serat ampas teh yang keluar dari matriks yang menunjukkan adanya adhesi yang baik antar pati dan serat. Hal ini menandakan interaksi yang antar pati dan tidak ada pemisahan antara pati dan serat. Kesamaan karakteristik hidrofilitas antar pati dan serat yang membuat kompatibilitas yang baik antar serat dan pati dalam komposit (Kamaruddin et al., 2022).



Gambar 1. Bentuk Produk *Tableware* Nampan Ampas Teh dan Pati Tapioka

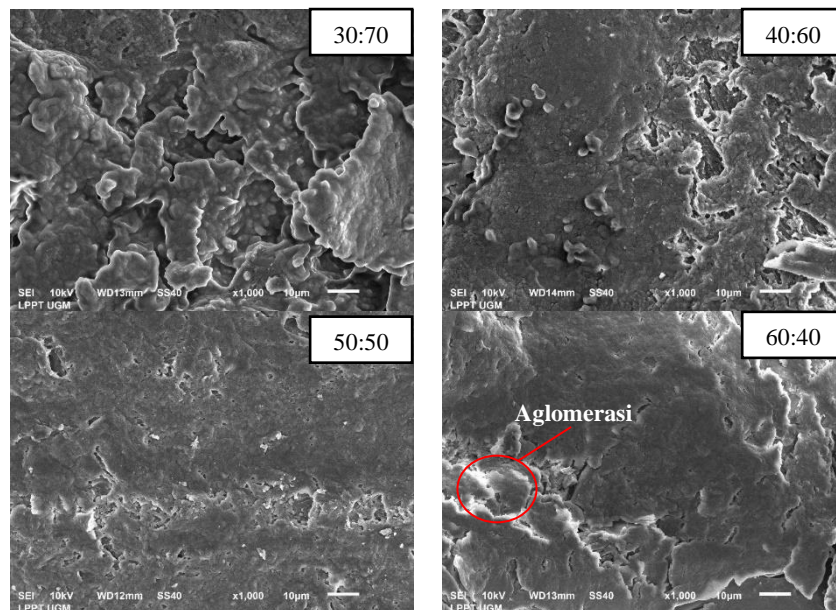


Gambar 2. Morfologi Permukaan Komposit Perbesaran 1000 \times Ukuran Partikel 400-250 μm dengan Rasio Ampas Teh : Tepung Tapioka Berbeda

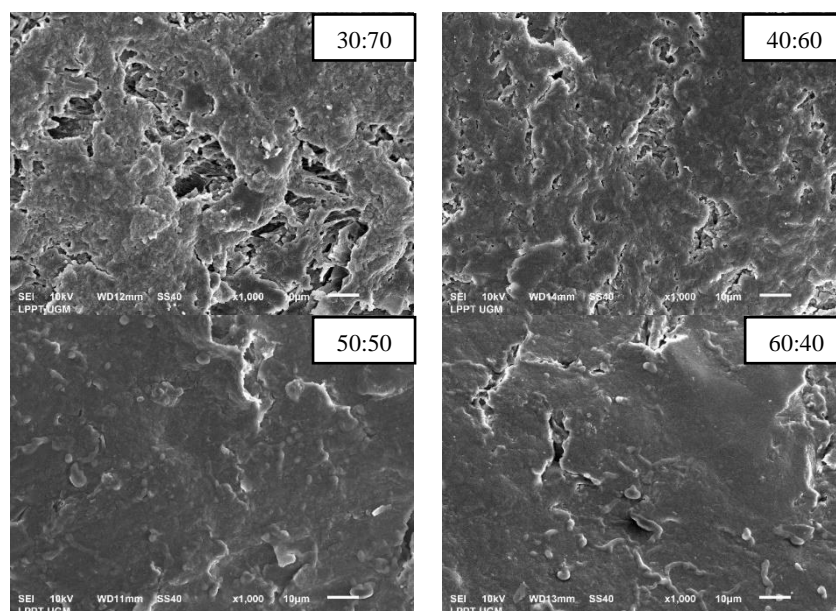
Penambahan serat dapat memengaruhi mikrostruktur komposit. Dalam berbagai ukuran partikel dalam Gambar 2, 3, dan 4, struktur komposit dengan konsentrasi serat paling rendah dengan rasio 30:70 (30% ampas teh) memiliki ruang kosong atau porositas yang lebih banyak dibandingkan yang lain. Pori atau ruang kosong tersebut dapat menimbulkan efek buruk bagi integritas struktur komposit (Kamaruddin et al., 2022). Seiring dengan peningkatan konsentrasi serat menunjukkan permukaan komposit yang semakin halus dan berkurangnya pori yang terbentuk. Kecocokan antar pati dan serat

memungkinkan serat untuk meningkatkan viskositas matriks pati sehingga terbentuk ikatan hidrogen yang mengurangi mobilitas pati supaya menjadi lebih padat (Bergel et al., 2021).

Namun, ketika serat ditingkatkan sampai pada rasio 60:40 (60% ampas teh) terlihat banyaknya retakan dan adanya gumpalan atau terjadi aglomerasi serat. Aglomerasi merupakan kondisi dimana adanya interaksi antar partikel yang terjadi ketika peningkatan konsentrasi dari partikel (Shrestha et al., 2020). Dalam penelitian ini, penambahan serat akan memengaruhi jumlah matriks berupa pati tapioka yang ditambahkan semakin sedikit. Ketika terlalu banyak serat yang ditambahkan dapat mengurangi adhesi dengan matriks dan serat akan lebih kurang tersebar dalam komposit yang memicu adanya aglomerasi antar partikel serat. Hal ini berdampak negatif bagi karakteristik komposit (Haris et al., 2022).



Gambar 3. Morfologi Permukaan Komposit Perbesaran 1000× Ukuran Partikel 250-125 µm dengan Rasio Ampas Teh : Tepung Tapioka Berbeda



Gambar 4. Morfologi Permukaan Komposit Perbesaran 1000× Ukuran Partikel <125 µm dengan Rasio Ampas Teh : Tepung Tapioka Berbeda

Berdasarkan faktor partikel, dapat terlihat bahwa Gambar 4 dengan ukuran partikel terkecil (<125 µm) menunjukkan permukaan komposit yang lebih halus dan lebih sedikit terbentuk pori

dibandingkan Gambar 2 (400-250 μm) dan Gambar 3 (250-125 μm). Ukuran partikel yang semakin kecil lebih terdistribusi dengan baik di dalam komposit daripada ukuran partikel yang lebih besar. Ruang kosong dalam matriks dapat diisi dengan baik oleh ukuran partikel yang lebih kecil dibandingkan dengan ukuran partikel yang lebih besar. Hal tersebut membantu dalam peningkatan densitas komposit menjadi semakin tinggi karena semakin padat partikel yang terikat dalam matriks memudahkan beban yang diberikan untuk masuk ke partikel serat sehingga dapat meningkatkan sifat mekanis dari komposit (Ismail et al., 2020). Dapat dinyatakan bahwa rasio 50:50 (50% ampas teh) dan semakin kecil ukuran partikel sebesar $<125 \mu\text{m}$ memberikan mikrostruktural permukaan semakin baik dan berkurangnya ruang kosong pada *tableware*.

Nilai sifat fisik *tableware* berupa ketebalan, densitas, dan penyerapan air dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan analisis statistik pada ketebalan *tableware* terdapat perbedaan signifikan ($p < 0,05$) baik faktor rasio massa ampas teh : tepung tapioka dan ukuran partikel. Ketebalan komposit berkisar antara 2,09 – 2,49 mm. Ketebalan komposit paling rendah pada perlakuan 30:70 dan 450-250 μm (2,09 mm) dan paling tinggi pada perlakuan 50:50 dan $<125 \mu\text{m}$ (2,49 mm).

Tabel 1. Sifat Fisik *Tableware*

Rasio massa ampas teh : tepung tapioka	Ukuran partikel (μm)	Ketebalan (mm)	Densitas (g/cm^3)	Penyerapan air 60 menit (%)
30:70	450-250	2,09 \pm 0,04 ^a	0,46 \pm 0,21 ^a	196,20 \pm 10,29 ^e
	250-125	2,26 \pm 0,09 ^{cd}	0,48 \pm 0,45 ^a	183,36 \pm 20,03 ^{de}
	<125	2,29 \pm 0,10 ^{cde}	0,63 \pm 0,10 ^{bc}	170,27 \pm 8,09 ^{cd}
40:60	450-250	2,11 \pm 0,10 ^{ab}	0,61 \pm 0,00 ^b	166,03 \pm 10,70 ^{cd}
	250-125	2,20 \pm 0,08 ^{bc}	0,65 \pm 0,29 ^{cd}	185,29 \pm 2,14 ^{de}
	<125	2,29 \pm 0,19 ^{cde}	0,78 \pm 0,11 ^{ef}	155,54 \pm 12,06 ^c
50:50	450-250	2,28 \pm 0,17 ^{cd}	0,68 \pm 0,26 ^d	168,78 \pm 14,20 ^{cd}
	250-125	2,39 \pm 0,70 ^{ef}	0,75 \pm 0,00 ^e	107,32 \pm 6,86 ^b
	<125	2,49 \pm 0,12 ^g	0,82 \pm 0,01 ^g	113,18 \pm 15,17 ^b
60:40	450-250	2,43 \pm 0,08 ^{fg}	0,77 \pm 0,16 ^{ef}	79,51 \pm 6,24 ^a
	250-125	2,35 \pm 0,10 ^{def}	0,89 \pm 0,00 ^h	88,07 \pm 8,20 ^a
	<125	2,47 \pm 0,13 ^g	0,79 \pm 0,14 ^{fg}	83,22 \pm 6,23 ^a

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ($p > 0,05$)

Hasil tersebut menunjukkan adanya peningkatan ketebalan *tableware* seiring peningkatan konsentrasi serat ampas teh. Terdapat perbedaan signifikan rasio serat rendah 30:70 (30% ampas teh) dengan serat yang lebih tinggi yaitu rasio 60:40 (60% ampas teh). Adanya penurunan ketebalan dibandingkan 50:50 (50% ampas teh) tapi tidak berbeda nyata. Luna et al. (2021), melaporkan hal yang sama, dimana konsentrasi selulosa dan hemiselulosa yang semakin tinggi dari tangkai dan dedak sorgum terhadap komposit pati singkong. Hal ini disebabkan karena peningkatan serat atau selulosa pada konsentrasi tertentu dapat memungkinkan distribusi yang seragam dalam matriks pati sehingga memperkuat matriks yang berujung dalam meningkatnya ekspansi komposit (Kaisangsri et al., 2019).

Terjadi kecenderungan *tableware* semakin tebal pada ukuran partikel terkecil ($<125 \mu\text{m}$) dibandingkan ukuran partikel besar (450-250 μm). Berdasarkan penelitian Román-Moreno et al. (2020), tentang komposit serat tebu dan tepung pisang tanduk, bahwa ukuran partikel serat yang lebih kecil dapat memberikan pengaruh signifikan ketebalan komposit. Semakin kecil ukuran partikel memberikan ketebalan yang besar terhadap komposit.

Dapat dilihat pada hasil densitas *tableware* di Tabel 1 menunjukkan pengaruh secara signifikan ($p < 0,05$) baik untuk faktor rasio massa ampas teh : tepung tapioka dan ukuran partikel. Densitas paling rendah terdapat pada 30:70 (30% ampas teh) dan ukuran partikel 450-250 μm (0,46 g/cm^3) sedangkan yang tertinggi dihasilkan oleh 60:40 (60% ampas teh) dan ukuran partikel 250-125 μm (0,89 g/cm^3). Hasil ini menunjukkan bahwa semakin meingkatnya konsentrasi serat ampas teh, maka densitas semakin tinggi. Beberapa penelitian sebelumnya melaporkan hal yang sama menggunakan serat dari tangkai tanaman eceng gondok (*Eichhornia crassipes*) (Nugroho et al., 2022), ampas tebu (Cruz-Tirado et al., 2017), dan kapas (Bergel et al., 2021) dalam komposit pati dimana peningkatan serat tersebut linear dengan densitas komposit. Berkurangnya bobot pati dalam komposit

memungkinkan serat yang dapat meningkatkan viskositas adonan pati sehingga komposit menjadi lebih padat (Nugroho et al., 2022).

Ukuran partikel yang semakin kecil menghasilkan densitas meningkat yang menandakan semakin padat *tableware*. Román-Moreno et al. (2020), menunjukkan bahwa ukuran partikel serat tebu yang kecil berpengaruh dalam meningkatkan densitas komposit. Namun ketika ukuran partikel semakin kecil ($<125 \mu\text{m}$) menurunkan densitas sampel. Kemungkinan yang terjadi adalah pembentukan mikrofiller dalam matriks dan adanya aglomerasi antar serat sehingga penyebaran serat kurang baik (Onuoha et al., 2017).

Penyerapan air yang rendah merupakan indikator yang diperlukan untuk menentukan kualitas komposit. Difusi air yang berlebih harus dihindari karena berdampak pada struktur internal bahan yang dapat menurunkan kualitas produk (Nugroho et al., 2022). Dalam penelitian ini dilakukan pembedaan sampel hingga 60 menit lalu diukur massa akhirnya setelah ditiriskan. Ketika dibenamkan lebih dari 60 menit, beberapa perlakuan *tableware* mengalami disintegrasi dan tidak dapat diukur lebih lanjut. Persentase penyerapan air *tableware* dapat dilihat pada Tabel 1.

Hasil statistik menyatakan bahwa ada perbedaan signifikan baik untuk faktor rasio massa ampas teh : tepung tapioka dan ukuran partikel ampas teh ($p < 0,05$). Penyerapan air paling tinggi ditunjukkan oleh sampel 30:70 (30% ampas teh) dan $450-250 \mu\text{m}$ (196,20%) dan paling rendah terdapat pada 60:40 (60% ampas teh) dan $450-250 \mu\text{m}$ (79,51%). Berdasarkan hasil ini, penyerapan air cenderung mengalami penurunan ketika ditingkatkan konsentrasi ampas teh dalam komposit.

Penyerapan air dapat berkorelasi dengan densitas sampel, dimana konsentrasi serat meningkat maka semakin padat struktur komposit yang dapat menurunkan kapasitas penyerapan air (Spada et al., 2020). Semakin meningkatnya serat, maka pati yang ditambahkan semakin sedikit. Pati memiliki sifat hidrofilisitas yang sangat tinggi dibandingkan selulosa dalam serat sehingga semakin berkurang pati, sampel akan semakin tahan air, ditambah dengan kandungan lignin dapat menurunkan penyerapan air dalam komposit (Kamaruddin et al., 2022). Selain itu konsentrasi yang rendah memungkinkan terbentuknya *tableware* yang lebih berpori dengan diameter sel udara yang lebih besar sehingga memungkinkan masuknya air lebih banyak (Cruz-Tirado et al., 2017).

Berdasarkan faktor ukuran partikel terhadap hasil penyerapan air, ukuran partikel $450 - 250 \mu\text{m}$ memiliki persentase penyerapan air lebih tinggi dibandingkan yang lain. Hasil ukuran partikel $250-125 \mu\text{m}$ dan $<125 \mu\text{m}$ tidak terlalu menunjukkan perbedaan signifikan untuk rasio 60:40 (60% ampas teh). Dapat dikatakan, seiring pengecilan ukuran partikel yaitu $<125 \mu\text{m}$ untuk terjadi penurunan penyerapan air oleh *tableware*. Penyerapan air bermula dari adsorpsi air yang diberikan di permukaan luar komposit, ketika sel dari komposit menjadi jenuh maka air dapat masuk ke dalam struktur internal lewat celah antara matriks dan pengisi. Partikel serat berukuran besar cenderung membentuk rongga dan celah dalam komposit sehingga memungkinkan molekul air untuk masuk lebih banyak ke dalam komposit sehingga penyerapan air menjadi lebih tinggi (Qi et al., 2022).

B. Sifat Mekanik *Tableware*

Hasil sifat mekanis berupa kuat tarik dan kuat fleksural dapat dilihat pada Tabel 2. Kuat tarik merupakan parameter sifat mekanis yang menentukan gaya yang dibutuhkan untuk merusak spesimen ketika spesimen ditarik atau memanjang sampai pada titik putus (Singh dan Singh, 2019). Hasil statistik kuat tarik menyatakan bahwa ada perbedaan signifikan baik untuk faktor rasio massa ampas teh : tepung tapioka dan ukuran partikel ($p < 0,05$). Perlakuan rasio 30:70 (30% ampas teh) dan ukuran partikel $250-125 \mu\text{m}$ menghasilkan kuat tarik paling rendah (1,23 MPa) sedangkan rasio 50:50 (50% ampas teh) dan $<125 \mu\text{m}$ menunjukkan nilai kuat tarik paling tinggi (4,60 MPa).

Berdasarkan Tabel 2, terdapat kecenderungan bahwa kuat tarik *tableware* semakin tinggi ketika ditingkatkan konsentrasi hingga rasio 50:50 (50% ampas teh) kemudian menurun kekuatannya pada rasio serat paling tinggi yaitu 60:40 (60% ampas teh). Spada et al. (2020) dan Kamaruddin et al. (2022) melaporkan hal yang sama dengan menggunakan serat sekam padi dan serai, bahwa semakin meningkat konsentrasi serat dapat meningkatkan kuat tarik dari komposit pati singkong. Serat terutama selulosa dapat membantu meningkatkan kekuatan mekanis pati karena memiliki kompatibilitas yang baik dengan pati lewat sifat hidrofiliknya sehingga membentuk ikatan hidrogen yang baik. Kekuatan adhesi yang baik antar pengisi dan matriks tersebut dapat meningkatkan transfer tegangan yang baik dan meningkatkan resistensi yang besar terhadap deformasi komposit (Kamaruddin et al., 2022).

Akan tetapi, nilai kuat tarik cenderung menurun pada rasio 60:40 (60% ampas teh). Ketika serat yang ditambahkan terlalu tinggi dapat menyebabkan struktur semakin rusak karena aglomerasi antar partikel serat. Hal ini mengakibatkan distribusi partikel yang kurang baik dan tidak homogen yang mana dapat mengurangi interaksi permukaan yang rendah (Zykova et al., 2018). Interaksi yang rendah tersebut membatasi adanya transfer stress dari matriks ke serat sebagai pengisi (Kamaruddin et al., 2022).

Tabel 2. Sifat Mekanis *Tableware*

Rasio massa ampas teh : tepung tapioka	Ukuran partikel (μm)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Fleksural (MPa)
30:70	450-250	$1,63 \pm 0,20^{\text{ab}}$	$2,89 \pm 0,19^{\text{a}}$
	250-125	$1,23 \pm 0,08^{\text{a}}$	$3,86 \pm 0,23^{\text{a}}$
	<125	$1,81 \pm 0,19^{\text{ab}}$	$6,32 \pm 0,30^{\text{bcd}}$
40:60	450-250	$2,63 \pm 0,09^{\text{c}}$	$5,21 \pm 0,34^{\text{b}}$
	250-125	$1,70 \pm 0,17^{\text{ab}}$	$5,38 \pm 0,11^{\text{bc}}$
	<125	$2,66 \pm 0,01^{\text{c}}$	$8,56 \pm 0,77^{\text{e}}$
50:50	450-250	$1,69 \pm 0,12^{\text{ab}}$	$7,31 \pm 0,40^{\text{de}}$
	250-125	$2,72 \pm 0,25^{\text{c}}$	$6,22 \pm 0,39^{\text{bcd}}$
	<125	$4,60 \pm 0,47^{\text{f}}$	$13,69 \pm 1,11^{\text{g}}$
60:40	450-250	$3,34 \pm 0,12^{\text{de}}$	$6,64 \pm 0,73^{\text{cd}}$
	250-125	$3,37 \pm 0,27^{\text{e}}$	$15,22 \pm 1,65^{\text{h}}$
	<125	$3,26 \pm 0,61^{\text{d}}$	$11,45 \pm 1,17^{\text{f}}$

Keterangan: Nilai yang diikuti huruf yang sama dalam kolom yang sama menunjukkan tidak ada perbedaan yang nyata ($p > 0,05$)

Ukuran partikel yang semakin kecil yaitu <125 μm memiliki nilai kuat tarik yang lebih besar dibandingkan partikel yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan teori Samal (2020), yaitu partikel yang besar cenderung mengalami terendapkan di bawah komposit dan mengalami aglomerasi akibat gaya gravitasi dan hidrodinamika. Aglomerasi tersebut menyebabkan interaksi antar partikel, banyaknya pori atau lubang, serta mengurangi sifat mekanis dari komposit. Berbeda dengan ukuran partikel yang kecil yang dapat terdistribusi secara seragam dalam volume komposit.

Nilai kuat fleksural mengukur gaya yang diperlukan untuk membengkokkan komposit sebelum mengalami deformasi permanen (Shrivastava, 2018). Besarnya nilai kuat fleksural dapat dikaitkan dengan kekerasan dan kekakuan komposit sebagai hasil dispersi pengisi yang baik dalam matriks (Onuoha et al., 2017). Berdasarkan hasil statistik kuat fleksural di Tabel 2, nilai kuat fleksural dipengaruhi secara signifikan oleh faktor rasio massa ampas teh : tepung tapioka dan ukuran partikel ($p < 0,05$). Kuat fleksural terendah terdapat pada perlakuan rasio 30:70 (30% ampas teh) dan ukuran partikel 450-250 μm (2,89 MPa) dan nilai tertinggi pada perlakuan rasio 60:40 (60% ampas teh) dan ukuran partikel 250-125 μm (15,22 MPa).

Terdapat pola yaitu semakin meningkatnya serat dan mengecilnya ukuran partikel dapat meningkatkan nilai kuat fleksural. Hasil tersebut berkorelasi dengan kuat tarik, dimana penambahan serat dapat mengurangi gaya kohesi antar polimer matriks sehingga serat dapat masuk dan berinteraksi dengan matriks yang dapat menurunkan kerapuhan dari pati dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi (Cruz-Tirado et al., 2017). Densitas berhubungan langsung dengan kuat fleksural lewat semakin tingginya densitas, maka semakin padat struktur komposit sehingga semakin kaku dan ketahanan terhadap tekanan eksternal meningkat yang berujung pada semakin kuat komposit yang dihasilkan (Bergel et al., 2021).

Namun, nilai fleksural berkorelasi negatif dengan kuat tarik dalam penelitian ini pada rasio 60:40 (60% ampas teh) yang seharusnya lebih rendah. Berdasarkan Spada et al. (2020), ketahanan gaya yang berbeda pada konsentrasi serat 60% tergantung dari arah tegangan yang diberikan yaitu longitudinal dan transversal. Arah tegangan transversal (melintang) cenderung menghasilkan nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan tegangan yang diberikan secara longitudinal (membujur). Selain itu, ketahanan kuat tarik bergantung pada jaringan matriks yaitu pati sedangkan kuat fleksural lebih kepada padatnya komposit oleh serat (Spada et al., 2020).

Berdasarkan hasil, ukuran partikel yang semakin kecil meningkatkan nilai kuat fleksural sampai pada ukuran partikel 250-125 μm . Ukuran partikel yang kecil cenderung terdispersi dengan baik

dalam matriks pati sehingga dapat berinteraksi dengan baik satu sama lain karena kompatibilitas yang baik. Namun nilai kuat fleksural menurun dalam sampel dengan rasio 60:40 (60% ampas teh) dengan ukuran partikel <125 μm dikarenakan kemungkinan terbentuknya mikrofiller yang kecil yang cenderung agregasi satu sama lain sehingga penyebaran serat tersebut kurang baik (Onuoha et al., 2017) sehingga nilai kuat fleksural menjadi lebih rendah.

KESIMPULAN

Peningkatan konsentrasi serat dan pengecilan ukuran partikel dari ampas teh hitam dapat memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas fisik (morfologi, densitas, ketebalan, penyerapan air) dan mekanik (kuat tarik, kuat fleksural) komposit pati dalam pembuatan *tableware*. Peningkatan rasio 50:50 (50% ampas teh) dan pengecilan ukuran partikel hingga <125 μm dapat memberikan pengaruh signifikan dalam karakter fisik berupa mikrostruktural yang baik, ketebalan tinggi, dan karakter mekanik berupa nilai kuat tarik tinggi. Rasio 60:40 (60% ampas teh) dengan ukuran partikel 250 – 125 μm secara signifikan memengaruhi nilai karakter fisik berupa densitas yang tinggi, penyerapan air paling rendah, beserta nilai karakter mekanik berupa kuat fleksural tertinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Penelitian Terapan Unggul Perguruan Tinggi (PTUPT) dengan nomor 4233/UN1/DITLIT/DIT-LIT/PT/2020.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbass, O. A., Salih, A. I., dan Al Hurmuzy, O. M. 2020. Study of The Mechanical and Physical Properties of Bio-Composite Material Based on Wheat Starch and Wheat Straw Fibers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 745: 1-12. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/745/1/012075>.
- Azzahra, R. F., dan Taufik, M. 2020. Bio-Adsorben berbahan Dasar Limbah Ampas Teh (*Camellia sinensis*) sebagai agent Penyerap Logam Berat Fe dan Pb pada Air Sungai. *Jurnal Kinetika*. 11: 65–70.
- Batiencana, M. A., Acda, M. N., dan Cabangon, R. J. 2014. Particleboard from Waste Tea Leaves and Wood Particles. *Journal of Composite Materials*. 48 (8): 911–916. <https://doi.org/10.1177/0021998313480196>.
- Bergel, B. F., Araujo, L. L., dan Santana, R. M. C. 2021. Effects of The Addition of Cotton Fibers and Cotton Microfibers on The Structure and Mechanical Properties of Starch Foams Made from Potato Starch. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*. 2: 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100167>.
- Bodîrlău, R., Teacă, C.-A., dan Spiridon, I. 2014. Starch-Cellulose Composites. *BioResources*. 9 (1): 39-53.
- Chaireh, S., Ngasatool, P., dan Kaewtatip, K. 2020. Novel Composite foam Made from Starch and Water Hyacinth With Beeswax Coating For Food Packaging Applications. *International Journal of Biological Macromolecules*. 165 : 1382–1391. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.10.007>.
- Cruz-Tirado, J. P., Siche, R., Cabanillas, A., Díaz-Sánchez, L., Vejarano, R., dan Tapia-Blácido, D. R. 2017. Properties of Baked Foams From OCA (*Oxalis tuberosa*) Starch Reinforced With Sugarcane Bagasse and Asparagus Peel Fiber. *Procedia Engineering*. 200: 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.026>.
- Debnath, B., Haldar, D., dan Purkait, M. K. 2021. Potential and sustainable Utilization of Tea Waste: A Review on Present Status And Future Trends. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9 (5): 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106179>.
- Dönmez-Çavdar, A., Kalaycioğlu, H., dan Mengeloğlu, F. 2011. Tea Mill Waste Fibers Filled Thermoplastic Composites: The Effects of Plastic Type and Fiber Loading. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 30 (10): 833–844. <https://doi.org/10.1177/0731684411408752>.

- Duan, J., Reddy, K. O., Ashok, B., Cai, J., Zhang, L., dan Rajulu, A. V. 2016. Effects of Spent Tea Leaf Powder on The Properties and Functions of cellulose Green Composite Films. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 4: 440–448. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2015.11.029>.
- Dybka-Stępień, K., Antolak, H., Kmiotek, M., Piechota, D., dan Koziróg, A. 2021. Disposable Food Packaging and Serving Materials—Trends and Biodegradability. *Polymers*. 13 (3606): 1-38. <https://doi.org/10.3390/polym13203606>.
- Gao, P., dan Ogata, Y. 2020. Chamu: An effective Approach For Improving The Recycling of Tea Waste. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 711: 1-9. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/711/1/012024>.
- Haris, N. I. N., Hassan, M. Z., Ilyas, R. A., Suhot, M. A., Sapuan, S. M., Dolah, R., Mohammad, R., dan Asyraf, M. R. M. 2022. Dynamic Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Hybrid Polymer Composites: a Review. *Journal of Materials Research and Technology*. 19: 167–182. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.04.155>.
- Hassan, M. M., Tucker, N., dan Le Guen, M. J. 2020. Thermal, Mechanical and Viscoelastic Properties of Citric Acid-Crosslinked Starch/Cellulose Composite Foams. *Carbohydrate Polymers*. 230: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115675>.
- Hsieh, C. F., Liu, W., Whaley, J. K., dan Shi, Y. C. 2019. Structure, Properties, and Potential Applications of Waxy Tapioca Starches – A review. *Trends in Food Science and Technology*. 83: 225-234. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.11.022>.
- Ibrahim, M. M., Moustafa, H., El Rahman, E. N. A., Mehanny, S., Hemida, M. H., dan El-Kashif, E. 2020. Reinforcement of Starch Based Biodegradable Composite Using Nile Rose Residues. *Journal of Materials Research and Technology*. 9 (3) : 6160–6171. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2020.04.018>.
- Ismail, I., Aini, Q., Jalil, Z., dan Hajar Sheikh Md Fadzullah, S. 2020. Particle Size Effect on Mechanical and Physical Properties of Rice Straw Epoxy Resin Particleboard. *International Journal on Advanced Science Engineering Information Technolgy*. 10 (3): 1221-1227.
- Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., dan Ganjyal, G. M. 2019. Cellulose Fiber Enhances the Physical Characteristics of Extruded Biodegradable Cassava Starch Foams. *Industrial Crops & Products*. 142: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111810>.
- Kamaruddin, Z. H., Jumaidin, R., Ilyas, R. A., Selamat, M. Z., Alamjuri, R. H., dan Yusof, F. A. M. 2022. Biocomposite of Cassava Starch-Cymbopogan Citratus Fibre: Mechanical, Thermal and Biodegradation Properties. *Polymers*. 14 (514): 1-19. <https://doi.org/10.3390/polym14030514>.
- Luna, P., Darniadi, S., Chatzifragkou, A., dan Charalampopoulos, D. 2021. Biodegradable foams Based on Extracted Fractions From Sorghum By-Products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 749: 1-9. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/749/1/012057>.
- Mahmoud, D. A. R., Allam, M. A., dan Farag, M. M. 2020. Tea Wastes as an Alternative Sustainable raw Material For Ethanol Production. *Egyptian Journal of Chemistry*. 63 (6): 2683–2697. <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2020.21785.2293>.
- Nugroho, A., Maharani, D. M., Legowo, A. C., Hadi, S., dan Purba, F. 2022. Enhanced Mechanical and Physical Properties of Starch Foam from The Combination of Water Hyacinth Fiber (*Eichhornia crassipes*) and Polyvinyl Alcohol. *Industrial Crops and Products*. 183: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114936>.
- Oliveira, N. L., Rodrigues, A. A., Neves, I. C., Lago, A. M., Borges, S. V., dan de Resende, J. V. 2019. Development and Characterization of Biodegradable Films Based on *Pereskia Aculeata* Miller Mucilage. *Industrial Crops & Products*. 130: 499–510. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.014>.
- Onuoha, C., Onyemaobi, O. O., Anyakwo, C. N., dan Onuegbu, G. C. 2017. Effect Of Filler Loading And Particle Size on The Mechanical Properties Of Periwinkle Shell-Filled Recycled Polypropylene Composites. *American Journal of Engineering Research*. 6 (4), 72–79.
- Qi, Z., Wang, B., Sun, C., Yang, M., Chen, X., Zheng, D., Yao, W., Chen, Y., Cheng, R., dan Zhang, Y. 2022. Comparison of Properties of Poly(Lactic Acid) Composites Prepared from Different Components of Corn Straw Fiber. *International Journal of Molecular Sciences*. 23 (6746): 1-15. <https://doi.org/10.3390/ijms23126746>.
- Román-Moreno, J. L., Radilla-Serrano, G. P., Flores-Castro, A., Berrios, J. D. J., Glenn, G., Salgado-Delgado, A., Palma-Rodríguez, H. M., dan Vargas-Torres, A. 2020. Effect of Size and Amount of

- Sugarcane Fibers on The Properties of Baked Foams Based on Plantain Flour. *Heliyon*. 6(9): 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04927>.
- Samal, S. 2020. Effect of Shape and Size of Filler Particle on The Aggregation and Sedimentation Behavior of The Polymer Composite. *Powder Technology*. 366: 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.02.054>.
- Shrestha, S., Wang, B., dan Dutta, P. 2020. Nanoparticle Processing: Understanding and Controlling Aggregation. *Advances in Colloid and Interface Science* 279: 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2020.102162>.
- Shrivastava, A. 2018. *Introduction to Plastics Engineering* (1st ed). pp. 49–110. USA (+1): William Andrew Applied Science Publishers. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-39500-7.00003-4>.
- Singh, P., dan Singh, B. 2019. Assessment of Mechanical Properties of Biocomposite Material by Using Sawdust and Rice Husk. *INCAS Bulletin*. 11 (3): 147–156. <https://doi.org/10.13111/2066-8201.2019.11.3.13>.
- Spada, J. C., Jasper, A., dan Tessaro, I. C. 2020. Biodegradable Cassava Starch Based Foams Using Rice Husk Waste as Macro Filler. *Waste and Biomass Valorization*. 11 (8): 4315–4325. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00776-w>.
- Versino, F., dan García, M. A. 2019. Particle Size Distribution Effect on Cassava Starch and Cassava Bagasse Biocomposites. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* 7: 1052–1060. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b04700>.
- Zykova, A. K., Pantyukhov, P. V., Kolesnikova, N. N., Monakhova, T. V., dan Popov, A. A. 2018. Influence of Filler Particle Size on Physical Properties and Biodegradation of Biocomposites Based on Low-Density Polyethylene and Lignocellulosic Fillers. *Journal of Polymers and the Environment*. 26 (4): 1343–1354. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1039-9>.