

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT BIOPLASTIK BERBASIS *FILLER CELLULOSE MICRO FIBERS RAMI*

Edi Syafri¹, Anwar Kasim², Hairul Abral³, Alfi Asben² dan Sudirman⁴

¹Jurusan Teknologi Pertanian - Politeknik Pertanian Negeri Payakumbuh
Jl. Raya Negara KM. 7, Tanjung Pati, Harau, Sumatera Barat 26271

²Jurusan Teknologi Hasil Pertanian - Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Sumatra Barat 25163

³Jurusan Teknik Mesin - Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Sumatra Barat 25163

⁴Pusat Sains dan Teknologi Bahan Maju (PSTBM) - BATAN
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan
E-mail: edisyafri11@gmail.com

Diterima: 15 Desember 2017

Diperbaiki: 26 Januari 2018

Disetujui: 29 Januari 2018

ABSTRAK

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI KOMPOSIT BIOPLASTIK BERBASIS *FILLER CELLULOSE MICRO FIBERS RAMI*. Pada penelitian ini telah diproduksi dan dikarakterisasi komposit bioplastik dari partikel selulosa serat rami (*Cellulose Micro Fibers/CMF*) untuk memperkuat komposit bioplastik bermatriks pati tapioka. *CMF* rami diproduksi menggunakan metode *milling* (*CMFM*) dan ultrasonikasi (*CMFU*) dengan ukuran masing-masing adalah 3,51 μm dan 0,388 μm . Pembuatan dan karakterisasi komposit bioplastik dilakukan dengan metode *casting* menggunakan gliserol sebagai plastisizer, dan penambahan *filler CMF* rami. Sifat fisik, kekuatan tarik, struktur dan termal komposit bioplastik dikarakterisasi menggunakan *SEM*, *UTM*, *XRD*, dan *DSC*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa ukuran dan konsentrasi *CMF* secara signifikan mempengaruhi fisik bioplastik komposit. Dari hasil *SEM* menunjukkan bahwa *filler CMF* berinteraksi dengan matriks pati tapioka, dimana bioplastik dengan *CMF* rami berukuran kecil memperlihatkan struktur kompak dan permukaan yang lebih homogen. Nilai optimum kekuatan tarik terjadi pada penambahan 8% (w/w) *CMF* rami dari hasil ultrasonikasi dan *milling* masing-masing meningkat menjadi 3,31MPa dan 2,71MPa dari 1,64 MPa. Sebaliknya pada sifat termal sedikit berpengaruh dengan penambahan *CMF* rami. Analisis Difraksi Sinar-X menunjukkan kristalinitas komposit bioplastik meningkat dengan penambahan *CMF* rami dari 8,65 % menjadi 20,21 % untuk *CMFM* dan 15,12% untuk *CMFU*.

Kata kunci: *CMF*, Rami, Pati tapioka, Bioplastik, Komposit

ABSTRACT

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF BIOPLASTIC COMPOSITES BASED ON RAMIE CELLULOSE MICRO FIBERS FILLER. This research studied production and characterization of bioplastic composites by using cellulose fibers (*Cellulose Micro Fibers/CMF*) as reinforcement in tapioca starch. *CMF* ramie was produced by using milling method (*CMFM*) and ultrasonication (*CMFU*) with particle size 3,51 μm and 0,388 μm , respectively. The fabrication of the bioplastic composites was performed by solution casting with addition glycerol as a plasticizer. *SEM*, *UTM*, *XRD*, and *DSC* characterization were carried out. The results show that the size and concentration of *CMF* significantly affect the physical bioplastic composites. The *SEM* displays the good interaction *CMF* filler with the tapioca starch matrix, where the small sized hemophytic *CMF* bioplastic exhibits are more homogeneous compact and surface structure. The optimum value of tensile strength is found in the addition of 8% (w/w) *CMF* ramie from ultrasonication and milling results increased from 1,64 MPa to 3,31MPa and 2,71MPa, respectively. The thermal properties have low significant effect with addition rami *CMF*. X-ray Diffraction Analysis (*XRD*) showed that the crystallinity of bioplastic composites increased with the addition of ramie *CMF* from 8.65% to 20.21% for *CMFM* and 15.12% for *CMFU*.

Key word: *CMF*, Ramie, Tapioca starch, Bioplastic, Composites

PENDAHULUAN

Teknologi maju di bidang petrokimia berbasis polimer telah membawa banyak manfaat bagi umat manusia. Namun penggunaan polimer konvensional (plastik) berbasis minyak bumi telah mengganggu ekosistem karena tidak terdegradasi oleh lingkungan. Oleh sebab itu menjadi kebutuhan mendesak untuk pengembangan material baru yang berkelanjutan (*sustainable materials*) dan peningkatan penerapan bahan yang ramah lingkungan dalam dunia industri [1].

Salah satu sumber material alam yang dapat dijadikan bahan dasar *biodegradable plastics* adalah tapioka. Tapioka (*Manihot esculenta cranz, manioc*, ubi kayu) berada diperingkat kelima produksi tanaman tepung di dunia dan menjadi sumber makanan pokok yang dikonsumsi di daerah tropis. Biasanya lebih banyak digunakan dikalangan wilayah dunia terbelakang sekitar 800 juta orang dari Afrika, Amerika Selatan, Asia, dan Kepulauan Pasifik. Tanaman ini mengandung lebih dari 80% tepung (berat kering) yang membuatnya menjadi sumber makanan kaya energi. Namun singkatnya waktu pasca panen merupakan salah satu faktor utama yang membatasi produksi [2]. Nilai singkong yang dipanen dapat ditingkatkan dengan mengolah singkong untuk menghasilkan pati sehingga bisa mengembangkan ekonomi pedesaan.

Beberapa tahun terakhir ada ketertarikan peneliti untuk memanfaatkan produk pertanian untuk mengembangkan plastik *biodegradable* (bioplastik), seperti dari jagung, singkong, umbi kentang dan bahan yang mengandung pati lainnya. Namun, plastik dari sumber pati ini ada kekurangan tertentu dalam hal sifat fisik, stabilitas termal, higroskopisitas dibandingkan plastik konvensional. Walaupun demikian bahan alam terbarukan tetap menjadi alternatif penting, termasuk pati, serat alami, dan protein untuk pengembangan bioplastik yang diupayakan agar memiliki sifat lebih baik [3].

Untuk meningkatkan kekuatan komposit, serat alami semakin banyak digunakan sebagai *filler* pada polimer komposit. Beberapa keunggulan *filler* dari serat alam yaitu sifatnya terbarukan, biodegradabilitas, ketersediaan yang melimpah. Komposit bioplastik dari pati dengan *filler* berbagai serat selulosa seperti serat tandan kosong kelapa sawit [4] [5], *sugar palm fiber* [6], bambu [7] dan serat enceng gondok [8] telah dilakukan penelitian sebelumnya.

Dalam proses sintesis komposit bioplastik diperlukan bahan pemplastis. Biasanya bahan pemplastis yang digunakan adalah monosakarida, disakarida, atau oligosakarida dan polioliol. Pemplastis yang ditambahkan berkisar pada 10-60% dari massa kering pati, tergantung pada kekakuan polimer [9].

Penelitian tentang bioplastik yang diperkuat *cellulose micro fibers (CMF)* dari bahan alam sudah banyak dilakukan tetapi untuk bahan rami terutama proses sintesis dan karakterisasi biokomposit menggunakan perbedaan ukuran dan fraksi volume *CMF*

rami masih belum banyak yang melakukan. Oleh sebab itu penelitian ini bertujuan untuk pembuatan dan karakterisasi komposit bioplastik dengan matriks pati tapioka diperkuat dengan variasi *CMF* rami.

Karakterisasi komposit bioplastik yang akan didapatkan adalah sifat fisik, kekuatan tarik, struktur dan sifat termal komposit bioplastik. Perbedaan ukuran dan volume *CMF* rami tersebut akan berpengaruh terhadap karakteristik komposit yang dihasilkan tersebut.

METODE PERCOBAAN

Bahan dan Alat

Bahan kimia *Pure Analysis (PA)* yang digunakan adalah sodium hidroksida (NaOH 98% merk Sigma-Aldrich), Potassium hidroksida (KOH merk Millipore), sodium klorit (NaClO₂ merk Pubchem), asam asetat (CH₃COOH), Glycerol, dan pati tapioka merk Pak Tani yang diproduksi di Bogor.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *Universal Testing Machine* dengan merk *Strograph-R1* untuk mengukur kuat tarik dan regangan sampel komposit bioplastik menggunakan kecepatan 5 mm / menit pada suhu kamar. Uji tarik menggunakan metode standar *American Society for Testing and Materials (ASTM) D 638* untuk sifat mekanik plastik. Morfologi permukaan komposit bioplastik diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope (SEM)*, JEOL JSM 6510 LA, Struktur komposit bioplastik dipelajari dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*. Difraktogram *XRD* dicatat dengan menggunakan rangkaian difraktometer sinar X PANalytical. Radiasi CuK α pada bilangan gelombang 1,54060 Å yang digunakan dengan voltase 40 kV dan 30 mA dan memindai sudut 2 θ dari 5 $^{\circ}$ hingga 80 $^{\circ}$ setiap 20 $^{\circ}$ / menit.

Untuk mendapatkan *Crystal Index* digunakan persamaan Segal, CI (%) yang dihitung dengan Persamaan (1) [10]:

$$CI = \frac{I_c - I_{am}}{I_c} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

I_c = Intensitas kristal

I_a = Intensitas amorf

Karakteristik termal dari komposit bioplastik menggunakan *Differential Scanning Calorimeter (DSC)*, menggunakan *DSC series 910* PerkinElmer. Kondisi pengujian pada suhu 25 °C hingga 250 °C.

Isolasi Cellulose Micro Fibers Rami

Proses sintesis *CMF* rami dimulai dengan pemisahan serat dari batangnya kemudian dipotong-potong sepanjang 10 mm hingga 20 mm, selanjutnya dikeringkan di bawah panas matahari selama 3 hari

dengan kadar air sekitar 9 hingga 10 %. Lignin dan hemiselulosa serat rami dihilangkan dengan cara *pulping*/pemasakan dalam digester (*simple digester pulp*) dengan larutan NaOH 18 % (w/v) selama 2 jam pada suhu 170 °C tekanan 7-9 kg/cm². Serat yang berbentuk *pulp* dicuci sampai bebas dari alkali dan dilanjutkan proses *bleaching* 1 dengan natrium klorit (NaClO₂) 5% ditambah asam asetat sampai larutan memiliki pH 5 pada suhu 70 °C selama 2 jam. Hasil *bleaching* 1 dicuci sampai pH 7 dengan *aquadest*. Setelah itu dilakukan proses *bleaching* 2 dengan KOH 4% pada 80 °C selama selama 1 jam untuk mengurangi sisa kandungan non selulosa [11]. Kemudian serat dicuci dengan *aquadest* sampai pH 7 dan dikeringkan.

Hasil serat rami berbentuk serbuk tersebut kemudian diproses ultrasonikasi pada suhu 60 °C dengan *sonicator* (Ultrasonic 750W merek Sonica) selama 1 jam untuk mendapatkan *cellulose micro fibers* rami (*CMF U*). Proses yang kedua untuk mendapatkan *CMF* Rami adalah dengan metode *Height Energy Milling* (*HEM*) selama 90 menit setelah serat rami dikeringkan pada proses *Bleaching 2*

Proses *ultrasonic* dan *milling* dilakukan untuk memperkecil ukuran partikel serat rami yang telah mengalami proses *pulping* dan *bleaching*. Partikel awal rami setelah *bleaching 2* berukuran sekitar 10-30 µm selanjutnya dilakukan *milling* 90 menit sehingga ukuran *CMFM* menjadi 3,510 µm dari uji *Particle Size Analyzer*. Sedangkan dari metode *ultrasonic* selama 60 menit didapatkan ukuran partikel *CMFU* rami 0,388 µm.

Preparasi Komposit Bioplastik/*CMF* Rami

Preparasi komposit bioplastik/*CMF* rami didasarkan pada modifikasi Syafri *et al.* 2017. Pati tapioka dilarutkan dalam *aquadest* (5 %w/v) [12] dan *CMF* (2, 4, 8 %w/w dari pati singkong) dengan konsentrasi yang berbeda pada *aquadest* seperti dapat dilihat pada Tabel 1. Gliserol ditambahkan sebagai plastisizer sebanyak 30% (w/w) dari berat kering pati tapioka. Larutan pati/*CMF* rami/gliserol dipanaskan sampai suhu gelatinisasi tapioka (67,5 °C ± 2,5 °C) dengan pengadukan konstan menggunakan stirer magnetik (350 rpm) sampai terjadi gelatinisasi, kemudian dituangkan ke dalam cetakan teflon segi empat (11 x 9,5 x 0,3) cm³, permukaan hasil cetakan diratakan dengan batang silinder sehingga ketebalan film sama

Table 1. Komposisi komposit bioplastik dengan variasi ukuran dan konsentrasi *filler CMF* rami berbasis pati tapioka.

Material	Glycerol (g.g ⁻¹ w/w pati)	Pati, g/40 mL <i>aquadest</i>	<i>CMF</i> Rami (% w/w pati)
Bioplastik (Control)	0,3	2	0
B/ <i>CMFU</i> 2 %	0,3	2	2
B/ <i>CMFU</i> 4 %	0,3	2	4
B/ <i>CMFU</i> 8 %	0,3	2	8
B/ <i>CMFM</i> 2 %	0,3	2	2
B/ <i>CMFM</i> 4 %	0,3	2	4
B/ <i>CMFM</i> 8 %	0,3	2	8

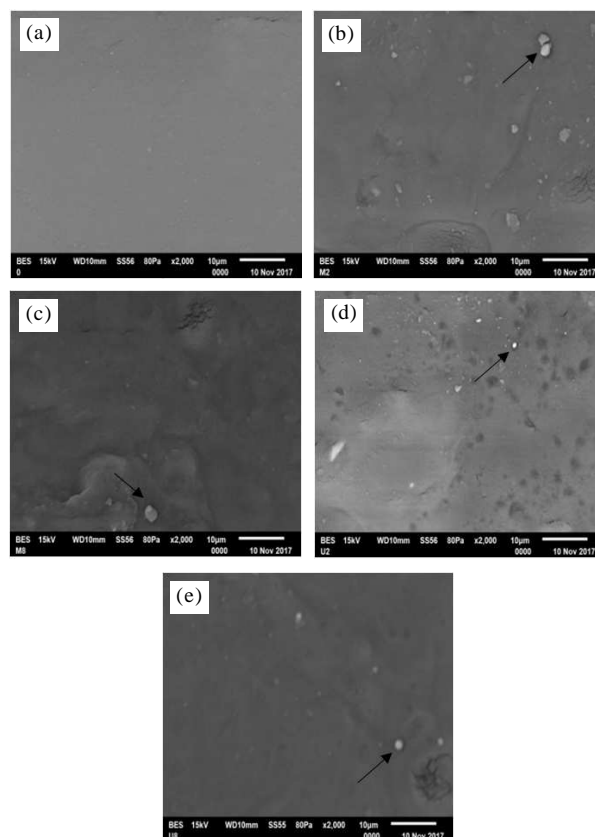
untuk konsentrasi *filler* berbeda. Untuk penghilangan gelembung udara, cetakan tersebut ditempatkan pada *ultrasonic batch* selama 15 menit. Setelah itu dikeringkan dengan oven pada suhu 37 °C ± 2 °C selama 21 jam. Komposit bioplastik di simpan dalam desikator selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian karakterisasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi *CMF* dan Komposit Bioplastik/*CMF* Rami

Pada Gambar 1 dapat terlihat *filler CMF* rami dalam matriks pati tapioka, tetapi sulit untuk mengidentifikasi dispersi *filler* secara individu. Namun, beberapa *filler* muncul sebagai warna agak putih di permukaan sampel. Pengamatan menunjukkan terjadi adhesi yang baik antara matriks dan pengisi, yang menjadi peran penting dalam meningkatkan kinerja mekanik bahan yang akan dibahas pada bagian selanjutnya.

Pada Gambar 1 tersebut juga terlihat ada perbedaan yang signifikan di antara sampel yang mengandung rami *CMFM* (ukuran *filler* 3,51 µm) dan rami *CMFU* (ukuran *filler* 0,388 µm) pada konsentrasi yang sama. Komposit bioplastik yang diperkuat rami *CMFM* memiliki bentuk yang tidak beraturan dengan distribusi ukuran yang tidak homogen. Pengamatan menunjukkan bahwa komposit bioplastik dengan 2%



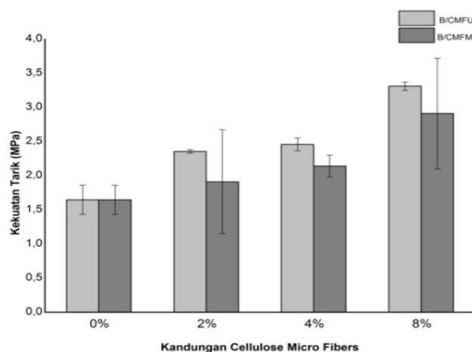
Gambar 1. SEM (a). Kontrol, (b). B/*CMFM* 2%, (c). B/*CMFM* 8%, (d). B/*CMFU* 2%, dan (e). B/*CMFU* 8%.

CMF baik rami pada proses *milling* ataupun proses ultrasonik memiliki struktur yang kompak dan permukaan halus tanpa pori-pori. Tetapi pada kandungan 4 % dan 8 % menunjukkan tekstur permukaan yang sedikit kasar dan terjadi penumpukan *filler* CMF. Jika distribusi CMF yang tidak merata dalam jumlah besar dan terjadi penggumpalan akan membatasi interaksi dari matriks ke CMF sehingga dapat menurunkan kekuatan mekanik dari komposit [13].

Hal yang sama juga dilaporkan oleh peneliti sebelumnya bahwa adanya penggumpalan *filler* dengan jumlah yang banyak akan mengakibatkan cacat pada matriks serta mempengaruhi integritas dari struktur komposit.

Kekuatan Tarik Komposit Bioplastik CMF Rami

Karakteristik tarik komposit bioplastik CMF Rami dengan berbagai konsentrasi kandungan dan ukuran yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2. Secara umum kekuatan tarik dengan ukuran *filler* rami CMF yang kecil (metode ultrasonikasi) menghasilkan kekuatan tarik yang lebih besar dari *filler* CMF proses *milling*. Kenaikan yang signifikan pada kekuatan tarik komposit bioplastik dengan peningkatan *filler* CMF rami 2,4 dan 8 %. Wicaksono *et al.* juga mengamati perilaku serupa pada saat konsentrasi *filler* ampas tapioka yang berbeda [14].

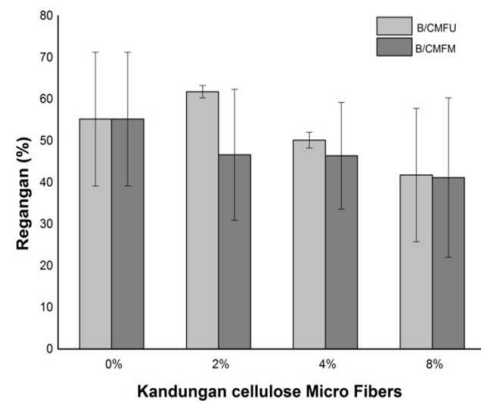


Gambar 2. Kurva kekuatan tarik komposit bioplastik.

Tegangan tarik tertinggi (3,31 MPa) diamati untuk CMFU 8% yang lebih besar dari bioplastik (kontrol 1,64 MPa). Kekuatan tarik bioplastik komposit meningkat saat peningkatan *filler* CMF berlaku untuk kedua ukuran *filler* dari 0 % hingga 8 %. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi kompatibilitas antara matriks pati dan *filler* CMF. Hasil penelitian ini berbeda dengan *filler* ampas tapioka yang dilaporkan oleh Versino *et al.*, kekuatan tarik meningkat dari 1,79 MPa menjadi 4,35 MPa dengan konsentrasi masing-masing 0,5 dan 1,5% [15]. Peningkatan kandungan serat alam akan meningkatkan sifat hidrofilik, sehingga perlu perlakuan kimia terhadap serat alam tersebut untuk mengurangi penyerapan uap air seperti dilaporkan sebelumnya [16]. Hal ini bisa terjadi sebagai akibat dari perubahan struktural susunan pati

yang terjadi saat serat ditambahkan yang membuat matriks bioplastik kurang kompak.

Penambahan rami CMFM atau CMFU menyebabkan pengurangan regangan secara signifikan komposit bioplastik (Gambar 3). Untuk rami CMFM regangan terkecil terjadi pada penambahan CMFM 8% sebesar 41,1%. Hal yang serupa terjadi untuk regangan pada *filler* rami CMFU 8% dengan regangan 41,7%. Penurunan regangan ini bisa dikaitkan dengan distribusi dan difusi *filler* CMF rami pada matriks bioplastik komposit. Bioplastik yang memiliki *filler* rami CMF ukuran kecil memiliki tegangan tarik terbaik dibandingkan ukuran rami CMF rami yang lebih besar. Hasil ini menunjukkan bahwa antara kekuatan tarik dan regangan berbanding terbalik. Variasi karakteristik mekanik serupa juga terjadi pada film hidrokoloid yang dilakukan peneliti sebelumnya [17].



Gambar 3. Kurva regangan komposit bioplastik.

Kuat tarik yang lebih rendah pada rami CMF M disebabkan oleh sifatnya yang lebih mudah mengalami aglomerasi dibandingkan dalam bentuk CMFU, sehingga mengurangi keefektifan penguatan. Pencampuran bahan *filler* yang tidak rata dapat menghasilkan matriks bioplastik yang tidak homogen, sehingga menurunkan sifat mekanisnya atau mengurangi keefektifan penguatannya.

X-Ray Diffraction

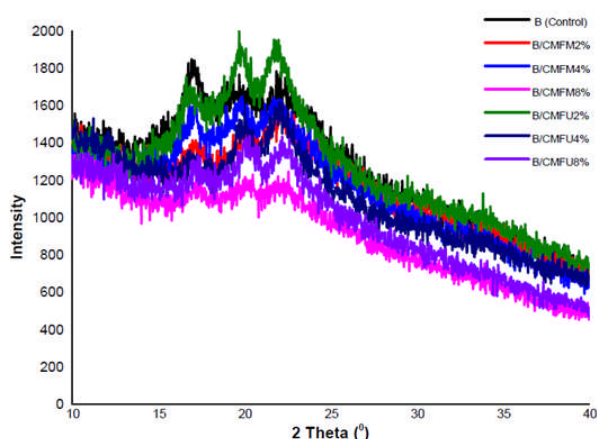
XRD dari bioplastik komposit dapat membantu untuk menentukan pengaruh ukuran dan konsentrasi CMF pada kristalinitas dari bahan tersebut. Berdasarkan Persamaan 1 *Crystal Index* dari komposit bioplastik dengan hasil perhitungannya seperti pada Tabel 2.

Table 2. Data *Crystal index* komposit bioplastik/CMF Rami

Variasi <i>filler</i>	<i>Crystal index</i> CI (%)
Bioplastik (Control)	8,65
B/CMFU 2 %	20,21
B/CMFU 4 %	18,44
B/CMFU 8 %	11,33
B/CMFM 2 %	15,12
B/CMFM 4 %	14,37
B/CMFM 8 %	5,30

Penambahan *CMF* rami akan meningkatkan kristalinitas komposit bioplastik, sehingga akan meningkatkan kekuatan bahan tersebut. *Crystal index* yang tertinggi pada penambahan *CMFU* 2% dan semua komposit bioplastik mengalami kenaikan *crystal index* kecuali ada satu fraksi volume *B/CMFU* 8% *crystal index* mengalami penurunan menjadi 5,30% dari 8,5% bioplastik murni.

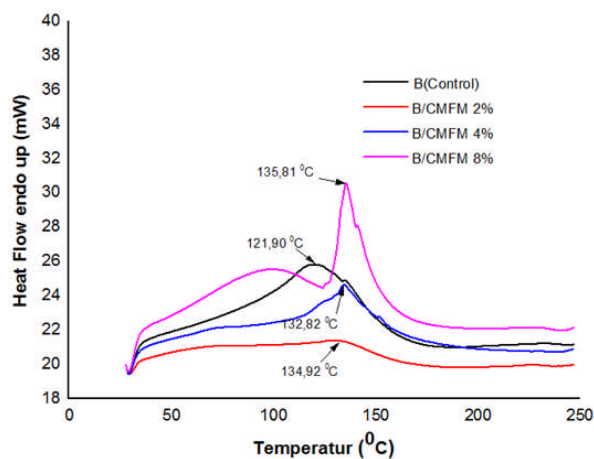
Gambar 4 menunjukkan difraktogram *XRD* dari komposit bioplastik dan beberapa variasi filler *CMF*. Dari grafik tersebut menunjukkan bahwa semua komposit bioplastik terlihat memiliki pola yang sama dan terjadi sedikit muncul daerah kristalin dengan penambahan *CMF*. Penelitian sebelumnya mengatakan bahwa kristalinitas komposit berbasis bioplastik meningkat dengan peningkatan jumlah fiber [18].



Gambar 4. Grafik *XRD* komposit bioplastik dengan perbedaan ukuran dan konsentrasi filler *CMF*.

Difference Scanning Colometry

Gambar 5 menunjukkan kurva *DSC* di daerah suhu 20 °C sampai 250 °C. Dari grafik *DSC* menunjukkan bahwa penambahan *CMF* rami akan meningkatkan temperatur titik leleh (*melting temperatur*) (T_m) dari komposit bioplastik.



Gambar 5. Grafik *DCS* komposit bioplastik dengan perbedaan konsentrasi filler *CMFM*.

Glass temperatur (T_g) terlihat sekitar 26 °C hingga 28 °C, hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya, dimana T_g bioplastik dengan matrik pati sebesar 26,8 °C [19]. Penambahan filler *CMF* 0 w/w% hingga 8w/w% dikaitkan dengan suhu transisi gelas untuk komposit bioplastik menyebabkan transisi T_g bergeser ke temperatur yang lebih tinggi dari 26 °C sampai 29 °C. Peningkatan T_g dari filler *CMF* mungkin dikaitkan dengan terjadinya interaksi antar molekul pati dan kristal yang kaku, serta mengurangi fleksibilitas rantai molekul pati. Hal ini sejalan dengan pengujian kekuatan tarik pada bagian sebelumnya. Kekuatan tarik meningkat dengan penambahan filler *CMF* karena adanya interaksi antara molekul pati ini dengan *CMF* rami.

Titik leleh dari bioplastik tanpa filler sebesar 121,90 °C. Nilai T_m komposit bioplastik dengan variasi filler dapat dilihat pada Tabel 3. Penambahan filler *CMFM* sebesar 2 %, 4 % dan 8 % dapat meningkatkan T_m masing-masing 132,82 °C, 134,92 °C dan 135,81 °C. Sedangkan untuk penambahan dengan konsentrasi 2% pada *CMFU* titik T_m nya sebesar 140,05 °C. Selanjutnya penambahan *CMFU* 4% dan 8% terjadi penurunan masing-masing 94,09 °C dan 98,65 °C.

Tabel 3. Data *melting* suhu komposit bioplastik

Material	T_m
Bioplastik (Control)	121,90
B/CMFM 2 %	132,82
B/CMFM 4 %	134,92
B/CMFM 8 %	135,81
B/CMFU 2 %	140,05
B/CMFU 4 %	94,09
B/CMFU 8 %	98,65

KESIMPULAN

Komposit *biodegradable plastics* dapat dikembangkan dari pati tapioka/*CMF* rami dengan penambahan 30 %w/w gliserol sebagai *plasticizer*. Pembuatan bioplastik ini melalui metode *casting* dan pengeringan. Perbedaan ukuran dan konsentrasi *CMF* rami mempengaruhi sifat fisik, sifat termal dan sifat mekanik komposit bioplastik. Morfologi komposit bioplastik yang diamati dengan *SEM* menunjukkan komposisi matriks dan filler yang homogen karena sifat kimia antara keduanya sama terutama yang mengandung *CMF* rami ukuran kecil walaupun pada konsentrasi 4% terjadi sedikit penggumpalan. Kekuatan tarik komposit bioplastik meningkat menjadi 3,3 MPa dan 2,71 MPa dari 1,64 MPa masing-masing dengan penambahan 8 % wt *CMFU* dan 8% *CMFM*. Indeks kristalinitas dan kestabilan termal juga meningkat dengan penambahan *CMF* rami.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Abu Khalid Rivai yang telah mengizinkan kami

melakukan penelitian di PSTBM, Bapak Jadigia Ginting, Bapak Rohmat Salam, Ibu Deswita dan Ibu Evi Yulianti yang telah memberikan saran dan bantuan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR ACUAN

- [1]. M. P. M. Dicker, P. F. Duckworth, A. B. Baker, G. Francois, M. K. Hazzard, and P. M. Weaver. "Green Composites: A Review of Material Attributes and Complementary Applications." *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.*, vol. 56, pp. 280-289, 2014.
- [2]. A. Edhirej, S. M. Sapuan, M. Jawaid, and N. I. Zahari. "Preparation and Characterization of Cassava Bagasse Reinforced Thermoplastic Cassava Starch." *Fibers and Polymers*, vol. 18, no. 1, pp. 162-171, 2017.
- [3]. A. Edhirej, S. M. Sapuan, M. Jawaid, and N. I. Zahari. "Cassava/ : Its Polymer, Fiber , Composite, and Application." *Polymer Composites*, vol. 16, no. 3, 2015.
- [4]. Isroi, A. Cifriadi, T. Panji, N. A. Wibowo, and K. Syamsu. "Bioplastic Production from Cellulose of Oil Palm Empty Fruit Bunch." *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 65, no. 1, 2017.
- [5]. H. Abral, G. J. Putra, M. Asrofi, J. W. Park, and H. J. Kim. "Effect of Vibration Duration of High Ultrasound Applied to Bio-Composite While Gelatinized on Its Properties." *Ultrason. Sonochem.*, vol. 40, pp. 697-702, 2018.
- [6]. F. Fahma, N. Hori, S. Iwamoto, T. Iwata, and A. Takemura. "Cellulose Nanowhiskers from Sugar Palm Fibers." *Emirates J. Food Agric.*, vol. 28, no. 8, pp. 566-571, 2016.
- [7]. S. Susanti, J. D. Malago, and S. Junaedi, "Sintesis Komposit Bioplastik Berbahan Dasar Tepung Tapioka Dengan Penguat Serat Bambu." *J. Sains dan Pendidik. Fis.*, vol. 11, no. 2, pp. 173-178, 2015.
- [8]. M. Asrofi, H. Abral, Y. Kurnia, S. M. Sapuan, and H. Kim. "Effect of Duration of Sonication During Gelatinization on Properties of Tapioca Starch Water Hyacinth Fiber Biocomposite." *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 108, pp. 167-176, 2018.
- [9]. A. Edhirej, S. M. Sapuan, M. Jawaid, and Nur Ismarrubie Zahari. "Preparation and Characterization of Cassava Starch/Peel Composite Film." *Polym. Compos.*, vol. 16, no. 2, pp. 101-113, 2016.
- [10]. L. Segal, J. J. Creely, A.E. Martin and M. Conrad. "Empirical Method for Estimating the Degree of Crystallinity of Native Cellulose Using the X-Ray Diffractometer." *Textile Research Journal*, vol. 29, issue 10, pp. 786-794, 1959.
- [11]. R. Wicaksono, K. Syamsu, I. Yuliasih, and M. Nasir. "Cellulose Nanofibers from Cassava Bagasse: Characterization and Application on Tapioca-Film." *Chem. Mater. Res.*, vol. 313, no. 13, pp. 2225-956, 2013.
- [12]. E. Syafri, A. Kasim, H. Abral, and A. Asben. "Effect of Precipitated Calcium Carbonate on Physical , Mechanical and Thermal Properties of Cassava Starch Bioplastic Composites." *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, vol. 7, no. 5, pp. 1950-1956, 2017.
- [13]. C.-A. Teacă, R. Bodîrlău, and I. Spiridon. "Effect of Cellulose Reinforcement on the Properties of Organic Acid Modified Starch Microparticles/Plasticized Starch Bio-Composite Films." *Carbohydr. Polym.*, vol. 93, no. 1, pp. 307-315, 2013.
- [14]. R. Wicaksono, K. Syamsu, I.Yuliasih, and M.Nasir. "Karakteristik Nanoserat Selulosa dari Ampas Tapioka dan Aplikasinya Sebagai Penguat Film Tapioka." *Jurnal Teknologi Industri Pertanian* vol. 23, no. 1, pp. 38-45, 2013.
- [15]. F. Versino, O. V. López, and M. A. García. "Sustainable Use of Cassava (Manihot Esculenta) Roots as Raw Material for Biocomposites Development." *Ind. Crops Prod.*, vol. 65, pp. 79-89, 2015.
- [16]. A. Ali et al. "Hydrophobic Treatment of Natural Fibers and Their Composites-A Review." *J. Ind. Text.*, May, 2016.
- [17]. O. Shakuntala, G. Raghavendra, and A. S. Kumar. "Effect of Filler Loading on Mechanical and Tribological Properties of Wood Apple Shell Reinforced Epoxy Composite." *Adv. Mater. Sci. Eng.*, vol. 2014, 2014.
- [18]. X. Ma, J. Yu, and J. F. Kennedy. "Studies on the Properties of Natural Fibers-Reinforced Thermoplastic Starch Composites." *Carbohydr. Polym.*, vol. 62, no. 1, pp. 19-24, 2005.
- [19]. Y. Lu, L. Weng, and X. Cao. "Morphological , Thermal and Mechanical Properties of Ramie Crystallites-Reinforced Plasticized Starch Biocomposites." *Carbohydrate Polymers*, vol. 63, Issue 2, pp. 198-204, 2006.