



Aplikasi Serat Alam *Muntingia calabura* sebagai Pengisi dalam Biokomposit Bermatriks Polivinil Alkohol (PVA): Karakteristik Sifat Kuat Tarik dan Permukaan Patahan

Application of *Muntingia calabura* Natural Fiber as Fillers in Polyvinyl Alcohol (PVA) Matrix Biocomposite: Tensile Strength and Fracture Surface

Melbi Mahardika^{*1}, Mochamad Asrofi², Afril Priyanto², Yuni Hermawan², Salahuddin Junus², Santoso Mulyadi², Sujito³, Devita Amelia⁴

¹Program Studi Teknik Biosistem, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

²Jurusan Teknik Mesin, Universitas Jember, Jember, Indonesia

³Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember, Jember, Indonesia

⁴Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

*Penulis Korespondensi

Email: melbi.mahardika@tbs.itera.ac.id

Abstrak. Pemanfaatan serat alam *Muntingia calabura* sebagai pengisi bahan biokomposit belum dimanfaatkan secara optimal. Penggunaan serat alam ini memiliki potensi yang baik sebagai bahan pengisi biokomposit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh volume fraksi serat terhadap kekuatan tarik dan permukaan patahan biokomposit Polivinil Alkohol (PVA) dan *Muntingia calabura*. Volume fraksi serat di dalam PVA divariasikan 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% (dari berat kering PVA). Pembuatan biokomposit menggunakan metode penuangan larutan gelatin. Biokomposit dikeringkan dalam suhu 70 °C selama 12 jam. Setelah itu, spesimen biokomposit dipotong sesuai standar American Society for Testing and Materials (ASTM) D882-18. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa peningkatan volume fraksi serat di dalam PVA mengakibatkan penurunan kekuatan tarik. Nilai kuat tarik tertinggi terdapat pada spesimen film PVA murni adalah 6,8 MPa. Penambahan serat sebesar 2% menyebabkan penurunan sebesar 14,7% dari nilai kuat tarik film PVA. Fenomena tersebut juga terjadi pada penambahan serat 4 – 8% di dalam matriks PVA. Hal tersebut didukung oleh pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM) yang menunjukkan adanya penggumpalan serat di dalam matriks.

Kata kunci: Serat alam *Muntingia calabura*, polivinil alkohol, biokomposit, kekuatan tarik, scanning electron microscope.

Abstract. The use of cherry stem fiber (*Muntingia calabura*) as a filler in biocomposite has not been optimally utilized. The use of this fiber has good potential as a biocomposite filler. The purpose of this study was to determine the effect of fiber volume fraction on tensile strength and fracture surface of polyvinyl alcohol (PVA) and cherry stem fiber based biocomposite. The volume of fiber fraction in PVA was varied from 0%, 2%, 4%, 6% and 8% (from dry weight of PVA). The making process of biocomposites used the gelatin solution pouring method. The biocomposites were dried at 70 °C for 12 h. After that, the biocomposite specimens were cut according to the standards of the American Society for Testing and Materials (ASTM) D882-18. The tensile test results showed that an increase in the volume of fiber fraction in the PVA matrix resulted in a decrease in tensile strength. The highest tensile strength value found in the pure PVA film specimen for 6.8 MPa. The enhancement of 2% fiber caused a reduction of 14.7% of the tensile strength of

the PVA film. This phenomenon also occurs with the enhancement of 4 - 8% fibers in the PVA matrix. This was supported by the Scanning Electron Microscope (SEM) observation which indicated the presence of fiber agglomeration in the matrix and several voids formation.
Keywords: *Cherry stem fiber, polyvinyl alcohol, biocomposites, tensile strength, scanning electron microscope.*

1. Pendahuluan

Pada umumnya setiap produk dalam kehidupan sehari-hari menggunakan plastik sebagai bahan dasar kemasan. Jenis plastik yang sering digunakan adalah *Polypropylene* (PP) dan *Polyethylene* (PE). Plastik ini merupakan polimer hidrokarbon yang sangat sulit didegradasi secara alami oleh mikroorganisme (polimer sintesis). Tumpukan sampah yang terus meningkat setiap harinya akan menjadi permasalahan lingkungan yang masih sulit diatasi yang diakibatkan oleh polimer sintesis (Borrelle *et al.*, 2020).

Pembuatan biokomposit plastik dapat menjadi alternatif solusi dalam mengurangi tumpukan sampah plastik sintesis yang tidak dapat terdegradasi oleh lingkungan. Umumnya, biokomposit plastik tersusun dari dua jenis bahan utama, yaitu matriks dan pengisi. Keduanya mempunyai fungsi yang berbeda, matriks sebagai pengikat sedangkan serat berfungsi sebagai bahan penguat struktur biokomposit (Abral *et al.*, 2019c; Asrofi, Sapuan, *et al.*, 2020; Asrofi, Syafri, *et al.*, 2020; Mukaffa *et al.*, 2021; Syafri *et al.*, 2019).

Pemilihan matriks dalam penelitian ini adalah polivinil *alcohol* (PVA) yang merupakan polimer sintesis yang bersifat hidrofilik, *biodegradable*, biokompatibel dan memiliki fungsi sebagai matriks (Abral *et al.*, 2019b; Guimarães Jr *et al.*, 2015). PVA banyak digunakan sebagai bahan kemasan yang menjanjikan karena sifatnya yang fleksibel (elastis) dan cukup baik apabila dibentuk film kemasan. Namun, sifat ini sangat bergantung pada kelembaban, dimana semakin tinggi kelembaban maka akan semakin banyak uap air yang akan terserap dari lingkungan sekitarnya. Hal ini menyebabkan film PVA mengalami penurunan kekuatan tarik, kekuatan sobek dan peningkatan elongasi (Asrofi *et al.*, 2019). Penambahan serat alam ke dalam matriks PVA diharapkan dapat mengatasi masalah hal tersebut.

Salah satu bahan yang paling berpotensi sebagai pengisi PVA adalah serat alam selulosa. Serat tersebut mempunyai beberapa kelebihan diantaranya ketersediaannya berlimpah dan harga relatif terjangkau (murah). Keunggulan lain dari bahan tersebut adalah sifatnya yang dapat terurai oleh mikroorganisme di lingkungan (*biodegradable*) (Popescu *et al.*, 2018; Yu *et al.*, 2018).

Pembuatan biokomposit plastik dari PVA dengan pengisi serat alam sudah dilaporkan pada beberapa penelitian sebelumnya seperti PVA dan serat kulit biji jarak pagar (Puttaswamy *et al.*, 2017; Thomas *et al.*, 2020), PVA dan serat nanoselulosa ampas jahe (Abral, *et al.*, 2019b) serta PVA dan serat cangkang sawit (Alias *et al.*, 2017; Fahma *et al.*, 2017). Mereka melaporkan bahwa

penambahan serat dapat memperbaiki sifat mekanik, ketahanan panas dan mampu menurunkan serapan uap air (Abral *et al.*, 2019a; Ilyas *et al.*, 2020; Mahardika *et al.*, 2019). Akan tetapi, penambahan serat selulosa ke dalam matriks tidak selamanya meningkatkan sifat biokomposit. Hal tersebut diungkapkan oleh peneliti sebelumnya yang melaporkan bahwa penambahan serat selulosa menurunkan sifat kuat tariknya. Faktor utama yang mempengaruhi penurunan sifat tarik adalah tidak tersebarnya serat ke dalam matriks dan ikatan yang kurang baik antara kedua bahan tersebut (matriks dan fiber) (Gaikwad *et al.*, 2016; Mittal *et al.*, 2016; Puttaswamy *et al.*, 2017).

Dari beberapa penelitian yang sudah dikaji, penulis belum menemukan penelitian tentang pemanfaatan *Muntingia calabura* sebagai pengisi biokomposit plastik bermatriks PVA. Pemilihan serat *Muntingia calabura* didasarkan pada ketersediaannya di berbagai dataran Indonesia dan pemanfaatan kurang optimal sebagai pengisi biokomposit plastik.

Oleh karena itu, penggabungan kedua bahan ini (PVA dan serat *Muntingia calabura*) diharapkan dapat menjadi solusi pencemaran sampah plastik. Karakteristik biokomposit plastik yang dilakukan diantaranya pengujian tarik (kekuatan tarik, modulus elastisitas dan perpanjangan saat patah) dan pengamatan morfologi patahan dengan alat *Scanning Electron Microscope* (SEM).

2. Bahan dan Metode

2.1. Bahan

Polivinil Alkohol (PVA) jenis teknis (full hidrolisis) dibeli di toko Aneka Kimia Jember. *Muntingia calabura* diperoleh dari daerah Jember Lor, Kecamatan Patrang, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Asam klorida (HCl) (jenis teknis), Natrium Hidroksida (NaOH) (jenis teknis) dan Natrium Hipoklorit (NaOCl) dibeli dari toko Aneka Kimia Jember. Gliserol dengan tipe teknis: densitas 1,225-1,260 g/mL (merek Brataco) tersedia di Labortorium Uji Material, Teknik Mesin, Universitas Jember.

2.2. Ekstraksi Serat Alam *Muntingia calabura*

Muntingia calabura (diameter kurang dari 1 cm) dipotong sepanjang ± 5 cm. Batang tersebut dicuci dengan air mengalir dan didiamkan dalam temperatur ruangan selama 5 hari. Kemudian, batang tersebut dihancurkan menggunakan mesin penggiling untuk dijadikan bubuk serat. Sebanyak 10 gram bubuk serat tersebut direndam dalam larutan natrium hidroksida (NaOH) 5% selama 1 jam dengan temperature 60 °C. Perendaman dilakukan untuk menghilangkan lignin dan zat lilin pada serat. Kemudian, serat dibilas dengan air mengalir sampai pH menjadi netral. Perendaman selanjutnya menggunakan larutan natrium hipoklorit (NaOCl) 4% selama 2 jam pada temperature 60 °C. Setelah itu, serat dicuci sampai pH 7. Serat tersebut dikeringkan dalam

temperatur ruangan (25 °C) untuk mendapatkan serat bubuk kering *Muntingia calabura*. Serat ini, disiapkan sebagai pengisi biokomposit plastik dengan matriks PVA.

2.3. Pembuatan Biokomposit

Pembuatan biokomposit plastik PVA dengan serat alam *Muntingia calabura* menggunakan metode *solution casting*. Sebanyak 10 gram PVA dilarutkan pada 100 ml air suling dengan kondisi pemanasan 90 °C (putaran stirrer 800 rpm) selama 1 jam sampai PVA terlarut sempurna. Setelah itu, serat alam *Muntingia calabura* dimasukkan ke dalam larutan PVA dengan variasi volume fraksi sebesar 0%, 2%, 4%, 6% dan 8% (dari berat kering PVA). Campuran tersebut diaduk pada putaran 800 rpm dan kondisi pemanasan 90 °C selama 10 menit. Selama pengadukan campuran biokomposit plastik tersebut, gliserol ditambahkan sebanyak 1 ml. Setelah itu, campuran dituang ke dalam cetakan kaca berukuran 160 mm x 75 mm. Biokomposit plastik tersebut dikeringkan menggunakan oven pengering pada temperatur 70 °C selama 12 jam. Spesimen biokomposit plastik yang telah kering siap dipotong dan dibentuk sesuai standar uji tarik film plastik tipis ASTM D882-18.

2.4. Pengujian Tarik

Pengujian tarik digunakan untuk menentukan kekuatan tarik dari biokomposit plastik PVA dan serat alam *Muntingia calabura*. Mesin uji tarik yang digunakan adalah bermerek Hung Ta (HT) - 2328. Hasil uji tarik adalah kekuatan tarik, modulus tarik dan perpanjangan saat patah. Semua spesimen biokomposit plastik dibentuk sesuai standar *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D882-18. Pengujian tarik dilakukan pada temperatur ruangan dengan kecepatan penarikan 10 mm/menit.

2.5. Scanning Electron Microscopy (SEM)

Permukaan patahan biokomposit PVA dan serat alam *Muntingia calabura* dikarakterisasi dengan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) TM3030 Plus dengan tegangan 5 kV selama observasi permukaan. Sebelum karakterisasi, semua spesimen disiapkan dan dilapisi oleh *Palladium-Gold* (Pd-Au).

3. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 1 terlihat film PVA dan biokomposit PVA/serat alam *Muntingia calabura*. Spesimen memiliki ketebalan rata-rata 0,15 mm dengan panjang spesimen 10 cm. Pada Gambar 1 terlihat bahwa dengan meningkatnya konsentrasi serat plastik, warna plastik menjadi lebih buram. Seiring pertambahan volume fraksi serat alam *Muntingia calabura* akan mengurangi transparansi dari film PVA.

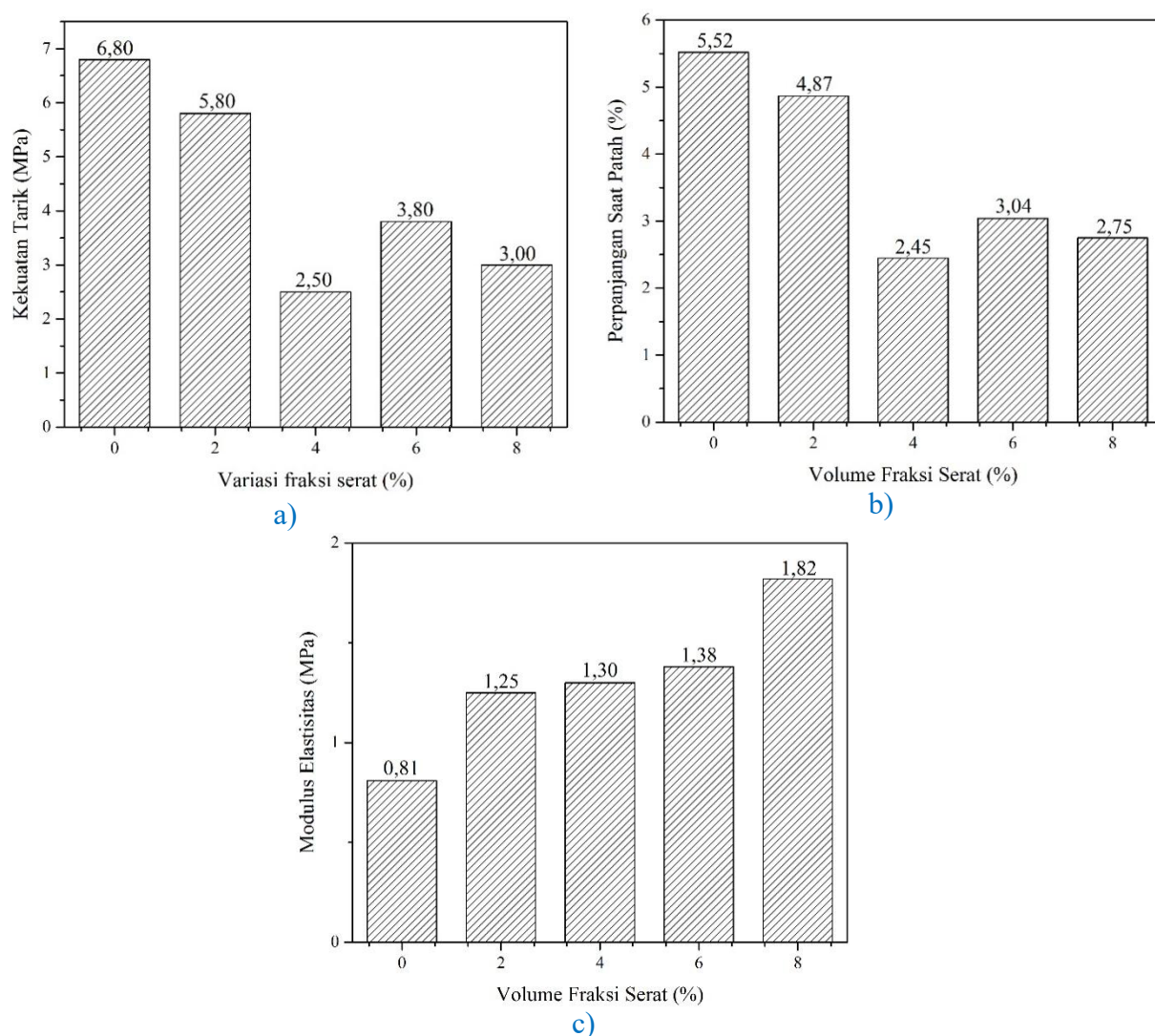


Gambar 1. Sampel dengan variasi konsentrasi serat a) 0%, b) 2%, c) 4%, d) 6% dan e) 8%.

3.1. Pengujian Tarik

Dari hasil uji tarik biokomposit film PVA dengan penguat serat alam *Muntingia calabura* didapatkan nilai kekuatan tarik, perpanjangan saat patah dan modulus elastisitas sebagai acuan sifat mekanik film PVA dan biokomposit dengan variasi volume fraksi serat alam *Muntingia calabura* yaitu 0%, 2%, 4%, 6 % dan 8%. Pada [Gambar 2a](#) memperlihatkan kekuatan tarik film biokomposit PVA/serat alam *Muntingia calabura* untuk variasi penambahan volume fraksi serat alam *Muntingia calabura*. Kekuatan tarik untuk film PVA murni adalah 6,8 MPa. Akan tetapi, setelah penambahan serat *Muntingia calabura* dengan volume fraksi serat 2% menurunkan kekuatan tarik biokomposit film sebesar 14,7%. Hal ini dikarenakan terjadinya penumpukan serat alam *Muntingia calabura* dan adanya void seperti terlihat pada [Gambar 3e](#). Hasil ini juga didukung oleh penelitian sebelumnya ([Gaikwad et al., 2016](#); [Srivastava et al., 2019](#)). [Gambar 2b](#) menunjukkan bahwa dengan meningkatnya kandungan serat alam *Muntingia calabura*, perpanjangan saat patah berkurang. Biokomposit film dengan penambahan serat alam *Muntingia calabura* sebesar 2% memiliki nilai perpanjangan saat patah yang lebih rendah dibandingkan dengan film PVA murni. Hal ini dikarenakan adanya serat alam *Muntingia calabura* dalam biokomposit menghambat laju interaksi antara molekul PVA dan rantai selulosa sehingga mengurangi fleksibilitas film ([Gaikwad et al., 2016](#)).

Kekuatan tarik paling rendah adalah film PVA dengan penambahan serat alam *Muntingia calabura* sebesar 4% dengan kekuatan tarik 2,5 MPa. Penurunan kekuatan tarik dikarenakan penyebaran serat tidak homogen, terjadi penumpukan serat alam *Muntingia calabura* dan ikatan adhesi yang buruk antara matriks dan serat alam seperti yang ditunjukkan Gambar 2c. Hasil ini didukung oleh penelitian sebelumnya yang menunjukkan penurunan kekuatan tarik sebesar 82,2% setelah penambahan serat dari residu *apple pomace* dengan konsentrasi 30% dibandingkan dengan film PVA murni (Gaikwad *et al.*, 2016). Berdasarkan hasil pengujian tarik ini, semakin besar volume fraksi serat alam *Muntingia calabura* maka modulus elastisitas dari biokomposit juga akan semakin tinggi. Namun, untuk kekuatan tarik dan elongasi saat patah akan semakin rendah seiring dengan penambahan serat alam *Muntingia calabura*.

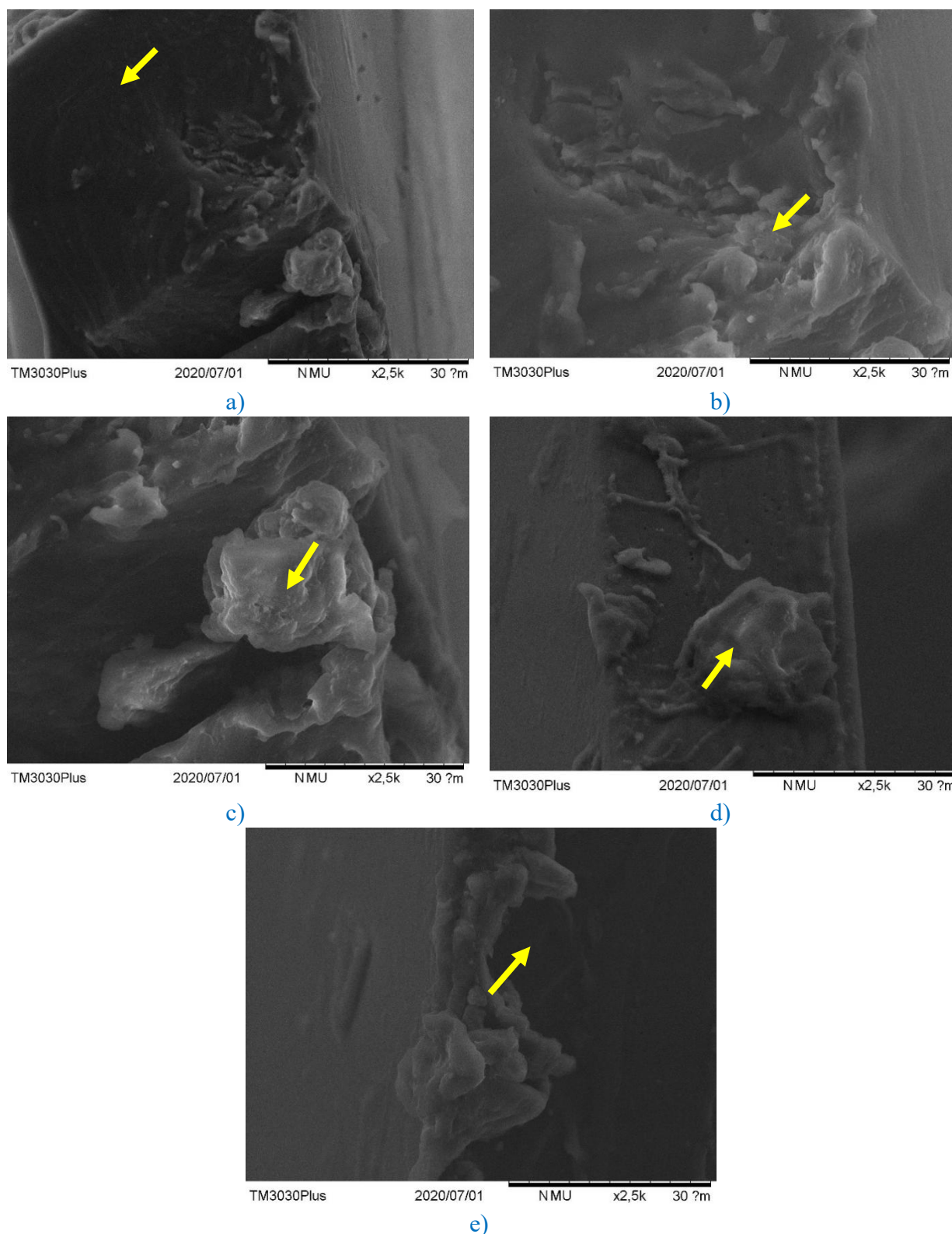


Gambar 2. Grafik pengujian tarik a) Uji tarik, b) Elongasi saat patah, c) Modulus elastisitas

1.1. Pengamatan Scanning Electron Microscope (SEM)

Pada Gambar 3 memperlihatkan morfologi permukaan patah dari biokomposit PVA/serat alam *Muntingia calabura*. Gambar 3a memperlihatkan permukaan patahan PVA film yang *smooth* mengindikasikan tidak adanya serat alam *Muntingia calabura*. Hasil pengamatan serupa

juga dilaporkan pada penelitian sebelumnya bahwa film PVA murni mempunyai permukaan patahan yang lembut (Abiral *et al.*, 2019a; Mandal & Chakrabarty, 2014).



Gambar 3. Morfologi SEM permukaan patah biokomposit dengan variasi volume fraksi serat alam *Muntingia calabura* yaitu a) 0%, b) 2%, c) 4%, d) 6% dan e) 8%.

Gambar 3b menunjukkan permukaan kasar dan penyebaran yang homogen dari serat alam *Muntingia calabura* pada biokomposit dengan konsentrasi serat 2% yang terlihat pada panah

warna kuning. Hal ini dikarenakan ikatan antara serat dengan matriks pada semua sisi permukaan biokomposit memiliki ikatan adesi yang baik (Fahma *et al.*, 2017; Puttaswamy *et al.*, 2017). Pada Gambar 3c terlihat adanya penumpukan serat di beberapa titik dan penyebaran serat alam *Muntingia calabura* yang kurang merata karena tidak adanya perlakuan selanjutnya untuk mendistribusikan serat ke seluruh permukaan matriks. Penumpukan serat juga dapat berpengaruh pada nilai kuat tarik dan elastisitas, karena distribusi serat yang tidak merata menyebabkan gaya yang diterima juga tidak merata sehingga terjadi pemusatan gaya yang berdampak pada nilai kuat tarik. Hasil ini didukung oleh hasil uji tarik dan penelitian sebelumnya (Mittal *et al.*, 2016).

Hasil pengamatan SEM pada beberapa titik patahan biokomposit dengan konsentrasi serat 8% menunjukkan masih terdapat beberapa cacat pada mikrostruktur, diantaranya adalah void (celah) dari matriks yang tidak diisi oleh serat alam *Muntingia calabura* yang ditunjukkan panah warna kuning pada Gambar 3d dan 3e. Oleh karena itu, beberapa faktor tersebut menyebabkan kurang baiknya ikatan antara matriks dan serat. Hal ini dapat mengakibatkan penurunan sifat mekanik baik dari segi kekuatan tarik maupun elastisitasnya.

Kesimpulan

Efek penambahan serat alam *Muntingia calabura* menunjukkan bahwa nilai kuat tarik biokomposit mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya volume fraksi serat alam *Muntingia calabura*. Kekuatan tarik maksimum adalah film PVA murni dengan nilai kekuatan tarik sebesar 6,8 MPa. Penambahan serat alam *Muntingia calabura* sebesar 2% menurunkan kekuatan tarik menjadi 5,8 MPa. Penurunan kekuatan tarik dan regangan tarik disebabkan oleh berbagai hal antara lain distribusi serat tidak homogen dan adanya celah antara matrik dan serat. Dari pengamatan SEM, terbukti bahwa penambahan serat alam *Muntingia calabura* berpengaruh secara morfologi terhadap karakteristik sifat kuat tarik biokomposit film.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari Institut Teknologi Sumatera yang berkolaborasi dengan Universitas Jember di bidang penelitian dan publikasi ilmiah pada tahun 2021.

Daftar Pustaka

- Abral, H., Ariksa, J., Mahardika, M., Handayani, D., Aminah, I., Sandrawati, N., Sapuan, S. M., & Ilyas, R. A. (2019a). Highly transparent and antimicrobial PVA based bionanocomposites reinforced by ginger nanofiber. *Polymer Testing*, 106186. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106186>
- Abral, H., Mahardika, M., Handayani, D., Sugiarti, E., & Muslimin, A. N. (2019b). Characterization of disintegrated bacterial cellulose nanofibers/PVA bionanocomposites prepared via ultrasonication. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 591–599. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.05.178>
- Abral, H., Soni Satria, R., Mahardika, M., Hafizulhaq, F., Affi, J., Asrofi, M., Handayani, D.,

- Sapuan, S. M., Stephane, I., Sugiarti, E., & Muslimin, A. N. (2019c). Comparative Study of the Physical and Tensile Properties of Jicama (*Pachyrhizus erosus*) Starch Film Prepared Using Three Different Methods. *Starch/Staerke*, 1–31. <https://doi.org/10.1002/star.201800224>
- Alias, N. F., Ismail, H., & Wahab, M. K. A. (2017). Properties of polyvinyl alcohol/palm kernel shell powder biocomposites and their hybrid composites with halloysite nanotubes. *BioResources*, 12(4), 9103–9117.
- Asrofi, M., Dwilaksana, D., Abral, H., & Fajrul, R. (2019). Tensile, thermal, and moisture absorption properties of polyvinyl alcohol (PVA)/bengkuang (*pachyrhizuserosus*) starch blend films. *Material Science Research India*, 16(1), 70–75. <http://dx.doi.org/10.13005/msri/160110>
- Asrofi, M., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., & Ramesh, M. (2020). Characteristic of composite bioplastics from tapioca starch and sugarcane bagasse fiber: Effect of time duration of ultrasonication (Bath-Type). *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.254>
- Asrofi, M., Syafri, E., Sapuan, S. M., & Ilyas, R. A. (2020). Improvement of Biocomposite Properties Based Tapioca Starch and Sugarcane Bagasse Cellulose Nanofibers. *Key Engineering Materials*, 849, 96–101.
- Borrelle, S. B., Ringma, J., Law, K. L., Monnahan, C. C., Lebreton, L., McGivern, A., Murphy, E., Jambeck, J., Leonard, G. H., & Hilleary, M. A. (2020). Predicted growth in plastic waste exceeds efforts to mitigate plastic pollution. *Science*, 369(6510), 1515–1518. DOI: [10.1126/science.aba3656](https://doi.org/10.1126/science.aba3656)
- Fahma, F., Sunarti, T. C., Indriyani, S. M., & Lisdayana, N. (2017). Thermoplastic cassava starch-PVA composite films with cellulose nanofibers from oil palm empty fruit bunches as reinforcement agent. *International Journal of Polymer Science*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/2745721>
- Gaikwad, K. K., Lee, J. Y., & Lee, Y. S. (2016). Development of polyvinyl alcohol and apple pomace bio-composite film with antioxidant properties for active food packaging application. *Journal of Food Science and Technology*, 53(3), 1608–1619.
- Guimarães Jr, M., Botaro, V. R., Novack, K. M., Teixeira, F. G., & Tonoli, G. H. D. (2015). Starch/PVA-based nanocomposites reinforced with bamboo nanofibrils. *Industrial Crops and Products*, 70, 72–83. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.014>
- Ilyas, R. A., Sapuan, S. M., Norrrahim, M. N. F., Yasim-Anuar, T. A. T., Kadier, A., Kalil, M. S., Atikah, M. S. N., Ibrahim, R., Asrofi, M., & Abral, H. (2020). Nanocellulose/starch biopolymer nanocomposites: Processing, manufacturing, and applications. In *Advanced Processing, Properties, and Applications of Starch and Other Bio-Based Polymers* (pp. 65–88). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819661-8.00006-8>
- Mahardika, M., Abral, H., Kasim, A., Arief, S., Hafizulhaq, F., & Asrofi, M. (2019). Properties of cellulose nanofiber/bengkoang starch bionanocomposites: Effect of fiber loading. *LWT*, 108554. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108554>
- Mandal, A., & Chakrabarty, D. (2014). Studies on the mechanical, thermal, morphological and barrier properties of nanocomposites based on poly (vinyl alcohol) and nanocellulose from sugarcane bagasse. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 20(2), 462–473. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.05.003>
- Mittal, A., Garg, S., Kohli, D., Maiti, M., Jana, A. K., & Bajpai, S. (2016). Effect of cross linking of PVA/starch and reinforcement of modified barley husk on the properties of composite films. *Carbohydrate Polymers*, 151, 926–938. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.06.037>
- Mukaffa, H., Asrofi, M., Hermawan, Y., Qoryah, R. D. H., Sapuan, S. M., Ilyas, R. A., & Atiqah, A. (2021). Effect of alkali treatment of piper betle fiber on tensile properties as biocomposite based polylactic acid: Solvent cast-film method. *Materials Today: Proceedings*. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.218>
- Popescu, M.-C., Dogaru, B.-I., Goanta, M., & Timpu, D. (2018). Structural and morphological

- evaluation of CNC reinforced PVA/Starch biodegradable films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 116, 385–393. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.05.036>
- Puttaswamy, M., Srinikethan, G., & Shetty, V. (2017). Biocomposite composed of PVA reinforced with cellulose microfibrils isolated from biofuel industrial dissipate: *Jatropha Curcus L.* seed shell. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(2), 1990–1997. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.04.004>
- Srivastava, K. R., Singh, M. K., Mishra, P. K., & Srivastava, P. (2019). Pretreatment of banana pseudostem fibre for green composite packaging film preparation with polyvinyl alcohol. *Journal of Polymer Research*, 26(4), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s10965-019-1751-3>
- Syafri, E., Wahono, S., Irwan, A., Asrofi, M., Sari, N. H., & Fudholi, A. (2019). Characterization and properties of cellulose microfibrils from water hyacinth filled sago starch biocomposites. *International Journal of Biological Macromolecules*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.174>
- Thomas, N., Rusdin, A., Tulsyahra, M., Wathoni, N., & Kuswandi, A. (2020). Accelerated wound healing ability of *Jatropha* sap by iota carrageenan-poly (vinyl alcohol) hydrogel film. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 11(4), 226. doi: [10.4103/japtr.JAPTR_11_20](https://doi.org/10.4103/japtr.JAPTR_11_20)
- Yu, Z., Li, B., Chu, J., & Zhang, P. (2018). Silica in situ enhanced PVA/chitosan biodegradable films for food packages. *Carbohydrate Polymers*, 184, 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106186>