

Serat Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*) Teralkalisasi sebagai Penguat Komposit Polimer

Gunawan Refiadi^{*1}, Novan Bayu¹, Hermawan Judawisastra², Mardiyati²

¹ Sekolah Keguruan dan Ilmu Kependidikan (STKIP) 11 April, Jl. Anggrek Situ No. 19 Sumedang, Indonesia

² Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung, Indonesia

Diterima : 30 Oktober 2017, Revisi akhir : 03 Mei 2018, Disetujui terbit : 07 Mei 2018

*The Alkalized of Petung Bamboo Fiber (*Dendrocalamus asper*) as Reinforcement of Polymer Composite*

Abstract

*Petung bamboo (*Dendrocalamus asper*) has good fiber characteristic and it has potential to substitute glass fiber as reinforcement in polymeric composite. However, like other natural based materials, bamboo fiber has a high variability in mechanical properties and inherently hygroscopic characteristic. Therefore it is required to optimize the petung bamboo qualities. The fiber optimization was carried out by alkalization process using NaOH solution with varying concentration of 0, 3, 5, and 10% v/v. Bamboo fiber processed in chemo-mechanical was used in this investigation. Characterization of density, mechanical and chemicals was conducted by pycnometry method, tensile strength testing, Fourier Transform Spectroscopy (FTIR) and Scanning Electron Microscopy (SEM). The data variability was analyzed by Weibull distribution. Result indicates that the optimum condition of alkalization process of bamboo fiber using NaOH solution of 5% v/v which has fiber diameter of 175.098 ± 58.017 mm, tensile strength of 384 MPa, and characteristics strength of 390.5 MPa.*

Keywords: petung bamboo, alkalization, characteristics

Abstrak

Bambu petung memiliki karakteristik serat yang baik sehingga berpotensi sebagai pengganti serat gelas untuk penguat komposit polimer. Namun, seperti umumnya serat alam, serat bambu memiliki variabilitas sifat mekanis tinggi dan sifat higroskopik yang inheren. Oleh karena itu, diperlukan upaya optimalisasi kinerja serat bambu petung. Optimalisasi kinerja serat dilakukan melalui proses alkalisasi dengan variasi larutan NaOH pada konsentrasi 0, 3, 5, dan 10% v/v. Serat bambu hasil dari proses kimia-mekanik digunakan dalam penelitian ini. Karakterisasi densitas, sifat mekanik, dan sifat kimia serat masing-masing dilakukan dengan metode piknometri, uji tarik, *Fourier Transform Spectroscopy (FTIR)*, *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Analisis variabilitas data menggunakan distribusi Weibull. Hasil menunjukkan bahwa kondisi optimum alkalisasi serat bambu petung, yaitu menggunakan larutan NaOH 5% v/v yang menghasilkan serat berdiameter $175,098 \pm 58,017$ mm, kekuatan tarik 384 MPa, dan kekuatan karakteristik 390,5 MPa.

Kata kunci: bambu petung, alkalisasi, karakteristik

Pendahuluan

Konsep komposit hijau muncul sebagai solusi masalah komposit sintesis yang memiliki beberapa kelemahan seperti sulit terurai di alam,

pemakaian energi tinggi, polutan lingkungan, dan berdampak negatif bagi kesehatan. Komposit hijau dibentuk oleh matriks hayati seperti *Polylactic Acid (PLA)*, *Polyhydroxy Alkanoat (PHA)* atau sintesis dengan serat penguat berbasis

hayati (*jute, ramie, bambu, hemp, abaca*, dan lainnya) (Hossen, 2011; Misra, 2011). Tren *green development* saat ini telah membuat serat hayati menjadi fokus utama sebagai penguat komposit polimer. Keunggulan komparatif serat hayati terhadap serat sintesis adalah sifat spesifiknya mirip, non-abrasif, sumber melimpah di alam, minimum dampak negatif bagi kesehatan dan lingkungan, dan bisa diperbaharui (Joshi, S. V., 2004). Hal ini menjadikan serat penguat komposit berbasis petrokimia seperti serat gelas (*glass*) dan karbon mulai tergeser kedudukannya oleh serat hayati. Rendahnya densitas serat hayati dibanding serat sintesis memberi keuntungan pada komposit hijau dari sisi pemakaian serat alam. Artinya, untuk mendapat kekuatan komposit yang sama, porsi serat hayati yang ramah lingkungan akan lebih besar daripada matriks sintesis yang polutif. Bobot yang ringan menjadikan komposit berpenguat serat hayati lebih kompetitif untuk penghematan energi di sektor automotif.

Bambu merupakan salah satu sumber potensial untuk serat hayati. Jenis bambu di dunia sekitar 1200-1300 spesies dan 11,9% diantaranya berada di Indonesia (Abdul Khalil *et al.*, 2012). Bambu petung paling banyak ditemukan di pulau Jawa dan Sumatra dengan kisaran diameter seratnya antara 195~361 mm, memiliki rentang kekuatan tarik 114~314 MPa, modulus elastisitas antara 3,2~7 GPa dan regangan 3,3~5,1% (Viel, Q, 2013). Dalam penelitian Wang *et al.* (2014) yang dikutip dari Osorio L (2011) menunjukkan bahwa serat bambu memiliki kekuatan yang hampir mirip dengan serat gelas.

Karakterisasi sifat tarik serat pada variasi ketinggian dan kedalaman batang bambu petung (*Dendrocalamus asper*) telah dilakukan oleh Judawisastra (2016) yang menemukan bahwa kekuatan serat bambu paling tinggi berada di bagian bawah batang dan bagian terluar diameter. Namun, pengukuran densitasnya belum dilakukan dan belum mengarah pada pembuatan komposit hijau. Penelitian terkait bambu petung lainnya telah dilakukan oleh Sugesty, *et al.* (2014), yang menemukan bahwa kualitas bambu petung adalah yang paling baik diantara jenis bambu lainnya. Namun, penelitian ini ditujukan untuk memperoleh pulp yang tinggi untuk aplikasi pembuatan kertas.

Penelitian komposit hijau (matriks *polyester*) berpenguat serat bambu petung telah dicapai pada 24% fraksi volume serat dengan kekuatan tarik arah longitudinal 95 MPa serta modulus elastisitas

8 GPa, dan regangan 4% yang diperoleh melalui proses *hand lay-up* (Rosadi, 2017). Berdasarkan hasil ini, Rosadi menyarankan aplikasi metode VARI (*Vacuum Assisted Resin Infusion*) untuk memperoleh fraksi volume serat yang lebih tinggi. Hal ini didasarkan pada hasil optimasi sistem VARI dengan metode Taguchi pada komposit *polyester* berpenguat serat *E-glass* yang telah meningkatkan fraksi volume serat *hand lay-up* dari 27,5% menjadi 54,3% (Refiadi, 2013). Penelitian komposit hijau oleh Judawisastra (2017) dan komposit sintesis oleh Refiadi (2013) keduanya masih menggunakan matriks polimer *polyester* dan belum menggunakan epoksi sebagai matriks kompositnya. Penelitian komposit hijau serat bambu-epoksi untuk rompi anti peluru telah membuktikan bahwa serat bambu cukup efisien, ringan, dan lebih ekonomis dibandingkan dengan serat aramid (Cruz, 2015). Nozari *et al.*, (2013) melaporkan bahwa serat alam (bubuk kayu) teralkalisasi dapat menurunkan tingkat absorpsi air pada komposit bermatriks *LDPE (Low Density Polyethylene)*.

Alkalisasi dapat memperkecil diameter serat bambu dengan melarutkan lignin dan amorf (Chakraborty, 2015). Hal ini telah dibuktikan dengan peningkatan kekuatan tarik dan elongasi yang signifikan pada komposit yang dihasilkan (Lu *et al.*, 2013). Matriks epoksi terbukti memiliki tingkat pembasahan (*wetting*) serat dan tingkat adhesi terhadap serat bambu *Guadua angustifolia* (Vuure, 2013) dan merefleksikan hasil penelitiannya dalam dua kondisi, yaitu 95% transfer modulus serat longitudinal terhadap modulus komposit *bending longitudinal* dan 80% transfer modulus serat longitudinal terhadap kekuatan komposit longitudinal. Berdasarkan hasil studi literatur, penelitian ini mengkaji karakteristik serat bambu petung pada variabel tingkat alkalisasi untuk memperoleh kekuatan tarik serat yang paling optimum untuk dikembangkan menjadi komposit hijau berpenguat serat bambu petung.

Bahan dan Metode

Bahan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah bagian bawah batang bambu petung berusia 2 tahun yang diperoleh dari Balai Penelitian Bambu, Pasir Impun - Bandung. Larutan untuk proses pembuatan serat bambu,

yaitu NaOH 20% v/v dan HCl 2% v/v, variasi larutan untuk proses alkalisasi yaitu larutan NaOH 3%, 5%, dan 10% v/v. Selanjutnya, larutan HCl 2% v/v dan *aqua dm* digunakan untuk pencucian hasil proses alkalisasi.

Ekstraksi Kimia-Mekanik Serat Bambu Petung

Proses kimia untuk memperoleh serat dilakukan melalui perendaman bilah bambu dalam larutan NaOH 20% v/v pada suhu 27°C selama 1 jam. Setelah itu dilakukan pencucian bilah dengan larutan HCl 2% v/v dan *aqua dm* (Judawisastra, 2016; Judawisastra, 2017). Pada **Gambar 1(b)** diperlihatkan bilah bambu hasil pengeringan memakai tungku (*muffle*) (**Gambar 1a**) pada suhu 105°C selama 1 jam sebelum diproses secara mekanik pada suhu ruangan menggunakan mesin *softening* (**Gambar 1c**) diikuti *finishing* melalui proses *combing* menggunakan sisir kawat sampai diperoleh sampel serat bambu (**Gambar 1d**) untuk selanjutnya, serat dialkalisasi dengan variasi konsentrasi larutan NaOH.

Alkalisasi dan Karakterisasi Serat

Proses alkalisasi serat bambu petung dilakukan dengan variasi konsentrasi larutan NaOH 3%, 5%, dan 10% v/v, dan *blanko* (NaOH 0%) sebagai pembanding. Proses alkalisasi dimulai dengan merendam serat bambu hasil ekstraksi pada suhu 25°C selama 30 menit. Serat bambu dikeringkan

di dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam. Kemudian serat bambu dicuci dengan air destilat dan dinetralkan dengan larutan HCl 2% v/v. Selanjutnya serat bambu hasil alkalisasi dikarakterisasi sifat fisik, sifat mekanik, dan sifat kimianya di laboratorium metalurgi ITB dan Pusat Survei Geologi Bandung, Balai Besar Tekstil, dan laboratorium kimia analitik ITB.

Karakterisasi sifat fisik meliputi pengamatan morfologi serat melalui pengukuran diameter serat dibawah mikroskop optik dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) JEOL JSM-6360LA dan uji densitas menggunakan metode piknometri ASTM D3171. Sifat mekanik dikarakterisasi melalui uji tarik serat menggunakan mesin *Textechno Favigraph* sesuai ASTM D3822/3822M-14. Setelah itu serat diuji kekuatan karakteristik, s_0 dan modulus Weibull nya menggunakan persamaan (1) dan (2). C dan m masing-masing adalah konstanta dan gradien persamaan garis distribusi Weibull. Sifat kimia serat dikarakterisasi dengan metode *Fourier Transformation Infra Red* (FTIR) Prestige 21 Shimadzu, untuk melihat adanya perubahan gugus fungsi pada permukaan serat setelah proses alkalisasi.

$$C = -m \ln \sigma_0 \quad \dots (1)$$

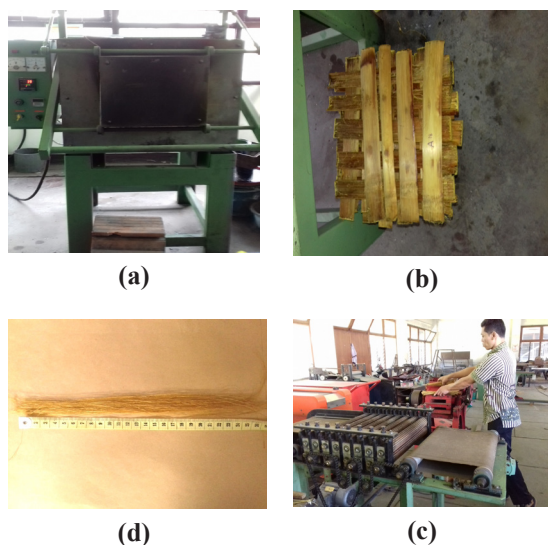
atau

$$\sigma_0 = \exp^{(-C/m)} \quad \dots (2)$$

Hasil dan Pembahasan

Morfologi dan Densitas Serat

Hasil karakterisasi morfologi serat pada kondisi *blanko* dan variasi larutan NaOH 3 ~ 10% ditunjukkan pada **Tabel 1**. Pengaruh perlakuan alkalisasi pada densitas serat bambu petung yang dihasilkan paling tinggi (1,3 g/mm³) dicapai menggunakan larutan NaOH 5% v/v dengan peningkatan sebesar 24% dibandingkan *blanko*. Kontribusi positif alkalisasi terhadap kekuatan tarik serat dikarenakan alkalisasi mengurangi keberadaan hemiselulosa, lignin, *wax*, garam-garam anorganik dan minyak yang menutupi permukaan serat (Yuan, 2012). Namun pengaruhnya tidak tampak pada serat bambu yang dialkalisasi dengan larutan NaOH 10% v/v karena densitas kembali menurun (1,24 g/mm³). Hal ini dapat diprediksi bahwa persentase alkali



Gambar 1. Peralatan dan Hasil Ekstraksi Serat Bambu menggunakan Metoda Kimia-Mekanik

Tabel 1. Densitas (ρ) dan Diameter Serat (\emptyset) Bambu Sebelum dan Setelah Perlakuan Alkalisasi

Sample	Konsentrasi larutan NaOH			
	0%	3%	5%	10%
r (g/mm ³)	1,05	1,28	1,3	1,24
\emptyset (mm)	232±99	181±54	175±58	172±55

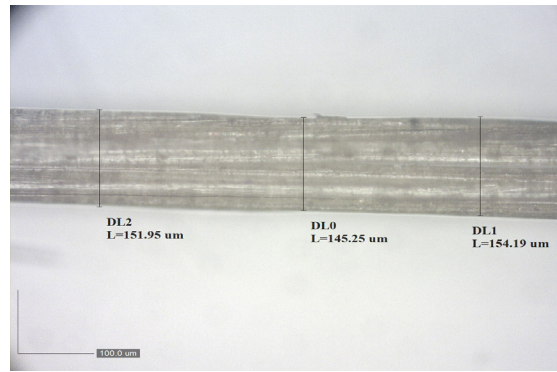


Gambar 2. Perubahan Fisik Serat Bambu pada Tingkat Alkalisasi dengan Larutan NaOH 10% v/v

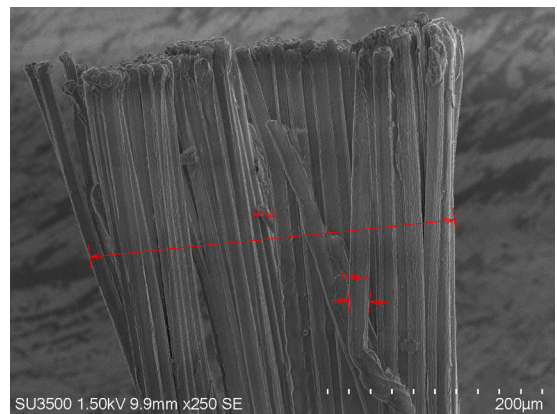
mencapai optimum pada larutan NaOH 5% v/v dengan adanya bukti fisik (**Gambar 2**) berupa rusaknya fisik serat bambu dari berbentuk lurus (Larutan NaOH 5%) menjadi kusut (larutan NaOH 10%). Perlakuan alkalisasi berpengaruh pula pada penurunan diameter serat hingga 26% (**Tabel 1**) dan mencapai minimum (172±55 mm) pada perlakuan alkali dengan larutan NaOH 10% v/v.

Visualisasi serat pada spesimen yang sama disajikan pada **Gambar 3**, di bawah mikroskop optik (a) dan hasil uji SEM (b), yang menampilkan perbedaan morfologi diameter serat bambu petung. Orde diameter serat hasil uji di bawah mikroskop optik yaitu dalam kisaran 145~154 mm sedangkan hasil uji SEM menampilkan ukuran puluhan mikron (19,5 mm). Hasil penelitian (Lu *et al.*, 2013) menyebutkan bahwa diameter serat dengan orde ratusan mikron termasuk ke dalam kategori bundel serat (*fiber bundle*), sedangkan orde serat puluhan mikron (19 mm) untuk serat bambu petung (*Dendrocalamus asper*) dikategorikan sebagai serat tunggal (*ultimate fiber*) (Brink, 2008).

Hasil uji diameter serat yang diperoleh dapat menunjukkan serat yang dihasilkan melalui metode ekstraksi kimia-mekanik pada penelitian ini adalah berupa bundel serat dan bukan serat tunggal.



(a)



(b)

Gambar 3. Morfologi Bundel dan Serat Tunggal Bambu Petung dibawah Mikroskop Optik (a) dan Hasil Uji SEM (b)

Sifat Mekanik Serat Bambu Petung

Pada studi ini sifat mekanik serat bambu petung diperoleh melalui hasil pengujian kekuatan tarik (s) dan hasil perhitungan kekuatan karakteristik (s_o) dan modulus Weibull (m). Kekuatan karakteristik mewakili kekuatan retak pada saat kegagalan serat mulai terjadi dan modulus Weibull mewakili faktor bentuk atau keluasan sebaran data (Trujillo *et al.*, 2012)

Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian sifat mekanik serat bambu petung pada variasi komposisi larutan NaOH. Alkalisasi dengan larutan NaOH 5% dapat meningkatkan 55% kekuatan tarik (s) serat bambu petung dari serat blanko (247 MPa) menjadi 385 MPa. Begitu juga kekuatan karakteristik (s_o) meningkat sebesar 63% dari blanko (240 MPa) menjadi 391 MPa. Kecenderungan ini sejalan dengan hasil penelitian terdahulu (Kessler, 2014; Yousif, 2016; Oushabi *et al.*, 2017),. Wong (2010) melaporkan bahwa

pada alkalisasi serat bambu dengan larutan NaOH 5% v/v menunjukkan kinerja terbaiknya dari sisi kekuatan tarik dan modulus elastisitas. Menurut Oushabi (2017), alkalisasi dengan larutan NaOH 5% memberikan penguatan sifat mekanik serat hayati hampir 67%, dan serat yang dialkalisasi dengan larutan NaOH 6% masih menampilkan kekuatan komposit *polyester* yang baik (Kumar, 2017).

Pada tingkat alkalisasi dengan larutan NaOH 10% v/v terjadi penurunan sifat mekanik serat sebesar 36% dan 28%. Penurunan ini diduga akibat adanya perubahan fisik serat seperti ditunjukkan pada **Gambar 2**. Hal ini didukung oleh data (Wang, 2017) yang mengonfirmasi bahwa untuk serat bambu, konsentrasi larutan NaOH 7% v/v telah memberi efek negatif penghilangan selulosa secara parsial. Hilangnya selulosa yang berpengaruh terhadap kekuatan ini dapat menurunkan kekuatan tarik serat alam. Kerusakan serat dengan penggunaan larutan NaOH 10% ditemukan pula pada hasil penelitian Oushabi (2017).

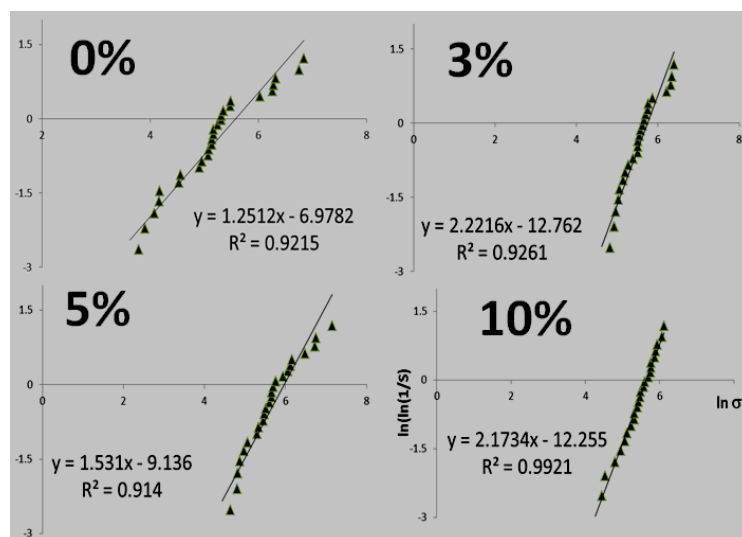
Rentang kekuatan tarik serat bambu petung yang diperoleh pada penelitian ini, yaitu 246 ~ 385 MPa, dapat dikatakan bahwa serat yang diuji merupakan bundel serat. Hal ini sesuai dengan hasil temuan (Ge *et al.*, 2012), yaitu antara 8 ~ 836 MPa.

Variabilitas data serat alam dapat ditentukan dengan pola distribusi Weibull (Trujillo *et al.*, 2012). Semakin besar harga modulus Weibull

Tabel 2. Kekuatan Tarik dan Kekuatan Karakteristik Serat Bambu Petung sebelum dan setelah Perlakuan Alkalisasi

Deskripsi	Larutan NaOH			
	0%	3%	5%	10%
σ (MPa)	247	268	385	246
Standar deviasi	234	134	379	106
m	1,286	2,222	1,531	2,173
σ_0 (MPa)	240	312	391	281
R^2	0,931	0,926	0,914	0,992

(m), semakin seragam sebaran datanya. Untuk serat sintetis seperti serat gelas harga m berkisar antara 5 ~ 15 mengindikasikan bahwa diameter seratnya relatif seragam (Defroit, 2010). **Gambar 4** menunjukkan tren variabilitas data serat bambu petung sebagai fungsi tingkat alkalisasi. Gradien persamaan garis dengan nilai m berkisar antara 1,3 ~ 2,2. Rentang nilai m serat bambu ini masih lebih kecil daripada serat hayati secara umum (Defroit, 2010), yaitu antara 1~6, yang berarti bahwa variabilitas data serat bambu petung masih besar. Kondisi ini bisa diakibatkan cacat pada permukaan serat bambu yang disebabkan teknik ekstraksi serat kimia mekanik. Perlakuan alkalisasi dengan larutan NaOH berpengaruh pada peningkatan linearitas data (nilai R^2). **Gambar 4** menunjukkan bahwa serat dengan perlakuan alkalisasi dengan larutan NaOH 10% v/v ($R^2 = 0,992$) memberikan linearitas data terbaik.



Gambar 4. Nilai Modulus Weibull (m) dengan Variasi Perlakuan Alkalisasi Serat

Karakterisasi FTIR

Hasil karakterisasi FTIR (**Gambar 5**) menunjukkan adanya pengaruh alkalisasi serat terhadap ketinggian *peak absorbance* pada bilangan gelombang selulosa ($896,9\text{ cm}^{-1}$) (Wong, 2016). Menurut hasil penelitian (Damanik, 2007) modifikasi serat dengan penambahan NaOH akan menimbulkan gugus fungsi alkoksida (NaO^+) pada serat selulosa yang awalnya hanya memiliki gugus hidroksil (OH).

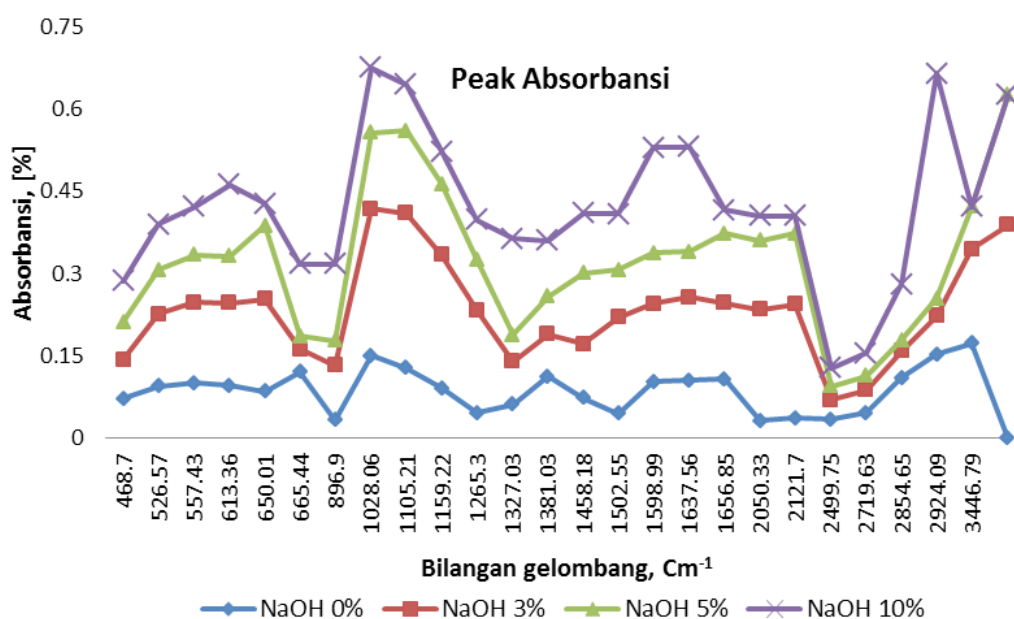
Pada **Gambar 5** menunjukkan peningkatan *peak absorbance* di posisi bilangan gelombang 896 cm^{-1} seiring kenaikan persentase alkalisasi. Hasil revidu Kalia (2009) menyebutkan bahwa peningkatan ini terkait dengan semakin tingginya nilai kristalinitas serat yang membuat serat semakin kuat dan kaku.

Menurut Peng (2010) perlakuan alkalisasi dapat menurunkan persentase lignin hingga 20% dan memperbaiki *interfacial strength* sebagai kontributor peningkatan kekuatan tarik komposit. Alkalisasi juga dapat memperkuat *internal bonding strength* dan menurunkan hidrofilitas serat bambu sehingga terjadi peningkatan daya ikat antar muka serat – matriks. (Zhang, 2015) melaporkan penurunan hemiselulosa dan lignin berakibat peningkatan selulosa sebagai kontributor kekuatan tarik dan densitas. Alkalisasi juga mengurangi sifat hidrofil serat bambu dan memperbaiki kualitas ikatan antarmuka. Dari

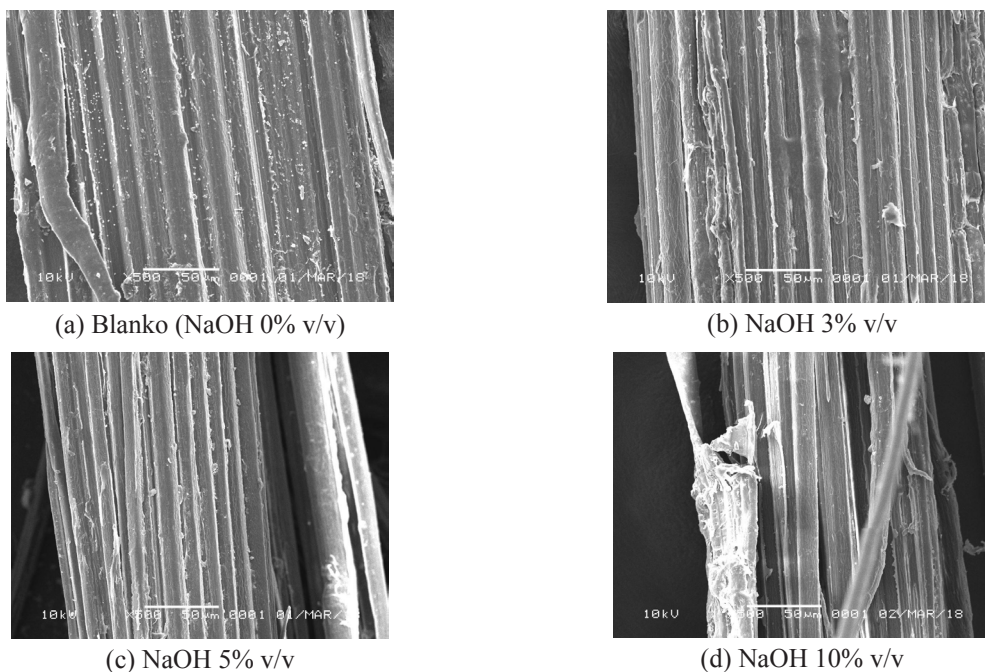
perubahan morfologi mikro hasil alkalisasi diperoleh perluasan permukaan serat yang menjadi area *interlocking* antara serat dengan matriks. Semakin luas area *interlocking* dari serat hasil alkalisasi akan semakin memperkuat komposit yang dihasilkan.

Hasil temuan di atas seolah kontraproduktif terhadap hasil uji tarik serat (**Tabel 2**) dimana kekuatan tarik menurun dari 385 MPa (larutan NaOH 5% v/v) menjadi 246 MPa (larutan NaOH 10%v/v) seiring dengan kenaikan persentase konsenrasi NaOH. Hal tersebut dapat dikonfirmasi melalui hasil uji SEM pada serat hasil perlakuan alkalisasi (**Gambar 6**).

Pada **Gambar 6(a) – (d)** dapat dilihat bahwa seiring kenaikan konsentrasi larutan NaOH dari 0% hingga 10% terjadi pengurangan lignin di permukaan serat yang ditampilkan melalui morfologi serat tunggal dimana semakin tampak bersih dan jelas. Hal ini sejalan dengan hasil uji tarik serat (**Tabel 2**) yang meningkatkan kekuatan tarik serat dari 247 MPa (larutan NaOH 0%) hingga 385 MPa (larutan NaOH 5%). Namun pada penggunaan larutan NaOH 10% (d) sebagian serat telah mengalami kerusakan berupa penguraian serat tunggal yang terputus dalam satu sumbu. Hal ini yang menyebabkan penurunan kekuatan tarik serat bambu petung dari 385 MPa (larutan NaOH 5%) menjadi 246 MPa (larutan NaOH 10%).



Gambar 5. Pengaruh Alkalisasi Serat terhadap Ketinggian *Peak Absorbansi*



Gambar 6. Morfologi Serat Bambu Petung Hasil Uji SEM Hasil Perlakuan Alkalisasi

Kesimpulan

Serat bambu petung yang dihasilkan melalui proses ekstraksi dengan metode kimia-mekanik memiliki karakteristik serat yang bervariasi tergantung pada perlakuan alkalisasinya. Berdasarkan hasil karakterisasi diameter serat dan kekuatan tarik, serat bambu yang dihasilkan adalah berupa bundel serat. Berdasarkan capaian kekuatan tariknya, kondisi optimum proses alkalisasi serat bambu petung adalah menggunakan larutan NaOH 5%v/v yang memiliki kekuatan tarik 384 MPa, diameter serat $175,098 \pm 58,017$ mm, dan kekuatan karakteristik 390,5 MPa.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terselenggara dengan bantuan dana hibah Penelitian Kerjasama Antar Perguruan Tinggi (PEKERTI) tahun anggaran 2017 yang berasal dari Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristekdikti. Untuk itu, kami mengucapkan terima kasih kepada Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat.

Daftar Pustaka

Abdul Khalil, H. P. S. *et al.* (2012) 'Bamboo fibre reinforced biocomposites: A review', *Materials and Design*, pp. 353–368. doi: 10.1016/j.matdes.2012.06.015.

- Brink, M. (2008) 'Dendrocalamus asper - PROTA database - PlantUse.pdf'. PROTA Network Office Europe, pp. 1–34.
- Cruz, J. M. (2015) 'Giant Bamboo Fiber Reinforced Epoxy Composite in Multilayered Ballistic Armor', *Materials Research*, 18(2), pp. 70–75. doi:10.1590/1516-1439.347514.
- Damanik, F. S. (2007) *Pengaruh kelembaban dan alkalisasi serat terhadap kekuatan geser komposit rami-poliester*. ITB.
- Defroit, N. *et al.* (2010) 'Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre', *Compos. Pt. A-Appl. Sci. Manuf.*, 41(5), pp. 588–595.
- Ge, W. *et al.* (2012) 'Tensile Properties Of Bamboo Units In Different Sizes', in *Proceedings of the 55th International Convention of Society of Wood Science and Technology August 27-31, 2012 - Beijing, CHINA*, pp. 1–12.
- H.Judawisastra, H., Wibowo, U.A., Putratama, A. (2016) 'Karakteristik Sifat Tarik Serat Bambu Petung (*Dendrocalamus asper*)', in Proc., in *Seminar Nasional Seminar Nasional Metalurgi dan Material (SENAMM) IX*. Cilegon, West Java: ISSN: 2541-0725.
- Hossen, M. F. (2011) 'Biocomposites reinforced with natural fibers 2000 - 2010', *Progress in Polymer Science*, 37(11), pp. 1552–1596.
- Joshi, S. V., M. (2004) 'Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?', *Composites: Part A*, 35, p. 371–376.

- Judawisastra, H., Sitohang, R. D. R. and Rosadi, M. S. (2017) 'Water absorption and tensile strength degradation of Petung bamboo (*Dendrocalamus asper*) fiber-reinforced polymeric composites', *Materials Research Express*. IOP Publishing, 4(9), p. aa8a0d. doi: 10.1088/2053-1591/aa8a0d.
- Kalia, S.; Kaith, B.; Kaur, I. (2009) 'Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites—A review', *Polym Eng Sci*, 49, pp. 1253–1272. doi: 10.1002/pen.21328.
- Kumar, K. K. (2017) *Handbook of Composites from Renewable Materials, Physico-Chemical*. 1st edn. New Jersey: Willey Scrivener Publishing.
- Lu, T. *et al.* (2013) 'Composites : Part B Effect of surface modification of bamboo cellulose fibers on mechanical properties of cellulose / epoxy composites', *Composites Part B*, 51, pp. 28–34. doi: 10.1016/j.compositesb.2013.02.031.
- Misra (2011) 'Bioplastics and Green Composites from Renewable Resources. Where we are and Future Directions.', in *18th International Conference on Composite Materials*. Jeju Island, Korea: Elsevier.
- Nozari, O. *et al.* (2013) 'Mechanical Properties and Water Uptake of Nanoclay / Wood Flour / LDPE Composites After Fiber Surface Mercerization', *Cellulose Chemistry and Technology*, 47(3–4), pp. 295–301.
- Osorio, L. *et al.* (2011) 'Morphological aspects and mechanical properties of single bamboo fibers and flexural characterization of bamboo/epoxy composites', *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 30(5), pp. 396–408. doi: 10.1177/0731684410397683.
- Oushabi, A. *et al.* (2017) 'The effect of alkali treatment on mechanical, morphological and thermal properties of date palm fibers (DPFs): Study of the interface of DPF e Polyurethane composite', *South African Journal of Chemical Engineering*. Elsevier Ltd, 23, pp. 116–123. doi: 10.1016/j.sajce.2017.04.005.
- Peng, X. *et al.* (2010) 'Laccase and alkali treatments of cellulose fibre: Surface lignin and its influences on fibre surface properties and interfacial behaviour of sisal fibre/phenolic resin composites.', *Composites Part A*, 41(12), pp. 1848–1856.
- Refiadi, G. and Judawisastra, H. (2013) 'Optimasi Produk Komposit Polimer Vacuum Assisted Resin Infusion (VARI) menggunakan Metode Taguchi', *Jurnal Teknologi Bahan dan Barang Teknik*, 3(2), pp. 69–76.
- Sugesty, S., *et al.* (2014) 'Bamboo as raw materials for dissolving pulp with environmental friendly technology for rayon fiber. on Chemistry', in *3rd International Seminar Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences*. Padjadjaran University, pp. 194–199.
- Thakur, Vijay Kumar; Thakur, Manju Kumari; Kessler, M. R. (ed.) (2014) *Handbook of Composites from Renewable Materials, Vol.4 Functionalization*. Willey.
- Trujillo, E. *et al.* (2012) 'Weibull statistics of bamboo fibre bundles: methodology for tensile testing of natural fibres', in *European Conference on Composite Materials*. Venice, Italy.
- Viel, Q (2013) *Interface properties of bio-based composites of polylactic acid and bamboo fibers*. Available at: <https://www.google.com/l?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiqlbCOvZnbAhVFU30KHUcIAqwQFggnMAA&url=https%3A%2F%2Fdigitalcommons.unl.edu%2Fmechengdiss%2F56%2F&usg=AOvVaw09UIXWdfT4wQOOEcqzDzPA>.
- Vuure, A. W. van and Osorio, L. (2013) 'Long Bamboo Fibre Composites', in *18TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPOSITE MATERIALS*, p. 25.
- Wang, X., Keplinger, T., Gierlinger, N., Burgert, I. (2014) 'Plant material features responsible for bamboo's excellent mechanical performance: a comparison of tensile properties of bamboo and spruce at the tissue, fibre and cell wall levels', *Annals of Botany*, 114(8), pp. 1627–1635.
- Wang, F., Zhou, S. and Yang, M. (2017) 'Enhancing the morphological and mechanical properties of bamboo fibers', *Plastic Research Online*, pp. 14–16. doi: 10.3390/polym6123005.
- Wong, K. J., Yousif, B. F. and Low, K. O. (2016) 'The effect of alkali treatment on the interfacial adhesion of bamboo fiber', *J Mater Des Appl*, 224, pp. 139–148.
- Yan, Libo; Chow, Nawawi; Yuan, X. (2012) 'Improving the mechanical properties of natural fiber fabric reinforced epoxy composites by alkali treatment', *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 31(6), pp. 425–437.
- Yeasmin, Lucina., Md. Nasim Ali, Saikat, Gantait., Chakraborty, S. (2015) 'Bamboo: an overview on its genetic diversity and characterization', *3 Biotech*, 5(1), pp. 1–11. doi: 10.1007/s13205-014-0201-5.
- Zhang, X., Wang, F. and Keer, L. M. (2015) 'Influence of surface modification on the microstructure and thermo-mechanical properties of bamboo fibers', *Materials*, 8, pp. 6597–6608. doi: 10.3390/ma8105327.