

## Optimalisasi Komposit Matriks UPRS Ramah Lingkungan Berpenguat *Cocofiber* Dengan Penambahan *Clay*

Xander Salahudin\*, Sri Hastuti, Nani Mulyaningsih, Isro Nurul Hadi, Tegar Armanto  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar,  
Jalan Kapten Suparman 39 Magelang  
\*E-mail: xander@untidar.ac.id

Diajukan: 31-10-2022; Diterima: 16-04-2023; Diterbitkan: 20-04-2023

### Abstrak

Material komposit ramah lingkungan dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan industri, seperti pada industri otomotif, penerbangan dan konstruksi. Pengembangan material komposit mengarah pada penggunaan material yang *biodegradable*, seperti sabut kelapa. Sabut kelapa merupakan material ramah lingkungan yang terdiri dari serbuk sabut kelapa dan serat sabut kelapa (*cocofiber*). Komposisi sabut kelapa memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan komposit. Keuntungan menggunakan komposit antara lain material ringan, tahan korosi, tahan terhadap air, dan tanpa proses permesinan. Selain itu, terdapat material geopolimer seperti genteng sokka/lempung yang memiliki potensi sebagai material alternatif komposit berpenguat *hybrid*, yang dapat digunakan untuk meningkatkan sifat mekanik material komposit. Komposit berpenguat serat alam memiliki kekuatan 40% lebih kuat dan lebih ringan dari pada komposit serat gelas. Oleh karena itu, material komposit serat alam dapat diproyeksikan menjadi material alternatif pengganti komposit serat sintetis. Penelitian dilakukan pada komposit dengan matriks UPRS berpenguat serat sabut kelapa dan penambahan *clay particle*. *Clay particle* diperoleh dari genteng sokka yang dijadikan serbuk halus dengan ukuran mesh 200. Perlakuan serat sabut kelapa yaitu perendaman 15% NaOH selama 5 jam. Variasi komposisi komposit dengan perbandingan Matriks UPRs: *clay particle*: *cocofiber* yaitu 60%: 0%: 40%, 60%: 10%: 30%, 60%: 20% : 20%, dan 60%: 30%: 10%. Pengujian mekanik yang dilakukan pada spesimen komposit yaitu uji impak. Pembuatan spesimen mengacu pada standar ASTM D6110. Hasil penelitian didapatkan energi serap tertinggi dan nilai ketangguhan impak tertinggi pada komposit dengan perbandingan fraksi volume matriks : clay : cocofiber sebesar 60%: 0%: 40%, dengan energi serap rata-rata 2,42 Joule dan nilai ketangguhan impak rata-rata 0,0235 J/mm<sup>2</sup>. Hasil ini dikuatkan dengan pengamatan penampang patahan uji impak, dimana terlihat jumlah serat yang dominan dibanding variasi yang lain dan cukup dominan serat pada kondisi putus (*fiber break*).

**Kata kunci** : *cocofiber*; geopolimer; impak; komposit

### Abstract

The development of composites leads to biodegradable reinforcing composites, such as cocofiber. The composition of cocofiber has the potential to be used as a composite material. The advantages of using natural fiber composites are lightweight, corrosion-resistant, water-resistant, and without machining processes. In addition, there are geopolymer materials such as clay that have potential as alternative materials for hybrid reinforced composites, which can be used to improve the mechanical properties of composite materials. Natural fiber reinforced composites are 40% stronger and lighter than glass fiber composites. Therefore, natural fiber composite materials can be projected as an alternative material to replace synthetic fiber composites. The research was conducted on composites with UPRs matrix reinforced with cocofiber with the addition of clay particles. Clay particle is obtained from sokka tile fragments which is made into a fine powder with a mesh size of 200. The treatment of cocofiber is soaking in 15% NaOH for 5 hours. The composite variation in the study is the comparison of the UPRs Matrix: clay particle: cocofiber are 60%: 0%: 40%, 60%: 10% : 30%, 60%: 20% : 20%, and 60%: 30% : 10%. Mechanical tests performed on composite specimens is impact test. Specimen manufacture refers to ASTM D6110 standards. The results showed that the highest energy absorption and the highest impact toughness was obtained in the composite with a volume fraction ratio of matrix: clay: cocofiber of 60%: 0%: 40%, with an average absorption energy of 2.42 Joules and an average impact toughness value of 0.0235 J/mm<sup>2</sup>. This result is in line with the observation of the impact test fracture, which shows the dominant fiber number compared to other variations and the fiber at breaking condition.

**Keywords**: *cocofiber*; composite; geopolymer; impact

### 1. Pendahuluan

Material komposit ramah lingkungan sekarang ini semakin digalakan untuk memenuhi kebutuhan industri baik industri otomotif, penerbangan, kelautan, maupun konstruksi. Komposit berdasarkan klasifikasi matriks terdapat 3 jenis yaitu komposit matriks polimer, logam, dan keramik. Dalam material komposit selain matriks terdapat juga penguat

yang digunakan terdiri dari beberapa jenis penguat yaitu *partikulat composite*, *fiber composite*, dan *structural composite*. Keuntungan menggunakan komposit antara lain material ringan, tahan korosi, tahan terhadap air, *performance* menarik, dan tanpa proses permesinan [1]. Konsep *back to nature* pun semakin digalakkan. Bahkan anjuran FAO kepada dunia industri dengan dideklarasikannya *International Year of Natural Fibres 2009 (IYNF 2009)* oleh FAO pada tanggal 20 Desember 2006 menganjurkan agar mulai tahun 2009 sudah menggunakan bahan/material baku ramah lingkungan dan mudah terurai. Komposit serat alam dapat didaur ulang, sehingga sejalan dengan program lingkungan pemerintah yaitu “*go green*” [2] [3].

Industri otomotif sekarang ini berkembang pesat di negara maju seperti Jepang dan Tiongkok/ Republik Rakyat Cina. Kendaraan listrik semakin digemari masyarakat, karena ramah lingkungan, konstruksi ringan, dan mudah dalam perawatan. Kendaraan listrik seperti sepeda listrik, mobil listrik, bus listrik sampai kereta listrik sekarang ini inovasi semakin berkembang di berbagai negara. Kendaraan mobil listrik membutuhkan konstruksi yang ringan untuk menghemat energi, sehingga dibutuhkan material konstruksi kendaraan mobil listrik yang ringan seperti penggunaan material komposit [1]. Material komposit serat alam merupakan material alternatif yang sangat menguntungkan jika dibandingkan dengan material komposit serat sintetis. Serat alam digunakan sebagai penguat komposit tersebut mempunyai berbagai keunggulan, diantaranya yaitu pengganti serat buatan, harga murah, mudah diproses, mampu meredam suara, ramah lingkungan, mempunyai densitas rendah, mampu diuraikan secara biologis, dan kemampuan mekanik tinggi yang dapat memenuhi kebutuhan industri [4] [5]. Selain itu, komposit berpenguat serat alam memiliki kekuatan 40% lebih kuat dan lebih ringan dari pada komposit serat gelas. Oleh karena itu, material komposit serat alam dapat diproyeksikan menjadi material alternatif pengganti komposit serat sintetis. Serat alam memiliki sifat hidropilik (suka terhadap air) sulit berikatan dengan matriks yang bersifat hidropik (tidak suka air) [3].

Pohon kelapa tanaman yang tumbuh di wilayah tropis seperti Indonesia dengan nama latin *Cocos Nucifera*. Pohon kelapa menghasilkan buah yang dapat dikonsumsi manusia. Pembungkus kelapa/ sabut kelapa mempunyai prosentase yang cukup besar pada buah kelapa ditunjukkan pada Gambar 1. Sabut kelapa tersebut terdiri dari gabus/ serbuk sabut kelapa dan serat sabut kelapa (*cocofiber*) [6]. Setiap butir kelapa mengandung serat 525 gram (75% dari sabut), dan gabus 175 gram (25% dari sabut). Produksi buah kelapa Indonesia rata-rata 15,5 milyar butir/tahun atau setara dengan 1,8 juta ton serat sabut, dan 3,3 juta ton debu sabut [7]; [8]; [9]; [10]; [11], maka cukup melimpah material yang tersedia. Serat dari limbah sabut kelapa saat ini banyak digunakan untuk pembuatan sapu lantai, tali, keset lantai, dan bahan bakar alami untuk memasak oleh masyarakat. Komposisi kimia sabut kelapa terdiri atas *selulosa*, *lignin*, *pyroligneous acid*, gas, arang, *tannin*, dan *potasium* [12]. Oleh karena itu, perlu adanya terobosan baru pemanfaatan material komposit yang ramah lingkungan dengan penguat seperti serat alam dari limbah sabut kelapa. Serat sabut kelapa ditunjukkan pada Gambar 2.

Komposit terdiri dari dua bagian penyusunnya, yaitu matriks sebagai pengikat atau pelindung komposit dan *filler* sebagai penguat komposit. Matriks adalah fasa dalam komposit yang mempunyai fraksi volume terbesar. Matriks mempunyai sifat lebih *ductile* tetapi mempunyai kekuatan dan rigiditas lebih rendah. Matriks mempunyai syarat pokok jika digunakan dalam komposit yaitu matriks dapat meneruskan beban, sehingga serat dapat melekat pada matriks dan kompatibel antara serat dan matriks. Matriks dipilih yang mempunyai ketahanan panas tinggi. Serat sebagai material penguat komposit terdiri dari serat sintetis dan serat alam. Komposit berpenguat serat merupakan jenis komposit paling banyak dikembangkan [13].



**Gambar 1.** Sabut kelapa



**Gambar 2.** Serat sabut kelapa

Permukaan serat sabut kelapa mengandung banyak kotoran yang akan mempengaruhi proses ikatan (*bonding*) dengan matriks. Oleh karena itu, perlakuan kimia diperlukan dalam menghilangkan kotoran pada permukaan serat sabut kelapa dengan *treatment* perendaman NaOH. Perlakuan perendaman NaOH memberikan pengaruh pembersihan kotoran serbuk sabut kelapa, serat akan mengalami penyusutan diameter, sehingga akan meningkatkan kekuatan mekanik material penguat komposit serat alam yang ramah lingkungan [3]. Perlakuan perendaman NaOH atau alkali memberikan pengaruh topografi permukaan serat menjadi kasar dan meningkatkan *mechanical interlocking* pada komposit serat alam dan matrik *polyethylene* [14].

Teknologi komposit semakin berkembang menjadi teknologi komposit geopolimer. Hal ini merupakan terobosan teknologi menjanjikan bagi masa depan dunia perindustrian. Teknologi geopolimer memiliki keunggulan yaitu menghasilkan *binder* kinerja tinggi dari berbagai sumber aluminosilikat. Sumber aluminosilikat adalah *silica* dan *alumina* dominan terdapat pada geomaterial genteng Sokka/lempung. Geomaterial genteng sokka/lempung memiliki sifat tahan suhu api, tahan aus, ringan dan berkekuatan tinggi. Geopolimer sangat menarik karena sifat mekanik dan durabilitasnya terhadap stabilitas termal dan ketahanan terhadap asam [15]. Geopolimer memiliki daya tahan terhadap asam [16]. Oleh karena itu material geopolimer dari genteng sokka/lempung dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan sifat mekanik material komposit yang ramah lingkungan. Hal ini akan meningkatkan pemanfaatan material geopolimer dari genteng sokka/lempung sebagai material alternatif komposit berpenguat *hybrid*. Kandungan *silika* dan *alumina* memberikan sifat tahan api yang baik pada lempung sehingga dapat diaplikasikan pada rekayasa material komposit. Pecahan genteng sokka ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Pecahan genteng sokka

Pemanfaatan limbah sabut kelapa dan genteng sokka belum dilakukan secara optimal di lingkungan. Jumlah produksi buah kelapa terus meningkat seiring dengan permintaan konsumen. Permintaan genteng sokka juga meningkat sehingga produksi meningkat. Solusi strategis diperlukan untuk pemanfaatan material limbah sabut kelapa dan genteng sokka menjadi material komposit yang ramah lingkungan, melalui pembuatan komposit berpenguat serat sabut kelapa

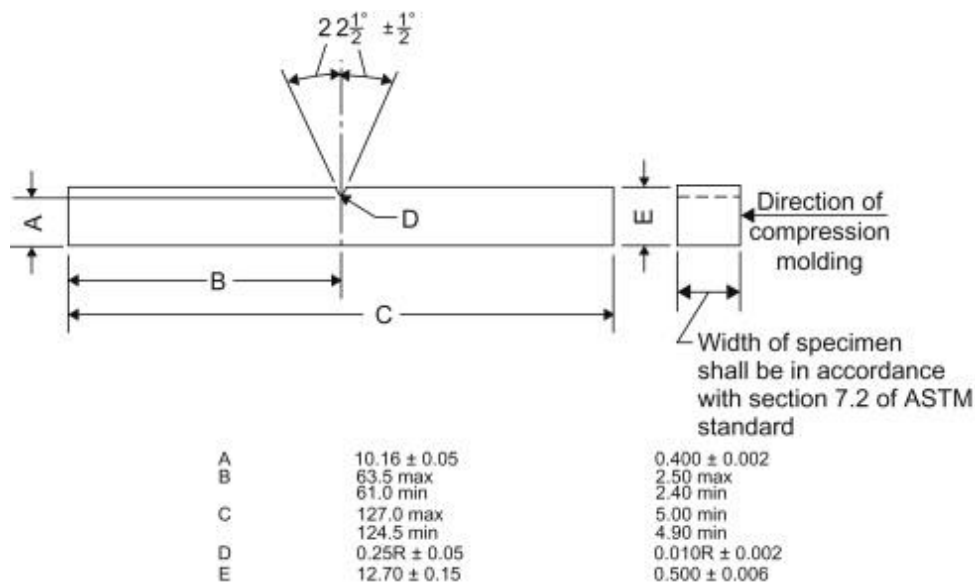
(*cocofiber*) dengan penambahan *clay particle* dari pecahan genteng sokka. Hal ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif material komposit berbahan ramah lingkungan dan mereduksi penggunaan material sintetis yang bersifat polutan. Oleh karena itu, perlu dilakukan uji mekanik material komposit ramah lingkungan berpenguat *cocofiber* dengan matriks UPRs dan penambahan *clay particle*. Pemilihan matriks Unsaturated Polyester (UPRs) type Yukalac BQTN karena cocok digunakan untuk aplikasi konstruksi ringan. Kelebihan lainnya yaitu harganya murah, dapat diwarnai, transparan, dapat dibuat kaku dan fleksibel, tahan air, tahan cuaca dan tahan terhadap bahan kimia.

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah menganalisis pengaruh fraksi volume komposit dengan matriks UPRs, *cocofiber* dan *clay particle* terhadap energi serap dan nilai ketangguhan impact. Analisis juga diperkuat dengan pengamatan penampang patahan hasil uji impact.

## 2. Material dan metodologi

Penelitian dan pembuatan spesimen uji impact dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar. Sedangkan pengujian impact dilakukan di Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta.

Kegiatan penelitian diawali dengan persiapan bahan yaitu sabut kelapa, serbuk genteng sokka (*clay particle*), matriks dan hardener, larutan NaOH, dan alat cetak komposit. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode *hand lay up*. Komposit dibuat dengan penguat serat sabut kelapa (*cocofiber*); matriks Unsaturated Polyester (UPRs) type Yukalac BQTN dengan katalis MEXPO; *clay particle* dari pecahan genteng sokka dijadikan serbuk halus dengan ukuran mesh 200. Proses perlakuan serat sebelum dicetak menjadi komposit adalah perendaman 15% NaOH selama 5 jam [17]. Penelitian dilakukan pada komposit dengan variasi fraksi volume matriks UPRs: *clay particle*: *cocofiber* adalah 60%: 0%: 40%, 60%: 10%: 30%, 60%: 20%: 20%, dan 60%: 30% : 10%. Komposit kemudian dicetak untuk dijadikan spesimen uji impact, sesuai dengan standar ASTM D6110. Dimensi spesimen uji impact dapat disaksikan pada gambar 4.



Gambar 4. Dimensi spesimen untuk uji impact [18] [19]

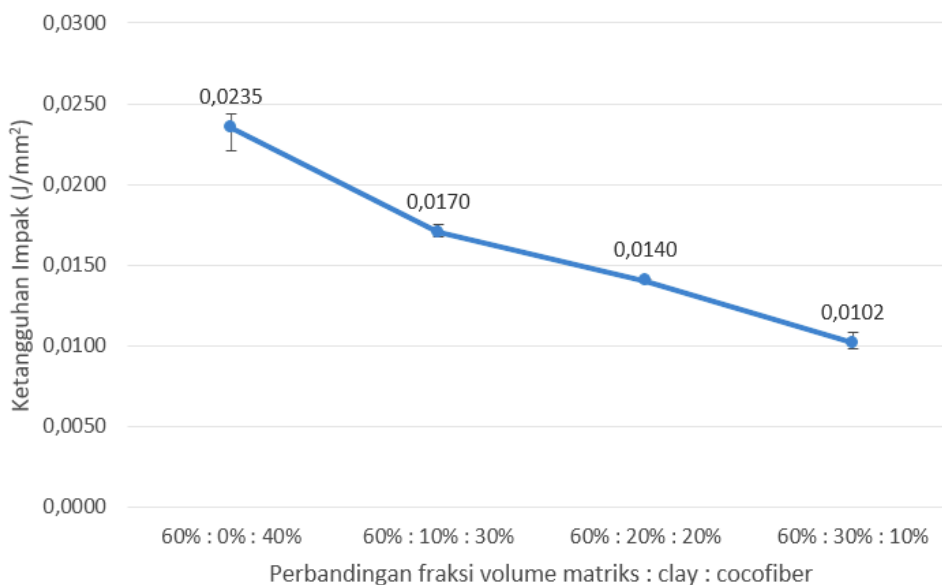
## 3. Hasil dan pembahasan

Spesimen komposit untuk uji impact dibuat sesuai standar ASTM D6110. Contoh spesimen uji impact dengan variasi fraksi volume matriks : clay : *cocofiber* sebesar 60%:0%:40% dapat disaksikan pada gambar 5.



Gambar 5. Spesimen untuk uji impact

Pengujian dilakukan pada spesimen uji impact dengan 5 kali pengulangan. Data hasil pengujian kemudian digunakan untuk menentukan ketangguhan impact komposit, yang disajikan pada Gambar 6.



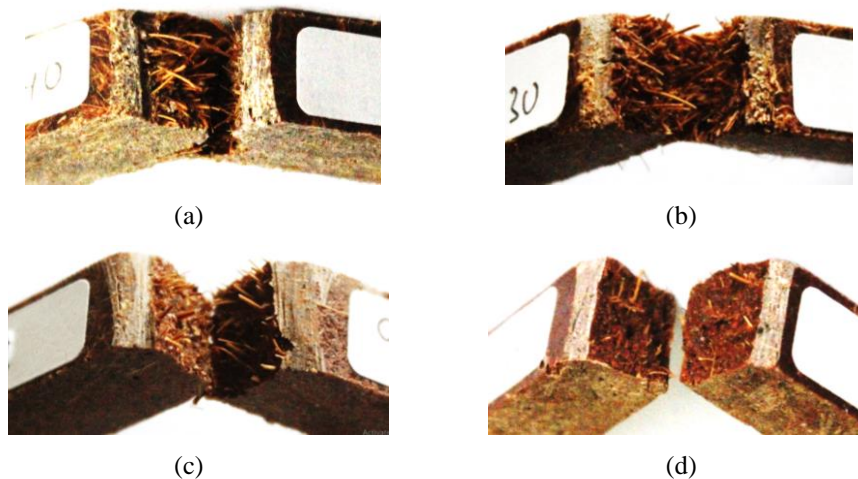
Gambar 6. Grafik pengaruh perbandingan fraksi volume komposit terhadap ketangguhan impact

Gambar 6 menunjukkan pengaruh perbandingan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* terhadap nilai ketangguhan impact. Komposit dengan perbandingan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%:0%:40% memiliki nilai ketangguhan impact rata-rata 0,0235 J/mm<sup>2</sup>. Komposit dengan perbandingan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%:10%:30% memiliki nilai ketangguhan impact rata-rata 0,017 J/mm<sup>2</sup>. Komposit dengan perbandingan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%:20%:20% memiliki nilai ketangguhan impact rata-rata 0,014 J/mm<sup>2</sup>. Komposit dengan perbandingan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%:30%:10% memiliki nilai ketangguhan impact rata-rata 0,0102 J/mm<sup>2</sup>. Jika dibandingkan dengan penelitian pada komposit serat dari sabut kelapa dengan matriks UPRs 157 BQTN tanpa ada filler *clay* yang dilakukan Hastuti dkk, diperoleh nilai ketangguhan impact tertinggi sebesar 0,017588 J/mm<sup>2</sup>. Terlihat bahwa variasi perbandingan fraksi volume matriks : *clay* : *cocofiber* pada komposit sebesar 60%:0%:40% menghasilkan nilai ketangguhan impact yang lebih tinggi dibandingkan penelitian rujukan sebelumnya [20].



Gambar 6 menunjukkan nilai ketangguhan impact tertinggi diperoleh pada variasi dengan jumlah serat paling banyak, yaitu perbandingan fraksi volume matriks : clay : cocofiber sebesar 60%:0%:40%. Hal ini menunjukkan bahwa variasi tersebut mampu menyerap energi kejut paling tinggi dibandingkan variasi yang lain, dikarenakan karakteristik serat yang memiliki kelebihan dalam meredam energi kejut, dibandingkan dengan matriks dan clay yang memiliki sifat getas dan kurang dalam meredam energi kejut.

Pengamatan foto makro dilakukan pada permukaan spesimen hasil uji impact. Hasil foto makro permukaan spesimen hasil uji impact dapat disaksikan pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Penampang patahan hasil uji impact

Gambar 7 (a) menunjukkan pada penampang patahan hasil uji impact dengan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%: 0%: 40%, terlihat jumlah serat yang dominan dan cukup dominan serat pada kondisi putus (*fiber break*). Pada penampang patahan hasil uji impact dengan fraksi volume matriks : *clay* : *cocofiber* sebesar 60%:10%:30%, seperti terlihat pada gambar 7 (b), serat masih dominan pada kondisi putus (*fiber break*), dan sudah mulai terlihat distribusi serat yang lebih baik dibandingkan komposit dengan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%: 0%: 40%. Pada penampang patahan hasil uji impact dengan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%: 20%: 20%, seperti terlihat pada gambar 7 (c), tampak distribusi serat, *clay* dan serat lebih merata, juga ditandai dengan kondisi serat yang cukup dominan pada kondisi putus (*fiber break*). Pada penampang patahan hasil uji impact dengan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%: 30%: 10%, seperti terlihat pada gambar 7 (d), jelas sekali terlihat kondisi serat yang sangat dominan pada kondisi putus (*fiber break*). Namun jumlah serat yang minim menyebabkan komposit cenderung lebih getas dibandingkan variasi yang lain, ditandai dari kondisi komposit yang patah ketika dilakukan uji impact.

#### 4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah energi serap tertinggi dan nilai ketangguhan impact tertinggi diperoleh pada komposit dengan perbandingan fraksi volume matriks: *clay*: *cocofiber* sebesar 60%: 0%: 40%, dengan energi serap rata-rata 2,42 Joule dan nilai ketangguhan impact rata-rata 0,0235 J/mm<sup>2</sup>. Nilai energi serap tertinggi dan nilai ketangguhan impact tertinggi diperoleh karena jumlah fraksi volume serat pada variasi ini merupakan yang tertinggi. Hal ini dikarenakan karakteristik serat kelapa yang memiliki kelebihan dalam meredam energi kejut, dibandingkan dengan matriks dan clay yang memiliki sifat getas dan kurang dalam meredam energi kejut. Hasil ini dikuatkan dengan pengamatan penampang patahan uji impact, dimana terlihat jumlah serat yang dominan dibanding variasi yang lain dan cukup dominan serat pada kondisi putus.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rektor Universitas Tidar, Dekan Fakultas Teknik Universitas Tidar, Ka. LPPM-PMP Universitas Tidar, tim pelaksana penelitian, dan semua pihak yang telah membantu penulis.

## Daftar Pustaka

- [1] Diharjo, K., 2013, Adhesive Nanosilica/Aluminium Powder - Epoxy for Joint Application on Composite Car Body of Electrical Vehicle, IEEE 2013, Joint International Conference on Rural Information & Communication Technology and Electric-Vehicle Technology (rICT & ICeV-T) November 26-28, Bandung-Bali, Indonesia.
- [2] Wagenugraha, 2008, Material Komposit Tangguh Berbasis Serat Alam. <http://www.wagenugraha.wordpress.com/2008/09/21/materikomposit-tangguh-berbasis-serat-alam/>.
- [3] Arsyad, M., dan Salam, A., 2017. Analisis Pengaruh Konsentrasi Larutan Alkali Terhadap Perubahan Diameter Serat Sabut Kelapa. *Journal INTEK*, April 2017, Volume 4 (1): 10-13.
- [4] Wijoyo, 2013, Pengaruh Jumlah Lamina Terhadap Kekuatan Bending Komposit Sandwich Serat Aren-Polyester dengan Core Pelelah Pohon Pisang, Fakultas Teknik Universitas Surakarta.
- [5] Kusumastuti, A., 2009, Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer, Jurusan Teknologi Jasa dan Produksi, Universitas Negeri Semarang, *Jurnal Kompetensi Teknik* Vol. 1, No. 1, November 2009.
- [6] Indahyani, T., 2011, pemanfaatan limbah sabut kelapa pada perencanaan interior dan furniture yang berdampak pada pemberdayaan masyarakat miskin, *Humaniora* Vol.2 No.1 April 2011: 15-23.
- [7] Agustian, A., Friyatno, S., Supadi, & Askin, A., 2003, Analisis pengembangan agroindustri komoditas perkebunan rakyat (kopi dan kelapa) dalam mendukung peningkatan daya saing sektor pertanian, *Makalah Seminar Hasil Penelitian Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial Ekonomi Pertanian Bogor*. T.A. 38.
- [8] Allorerung, D., dan Lay, A., 1998, Kemungkinan pengembangan pengolahan buah kelapa secara terpadu skala pedesaan, *Prosiding Konperensi Nasional Kelapa IV*, Bandar Lampung 21 – 23 April 1998 Pp.327 – 340.
- [9] Anonim, 2000, Hasil pengkajian sabut kelapa sebagai hasil samping, Jakarta: Bank Indonesia, 15 hal.
- [10] Nur, I. I., Kardiyono, U., dan Aris. A., 2003, Pemanfaatan limbah debu sabut kelapa dalam usaha tani padi pasang surut. *Kelembagaan Perkelapaan di Era Otonomi Daerah, Prosiding Konferensi Nasional Kelapa V*. Tembilahan, 22 – 24 Oktober 2003.
- [11] APCC, 2003, *Coconut statistical yearbook 2002*, Asia Pacific Coconut Community.
- [12] Rindengan, B., dkk, 1995. Karakterisasi daging buah kelapa hibrida untuk bahan baku industri makanan, *Laporan Hasil Penelitian, Kerjasama Proyek Pembinaan Kembangan Penelitian Pertanian Nasional*. Badan Litbang 49p.
- [13] Diharjo K. dan Triyono, 2000, *Material Teknik*, Buku Pegangan Kuliah, UNS Press, Surakarta.
- [14] George J., Janardhan R., Anand J.S., Bhagawan S.S. dan Thomas S., 1996, Melt Rheological behavior of Short Pineapple Fibre Reinforced Low Density Polyethylene Composite, *Journal of Polymer*, Volume 37, No. 24, Gret Brittain.
- [15] Palomo, A, Maci'as A, dan Puertas F., 1992, Physical, chemical and mechanical characterization of geopolymers, In: *Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement*, New Delhi, India 5, page 505–51.
- [16] Schmu'cker, M dan MacKenzie, K.J.D., 2005, Microstructure of Sodium Polysialate Siloxo Geopolymer. *Ceramic International*, Vol. 31, hal. 433-437.
- [17] Arsyad, M. 2016. Efek Perendaman Serat Sabut Kelapa dalam Larutan Alkali Terhadap Daya Serap Serat Sabut Kelapa pada Matriks Poliester. *Journal INTEK*, April 2016, Volume 3 (1): 15-19.

- [18] ASTM International, D6110.
- [19] Ashter, S.A., 2014, Thermoforming of Single and Multilayer Laminates. Elsevier Inc.
- [20] Hastuti, S., Budiono, H.S., Ivandiyanto, D.I., Nahar, M.N., 2021, Peningkatan Sifat Mekanik Komposit Serat Alam Limbah Sabut Kelapa (Cocofiber) yang Biodegradable, Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, Vol 6, No 1 (2021): Maret 2021.