

## Evaluasi sifat bending, tarik dan morfologi dari komposit polyester/serbuk serat *hibiscus tiliaceus* setelah diperlakukan dengan NaOH

Nasmi Herlina Sari<sup>1)\*</sup>, Emmy Dyah Sulistyowati<sup>1)</sup>, Sinarep<sup>1)</sup>, Pandri Pandiatmi<sup>1)</sup>, I Made Wirawan<sup>1)</sup>, Suteja<sup>1)</sup>, Yusuf Akhyar Sutaryono<sup>1)</sup>, Sujita<sup>1)</sup>, Rozan Hermansyah<sup>1)</sup>, Muhammad Rama Setiyadi<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mataram,  
Jalan Majaphit No 62 Mataram, Nusa Tenggara Barat, Indonesia

Email: [n.herlinasari@unram.ac.id](mailto:n.herlinasari@unram.ac.id); [emmydyahsulistyowati@rocketmail.com](mailto:emmydyahsulistyowati@rocketmail.com); [sinarep@unram.ac.id](mailto:sinarep@unram.ac.id); [pandri.pandiatmi@gmail.com](mailto:pandri.pandiatmi@gmail.com); [Wwiralo@yahoo.co.id](mailto:Wwiralo@yahoo.co.id); [Wwiralo@yahoo.co.id](mailto:Wwiralo@yahoo.co.id); [ysf\\_25@yahoo.com](mailto:ysf_25@yahoo.com); [sujita@unram.ac.id](mailto:sujita@unram.ac.id); [rozandbrt@gmail.com](mailto:rozandbrt@gmail.com); [ramatrueblue@gmail.com](mailto:ramatrueblue@gmail.com)

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2021.v07.i02.p04>

### Abstrak

Telah diinvestigasi komposit poliester yang dimodifikasi dengan serbuk dari serat hibiscus tiliceus (HT) sebagai inovasi dari material komposit yang baru. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki sifat mekanik dari komposit dari serbuk hibiscus tiliaceus (HT) setelah direndam dalam larutan alkali dalam periode berbeda. Sebelum dibuat komposit, serbuk HT direndam dalam alkali NaOH 5% selama waktu berbeda yaitu 2, 4 jam, 6 jam, dan 8 jam. Teknik pembuatan komposit dilakukan dengan teknik *hand lay-up*; resin poliester sebagai matrik dengan hardener dari metil etil keton peroksida 1% dicampur, kemudian dituang ke dalam cetakan dan diberi tekanan 5 MPa selama 12 jam. Sifat kekuatan tarik, modulus elastisitas dan kekuatan bending telah dievaluasi. Hasil studi menunjukkan bahwa lama perendaman serbuk HT dalam NaOH memberikan efek pada sifat mekanik dari komposit serbuk HT/polyester. Setelah serbuk direndam dalam NaOH selama 2 jam, 4 jam dan 6 jam, kekuatan tarik dan *bending* dari komposit meningkat yang dikaitkan dengan ikatan interface antara serbuk HT-poliester bertambah kuat, tetapi kekuatannya menurun setelah serbuk direndam selama 8 jam karena serbuk HT rusak dan *pullout*. Analisa SEM menunjukkan morfologi patahan yang rapat dan padat antara serbuk dan poliester serta adanya serbuk HT *pullout*. Ditinjau dari kekuatannya, komposit yang dihasilkan ini dapat menjadi alternatif pengganti komposit serat gelas

**Keywords:** serbuk dari kulit hibiscus tiliceus (HT), komposit poliester, kekuatan tarik, kekuatan bending, sodium hidroksida, morphology.

### Abstrak

A polyester composite modified with powder from Hibiscus Tiliceus fiber as a new composite material. This study aims to evaluate the mechanical properties of the composite of Hibiscus tiliaceus (HT) powder after being immersed in an alkali solution for different periods. Before making the composite, the HT powder was immersed in 5% NaOH for times; 2, 4, 6, and 8 (hours). The composite manufacturing technique has been carried out using the hand lay-up technique; polyester resin as a matrix with a hardener of 1% methyl ethyl ketone peroxide mixed, then poured into molds and under the pressure of 5 MPa for 12 h. The properties of tensile strength, modulus of elasticity, and bending strength have been evaluated through tensile and bending tests. The results showed that the tensile and bending strengths of the composite increased after the HT powder was soaked from 2 h to 6 h; it is due to an increase in the interfacial bond between the HT powder-polyester, but

the composite strength decreased after the powder was soaked for 8 h because the HT powder was damaged and powder pullout occurs. SEM analysis shows a tight and dense interface between the powder and polyester and the presence of HT powder pullout. In terms of tensile strength, the resulting composite can be an alternative to glass fiber composites.

**Keywords:** hibiscus fiber powder (HT), polyester composite, tensile strength, bending strength, sodium hydroxide (NaOH), morphology.

## 1. PENDAHULUAN

Saat ini, kelompok penelitian di akademisi telah secara aktif bekerja untuk pengembangan komposit polimer yang diperkuat serat alami. Serat alam seperti serat kulit jagung, hibiscus tiliaceus cellulose fibers, *Musaceae* dan *Saccharum Officinarum Cellulose Fibers* telah diketahui memiliki sifat yang unggul seperti kepadatan rendah, mudah terbakar, biodegradable, non-abrasif, tidak beracun dan sifat daur ulang [1–4]. Keunggulan dari serat alam ini telah membuka peluang serat alam lainnya untuk dikembangkan dan diselidiki sifat-sifatnya untuk keperluan aplikasi yang lebih luas.

Serat alam dari tanaman hibiscus tiliaceus (HT) merupakan salah satu serat alam yang sangat menarik untuk diselidiki sifat-sifatnya. Tanaman HT ini merupakan tanaman liar yang dapat ditemukan disepanjang jalan dan pantai di wilayah Indonesia yang belum banyak dimanfaatkan potensinya. Disamping berlimpah, serat dari cabang kayu HT ini telah diketahui memiliki sifat mekanik dan termal yang cukup tinggi [3]. Modifikasi serat cabang dari hibiscus T. ini menggunakan KOH dengan konsentrasi 8% juga telah berhasil meningkatkan kekuatan tarik dan sifat termal dari serat alam ini mencapai 5144.9 MPa. Penggunaan serat HT ini untuk penguatan komposit polimer dan sifat-sifatnya telah dilaporkan oleh beberapa peneliti [5–8]. Sari dkk. [5] telah membuat komposit dari resin dan serat HT yang dicampur dengan serbuk karbon dengan persentase serbuk karbon 15, 20, dan 30 (% volume) dan serat HT adalah 5, dan 10 (% volume). Mereka telah melaporkan bahwa kekuatan tarik, modulus elastisitas tarik, dan sifat lentur komposit dengan serat HT sebesar 5% meningkat sebesar 110% dan menurun ketika kandungan serat HT 10% karena adhesi antarmuka yang lemah, dan penarikan HBF. Nurudin [6] telah membuat komposit menggunakan jumlah enam layer serat HT (sebelum dan setelah diperlakukan kimia 5%) dan arah orientasi sudut berbeda  $0^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$ ;  $0^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}$ ;  $0^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$  dan resin poliester sebagai matrik. Mereka telah melaporkan bahwa terdapat pengaruh perlakuan alkali NaOH 5% terhadap kekuatan tarik dan kekuatan bending dari komposit. Nilai kekuatan bending maksimal diperoleh sebesar  $189,78 \text{ N/mm}^2$  pada arah orientasi sudut serat  $0^{\circ}/0^{\circ}/45^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}$  dengan perlakuan alkali NaOH 5%, sedangkan nilai terendah diperoleh dari komposit dengan serat tanpa perlakuan alkali sebesar  $144,43 \text{ N/mm}^2$  pada orientasi serat  $0^{\circ}/45^{\circ}/0^{\circ}/0^{\circ}/-45^{\circ}/0^{\circ}$ . Fadhillah, dkk [9] telah membuat komposit dari serat HT setelah direndam dalam larutan NaOH 6% selama 2 jam dengan 4 jenis matrik berbeda yaitu poliester BTQN 157, bisphenol A LP-1Q-EX, ripoxy R-802, dan epoxy. Rasio antara serat dan resin sebesar 60:40 (% massa). Mereka melaporkan bahwa kekuatan tarik dan kemuluran terbaik diperoleh dari komposit serat kulit pohon waru dengan resin bisphenol A LP-1Q-EX. Sedangkan, area patahan terkecil dimiliki oleh komposit resin epoksi. Kemudian, Suteja, dkk [8] telah membuat komposit laminasi serat-aluminium waru dengan metode vacuum infusion resin dengan variasi lapisan 1, 2, 3, 4 dan arah serat woven basket sudut 45/45. Mereka telah melaporkan bahwa kekuatan tarik menurun dan nilai elongasi meningkat dari komposit karena penambahan lapisan serat waru. Mereka juga melaporkan bahwa komposit dengan 4 lapis serat waru memiliki kekuatan tarik lebih rendah ( $153.642 \text{ MPa}$ ) dari komposit lainnya. Dari studi-

studi sebelumnya ini menunjukkan bahwa informasi dan penyelidikan terkait sifat-sifat dari komposit menggunakan serat HT ini hanya terbatas pada serat HT, belum dalam bentuk serbuk. Penguat dalam bentuk serbuk atau partikel dapat tersebar merata dalam polimer dengan demikian distribusi penguatnya sama ke segala arah. Lebih lanjut, sebagai bahan penguat komposit, rendahnya keterbasahan pada interaksi penguat dan matrik merupakan salah satu kelemahan utama dari komposit berbahan dasar serat alam. Dalam keadaan alaminya, bahan alami tidak membentuk ikatan yang kuat dalam komposit polimer karena sifatnya yang polar dan hidrofilik [10]. Untuk mengatasi masalah ini, permukaan serat atau serbuk dari bahan alami harus dimodifikasi dengan memberikan perlakuan kimia pada serbuk. Perlakuan kimia dengan menggunakan larutan NaOH merupakan salah satu metode untuk memodifikasi permukaan serat alam dan telah dilaporkan dapat meningkatkan sifat fisik, mekanik dan termal dari serat alam [1,11]. Kajian ini sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut terkait dengan efek lama perendaman serbuk HT dalam larutan NaOH terhadap sifat mekanik dan morfologi dari komposit HT/poliester belum diselidiki.

Oleh karena itu, karya ini bertujuan untuk memberikan pemahaman dan informasi lebih detail terkait dengan pengaruh lama waktu perendaman serbuk HT dalam larutan NaOH dengan konsentrasi 5%. Karakterisasi sifat kekuatan bending dan sifat kekuatan tarik dan morfologi dari komposit dikuantifikasi dan dianalisa melalui pengujian tarik, bending dan morpolong dengan *scanning electronic microscopy*.

## 2. METODE

### 2.1 Persiapan serbuk serat kulit waru

Serat kulit waru dikupas dari ranting pohon waru dan dijemur di bawah sinar matahari sampai kering (lihat gambar 1a). Serat kering kemudian dicacah, kemudian, mereka digiling sampai lima kali untuk mendapatkan serbuk halus, proses penggilingan ini dilakukan sampai 5 kali. Serbuk dari serat kulit waru (HT) kemudian diayak dengan ukuran 200 mesh. Proses ini ditampilkan pada gambar berikut.



**Gambar 1** proses pembuatan serbuk pengisi komposit poliester dari serat kulit waru, (a) kulit waru, (b) proses penggilingan serat kulit waru, (c) proses pengayakan serat, (d), partikel serat kulit waru.

Sebagai matrik dalam komposit ini menggunakan resin polyester dengan spesifikasi seperti yang telah dilaporkan oleh Sari dkk [12]. Meteil etil keton peroksida telah digunakan sebagai hardener yang mengambil 1 % dari polyester.

### 2.2 Alkali treatment serbuk serat kulit waru

Dalam proses ini, serbuk HT direndam dalam larutan NaOH 5% (berat) dengan lama waktu perendaman berbeda, yaitu 2 jam, 4, jam 6jam, dan 8 jam (lihat gambar 2a). Mereka ditiris/disaring menggunakan kain dan dicuci sebanyak 5 kali (gambar 2b); hal ini dimaksudkan

untuk mempermudah sisa cairan alkali. Kemudian, serbuk HT dikeringkan dengan oven pada suhu 105 °C (gambar 2c) dan serbuk HT siap untuk diproses menjadi campuran komposit (gambar 2d).



Gambar 2 (a) proses treatment serbuk HT dalam larutan NaOH, (b) proses penyaringan, (c) pengovenan partikel serat, (d) penimbangan serbuk HT

### 2.3 Pabrikasi komposit

Pabrikasi komposit menggunakan metode *hand lay up*. Resin poliester dan 5% serbuk HT ditimbang kemudian dicampur. 4 jenis komposit berbeda dibuat. Adonan kemudian ditambahkan katalis sebanyak 1% dari volume poliester dan dituang ke dalam cetakan, dan selanjutnya cetakan ditutup dan diberikan penekanan  $\pm 5$  MPa selama 12 jam pada suhu kamar. Spesimen komposit diangkat dari cetakan dan siap diuji.

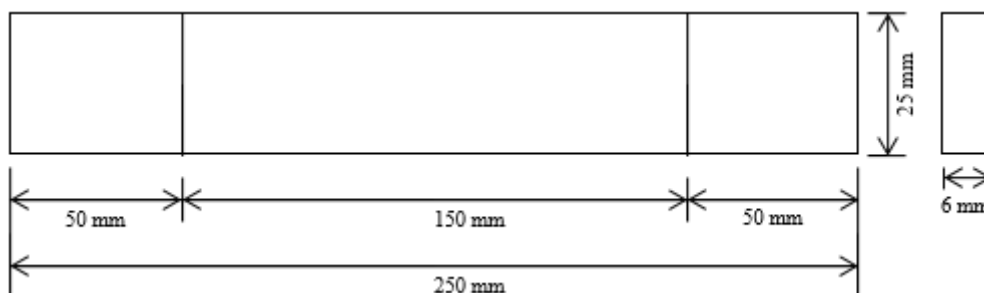
Tabel 1 Nomenklatur komposit serbuk HT/poliester

Kode spesimen	Keterangan
KA	Komposit dengan serbuk HT setelah direndam 2 jam dalam NaOH5%
KB	Komposit dengan serbuk HT setelah direndam 4 jam dalam NaOH5%
KC	Komposit dengan serbuk HT setelah direndam 6 jam dalam NaOH5%
KD	Komposit dengan serbuk HT setelah direndam 8 jam dalam NaOH5%

### 2.4 Karakterisasi komposit

#### 2.4.1 Uji Tarik

Bentuk dan dimensi sesuai dengan standar ASTM D3039, seperti ditunjukkan dalam gambar 3. Pengujian tarik dan bending komposit dijalankan menggunakan mesin merek tensilon RTG-1310 yang dioperasikan pada kecepatan 5 menit/mm dan beban maksimal 5 kN.



Gambar 3 bentuk dan dimensi spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASTM D3039[13]

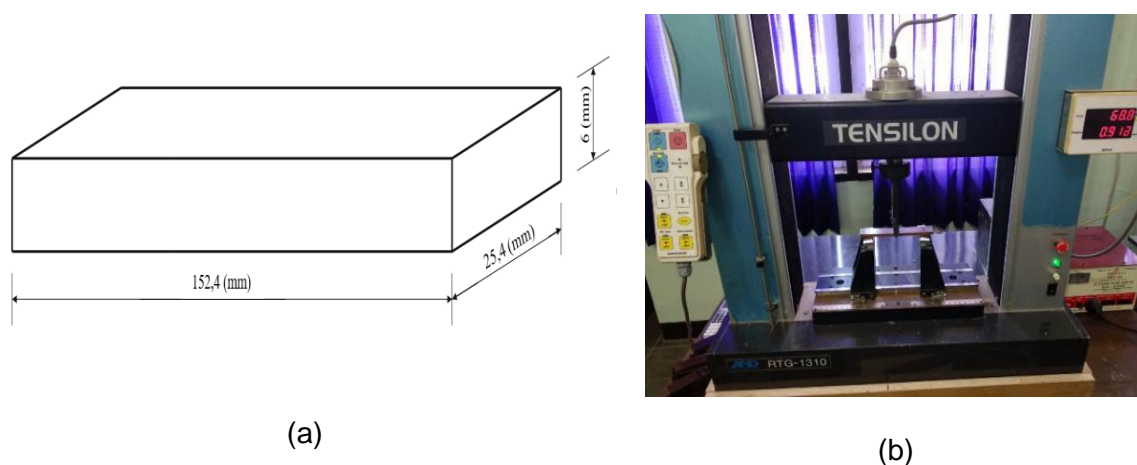
### 2.4.2 Uji Bending

Spesimen uji bending mengikuti standar ASTM D790 (lihat gambar 4) dan investigasi dilakukan menggunakan metode *three point bending*. Kekuatan dan modulus elastisitas bending komposit dihitung menggunakan persamaan 1 dan 2 [14].

$$\sigma_b = \frac{3 p_{max} l}{2 b d^2} \quad (1)$$

$$E_b = \frac{(L)^3 \times (m)}{4(b) \times (d)^3} \quad (2)$$

dengan  $\sigma_b$  ; Kekuatan bending (MPa),  $P_{max}$ ; Beban bending maksimum (N),  $E_b$  ; Modulus elastisitas bending (MPa),  $m$  ; *slope* (N/mm),  $b$ ,  $d$ , dan  $L$  adalah Lebar, tebal, dan panjang span (mm) dari spesimen berturut-turut.



Gambar 4, (a) bentuk dan dimensi spesimen uji *bending* sesuai dengan standar ASTM D790, (b) alat pengujian bending (Sari et al. 2021).

### 2.4.3 SEM

Morphology permukaan patahan komposit serbuk HT/poliester diambil diinvestigasi dengan SEM JEOL JSM-6400. Sampel dilapisi dengan emas menggunakan sistem bio-rad pada tegangan 20 kV, *Spot Size* sebesar 50, *work Distance* (WD) sebesar 10 mm dan emission current sebesar 47  $\mu$ A [12](Sari et al. 2020).

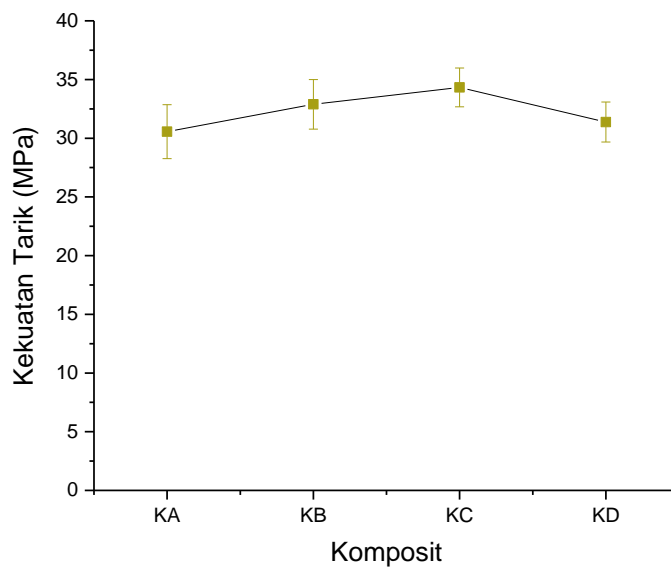
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Analisa kekuatan Tarik

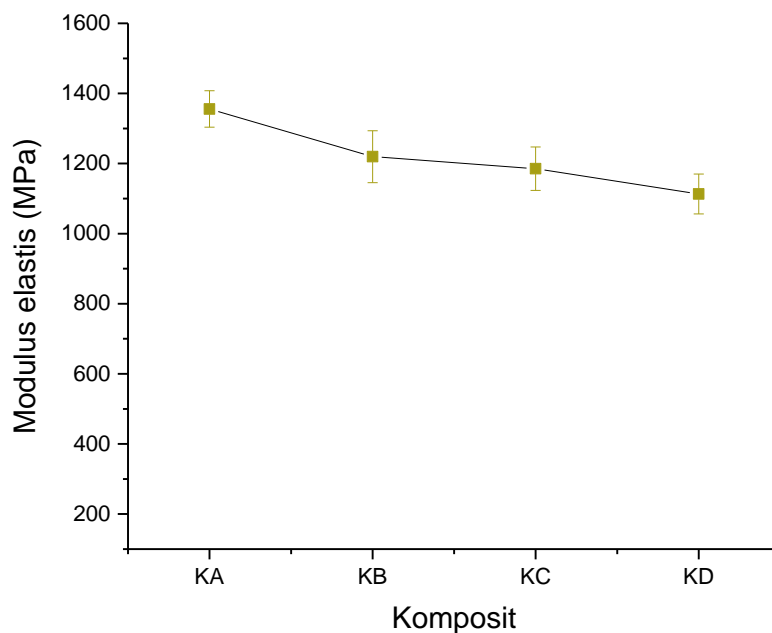
Gambar 5 menunjukkan kekuatan tarik komposit poliester/serbuk HT berbeda. Dari gambar 5 ini ditemukan bahwa kekuatan tarik dari komposit HT cenderung mengalami kenaikan setelah serbuk HT direndam dalam larutan NaOH selama 2 jam, 4 jam dan 6 jam sebesar 2.68% dan 4.812% dari spesimen KA. Kenaikan nilai ini diindikasikan bahwa ikatan *interface* antara serbuk HT dan poliester semakin kuat yang diduga karena hilangnya kandungan hemiselulosa dan lignin dari serbuk HT. Lama perendaman serbuk HT dari 2 jam sampai 6 jam dalam larutan NaOH telah menyebabkan lepasnya ikatan hidroksil sehingga kandungan hemiselulosa dan lignin dari serbuk menjadi berkurang. Fenomena hilangnya kandungan hemiselulosa dan lignin dari serat HT telah dilaporkan oleh Sari dan Yesung (2019) dimana

hemiselulosa dan lignin dari serat hilang karena larut dalam alkali panas NaOH dan meningkatkan *interlocking* antara serbuk HT dan poliester. Selain itu, Loganathan et al. (2020) melaporkan bahwa berkurangnya lignin, hemiselulosa dan kotoran lainnya memfasilitasi penataan ulang fibril dari serat serta meningkatkan ikatan antara serat dan matrik polimer [15], sehingga meningkatkan kekuatan tarik komposit. Alasan ini juga menjawab alasan mengapa kekuatan tarik dari komposit KC memiliki kekuatan paling tinggi dibandingkan dengan komposit lainnya.

Untuk komposit KC, kekuatan tariknya ditemukan sedikit menurun yang dikaitkan dengan serbuk HT rusak karena berkurangnya kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa dari serbuk. Ini menyiratkan bahwa waktu perendaman serbuk HT selama 8 jam tidak cukup baik untuk meningkatkan kekuatan serbuk HT karena selulosa dari serbuk berkurang. Dibandingkan dengan komposit serat gelas, komposit serbuk HT ini lebih baik dibandingkan dengan komposit serat gelas (kekuatan tarik; 1.4 MPa)[16].



**Gambar 5** kekuatan tarik komposit poliester-partikel waru dengan waktu NaOH treatment yang berbeda.

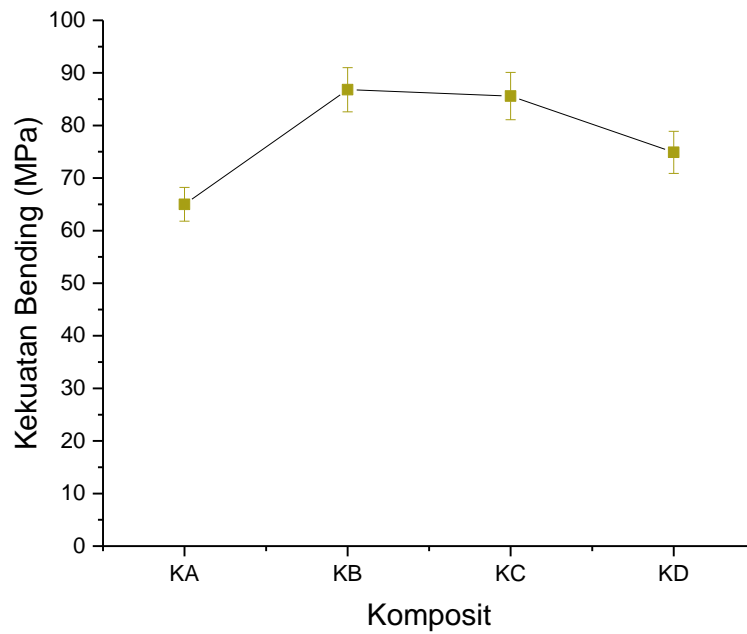


Gambar 6 grafik modulus tarik komposit poliester-partikel waru dengan waktu NaOH treatment yang berbeda.

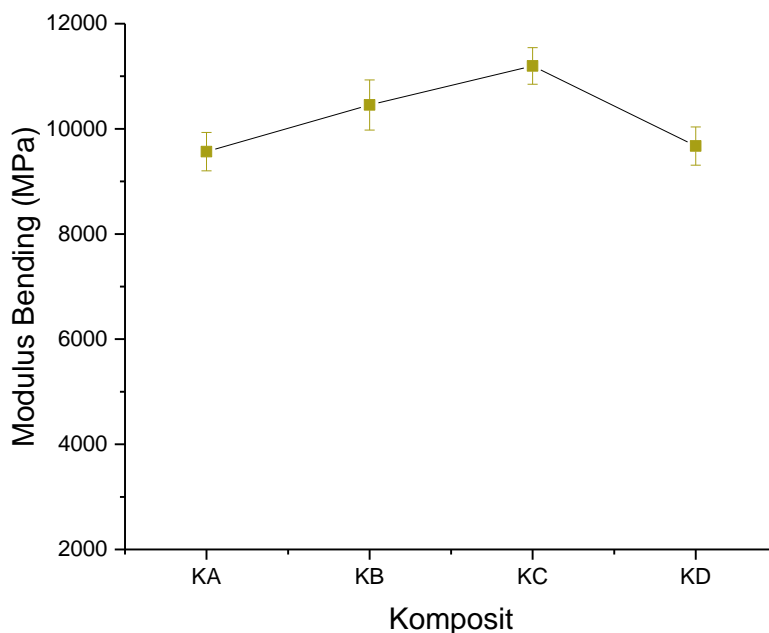
Lebih lanjut, gambar 6 menunjukkan modulus elastisitas dari komposit HT berbeda. Pola yang berbeda ditemukan dengan kekuatan tarik komposit. Nilai modulus elastis komposit KA, KB, KC dan KD ditemukan sebesar 1355.53 MPa, 1219.51 MPa, 1185.2 MPa, dan 1113.19 MPa berturut-turut. Modulus elastis tarik komposit mengalami penurunan cukup signifikan setelah serbuk HT direndam selama 2 jam sampai 8 jam. Penurunan nilai modulus elastis ini kemungkinan disebabkan oleh berkurangnya kekakuan dari serbuk HT setelah direndam dalam NaOH dalam jangka waktu lama sehingga kemampuan menahan deformasi akibat tegangan tarik dari resin [13].

### 3.2. Analisa kekuatan bending

Gambar 7 menunjukkan kekuatan bending komposit serbuk HT/poliester. Kekuatan bending dari komposit cenderung mengalami peningkatan setelah HT direndam dari 2 jam (spesimen KA) sampai 4 jam (spesimen KB) sebesar 33.52%. Kemudian menurun sebesar 1.39% (untuk komposit KC) dan 0.839% (untuk komposit KD) berturut-turut. Peningkatan kekuatan *bending* ini menunjukkan interlocking serbuk HT dengan poliester memberikan ketahanan yang baik terhadap gaya bending pada komposit. Sedangkan penurunan nilai kekuatan *bending* disebabkan oleh ikatan kurang baik antara resin dan serbuk *pullout* dan hadirnya void pada komposit. Disamping itu, penurunan kekuatan bending komposit KC dan KD disebabkan oleh cacat pada serbuk HT akibat lamanya waktu perendaman serta homogenitas campuran serbuk HT dengan resin.



Gambar 7 grafik kekuatan bending komposit poliester-partikel waru dengan waktu NaOH treatment yang berbeda.



Gambar 8 grafik modulus bending komposit poliester-partikel waru dengan waktu NaOH treatment yang berbeda.

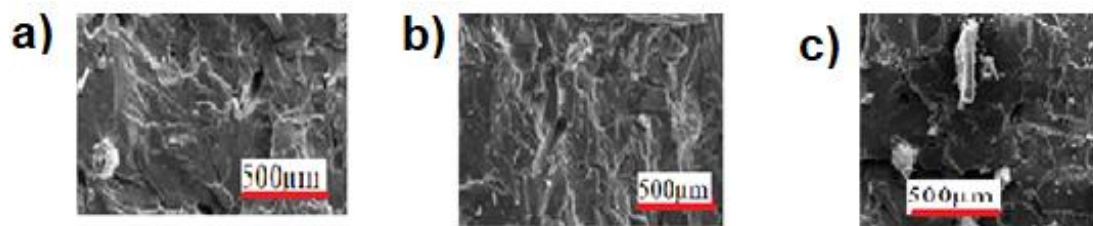
Gambar 8 menunjukkan perbandingan nilai modulus bending dari komposit KA, KB, KC dan KC dengan waktu perendaman NaOH yang berbeda. Nilai modulus bending komposit



cenderung mengalami penurunan dengan bertambahnya waktu perendaman NaOH. Peningkatan modulus elastisitas bending meningkat setelah serbuk HT direndam dari 2 jam sampai 6 jam (lihat komposit KA, KB dan KC), kemudian kekuatannya menurun ketika komposit berpegisi serbuk HT yang direndam selama 8 jam (lihat komposit KD). Nilai modulus elastis terendah diperoleh pada komposit KA sebesar 9565.361 MPa dan tertinggi diperoleh pada komposit KC sebesar 11197.15 MPa. kurva modulus elastis *bending* menampilkan hal yang kontra dengan kurva kekuatan bending komposit poliester-serbuk HT dikaitkan dengan pergeseran serat *pullout* yang tinggi

### 3.3 Pengamatan morphology kegagalan dengan SEM

Foto SEM dilakukan pada patahan spesimen uji tarik (lihat gambar 9). Foto SEM seperti dalam Gambar 9a memperlihatkan adanya ikatan *interface* yang cukup kuat antara serbuk HT dan poliester dan sejumlah serbuk *pullout*. Sedangkan gambar 9b menyajikan *interface* yang lebih rapat dan padat dari komposit KC jika dibandingkan dengan gambar 9a; hal ini yang diindikasikan menyebabkan kekuatan tariknya tinggi. Sebaliknya, gambar 9c menyajikan sejumlah besar serbuk *pullout* dan sejumlah pori-pori karena terangkatnya serbuk dari serbuk akibat proses penarikan; boleh jadi karena serbuk rusak akibat perendaman serbuk terlalu lama (8 jam) dan akhirnya menyebabkan kekuatan tariknya berkurang.



Gambar 9 Foto SEM dari patahan spesimen uji tarik komposit serbuk HT/poliester; (a) Komposit KA, dan (b) komposit KC dan c. komposit KD dengan perbesaran 50x.

## 4. SIMPULAN

Penyelidikan yang bersifat eksperimen telah dilakukan pada komposit serbuk HT/polyester. Lama perendaman serbuk dalam alkali NaOH 5% selama waktu berbeda yaitu 2 jam, 4 jam, 6 jam telah memberikan efek terhadap peningkatan kekuatan tarik, kekuatan bending dan modulus bending. Kekuatan mekanik paling tinggi diperoleh dari komposit KC dikarenakan ikatan interface yang lebih kuat dari pada komposit lainnya. Kekuatan mekanik komposit menurun setelah serbuk HT direndam selama 8 jam dikaitkan dengan rusaknya serbuk akibat lama terendam dalam NaOH. Analisa morfologi komposit menunjukkan ikatan interface yang cukup rapat, sedikit serbuk pullout yang menguatkan alasan sifat mekanik yang dihasilkan dari komposit yang dipelajari. Komposit yang dihasilkan ini dapat dijadikan alternatif pengganti komposit serat gelas.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. H. Sari, I. N. G. Wardana, Y. S. Irawan, and E. Siswanto, "Characterization of the Chemical, Physical, and Mechanical Properties of NaOH-treated Natural Cellulosic Fibers from Corn Husks," *J. Nat. Fibers*, vol. 15, no. 4, pp. 545–558, 2018, doi: 10.1080/15440478.2017.1349707.
- [2] N. H. Sari, A. Rahman, and E. Syafri, "Characterization of musaceae and saccharum officinarum cellulose fibers for composite application," *Int. J. Nanoelectron. Mater.*, vol.

- 12, no. 2, pp. 193–204, 2019.
- [3] N. H. Sari and Y. A. Padang, “The characterization tensile and thermal properties of hibiscus tiliaceus cellulose fibers,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 539, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/539/1/012031.
- [4] A. J. Adeyi, O. Adeyi, E. O. Oke, O. A. Olalere, S. Oyelami, and A. D. Ogunsola, “Effect of varied fiber alkali treatments on the tensile strength of Ampelocissus cavicaulis reinforced polyester composites: Prediction, optimization, uncertainty and sensitivity analysis,” *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.*, vol. 4, no. 1, pp. 29–40, 2021, doi: 10.1016/j.aiepr.2020.12.002.
- [5] N. H. Sari, S. Suteja, M. N. Samudra, and H. Sutanto, “Composite of Hibiscus Tiliaceus Stem Fiber / Polyester Modified with Carbon Powder : Synthesis and Characterization of Tensile Strength , Flexural Strength and Morphology Properties In Press , Accepted Manuscript – Note to user,” *Int. Nanoelectron. Mater.*, pp. 1–13, 2021.
- [6] A. Nurudin, “Potenso Pengembangan Komposit Berpenguat serat kulit waru (hibiscus tiliaceus) Kontinyu laminat sebagai material pengganti fiberglass pada pembuatan lambung kapal,” *INFO Tek.*, vol. 12, no. 2, pp. 1–9, 2014.
- [7] A. R. Fadhilla, “Karakteristik Komposit Serat Kulit Pohon Waru (Hibiscus Tiliaceus) Berdasarkan Jenis Resin Sintetis,” *J. Rekayasa Mesin Vol.8*, vol. 8, no. 2, pp. 101–108, 2017.
- [8] Suteja, A. Purnowidodo, D. B. Darmad, and N. H. Sari, “perilaku tarik komposit laminat serat kulit waru- aluminium,” *Rekayasa Mesin*, no. March, pp. 17–24, 2019.
- [9] A. Fadhillah, S. Setiyabudi, and A. Purnowidodo, “Karakteristik Komposit Serat Kulit Pohon Waru (Hibiscus Tiliaceus) Berdasarkan Jenis Resin Sintetis terhadap Kekuatan Tarik dan Patahan Komposit,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 8, no. 2, pp. 101–108, 2017, doi: 10.21776/ub.jrm.2017.008.02.7.
- [10] K. Athipathi., H. S. Vijay, R. A. Mari., and S. L. V. Raja, “Compression Testing Of Mechanical Properties In Natural Fiber Hybrid Composite Materials,” vol. 3, no. 8, pp. 2528–2533, 2016.
- [11] C. Cho, “Biomass Bamboo Powder as Filler in Natural Rubber Composites,” *Trans. GIGAKU*, vol. 3, no. 2, pp. 1–12, 2016.
- [12] N. H. Sari *et al.*, “The effect of water immersion and fibre content on properties of corn husk fibres reinforced thermoset polyester composite,” *Polym. Test.*, vol. 91, 2020, doi: 10.1016/j.polymertesting.2020.106751.
- [13] N. H. Sari *et al.*, “Morphology and mechanical properties of coconut shell powder-filled untreated cornhusk fibre-unsaturated polyester composites,” *Polymer (Guildf.)*, vol. 222, no. February, p. 123657, 2021, doi: 10.1016/j.polymer.2021.123657.
- [14] N. H. Sari, “Material Teknik.” Deepublish, Yogyakarta, pp. 1–268, 2018.
- [15] T. M. Loganathan *et al.*, “Characterization of alkali treated new cellulosic fibre from Cyrtostachys renda,” *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 9, no. 3, pp. 3537–3546, 2020, doi: 10.1016/j.jmrt.2020.01.091.
- [16] A. Kirana, M. Farid, and V. M. Pratiwi, “Efek Penambahan Serat Gelas Pada Komposit Polyurethane Terhadap Sifat Mekanik dan Sifat Fisik Komposit Doorpanel,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, pp. 5–8, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.18560.