

Pengaruh prosentase larutan NaOH pada proses alkalisasi serat kulit pohon waru (*hibiscus tiliaceus*) sebagai reinforcement komposit terhadap kekuatan tarik serat tunggal

Arief Rizki Fadhillah^{1*}, Dadang Hermawan², Arie Restu Wardhani³

Program Studi D3 Mesin Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang^{1,2}
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyagama Malang³
Jalan Taman Borobudur No. 3, Malang
Email: arief.rizki.f@widyagama.ac.id¹, dadang@widyagama.ac.id²,
ariorestuwardhani@gmail.com³

Abstract

The utilization of natural fiber, nowadays, has employed as reinforcement of composite materials. Natural fiber can benefit the composite material because of the characters of fibre which is more environmental friendly, economics, lighter and stronger. There are many natural fibers that can be used as reinforcement of composite materials such as the bark fibers of Hibiscus Tiliaceus. Hibiscus Tiliaceus is one species of Hibiscus Tiliaceus that can be found in the mountains in Indonesia. This study aims to determine the tensile strength of a single fiber in Hibiscus Tiliaceus fiber with the additional various percentage of NaOH in the alkalization treatment. The alkalization treatment analyzes the alkali process of NaOH substance by 3%, 6%, 9%, 12%, and without treatment within the bark of Hibiscus Tiliaceus tree. The treatment was undertaken by soaking the NaOH substance in a duration of 120 minutes. After the NaOH solution was immersed, the bark fiber of Hibiscus Tiliaceus was washed with aquades until the solution reaches a pH of 7. The results of this study show the percentage of NaOH solution in the alkaline immersion process affects the tensile strength of a single fiber on Hibiscus Tiliaceus and the process of NaOH solution which has a release of 6% lignin, cellulose, and semilulose content. In addition, the NaOH treatment with a percentage of 6% can be the standard of the process of alkalinizing the bark fiber of Hibiscus Tiliaceus which can be used for composite reinforcement. Therefore, 6% of NaOH can affect the bond between the Hibiscus Tiliaceus fibers as reinforcement and synthetic resins as a matrix which can increase the strength of the composite.

Keywords: Alkalization, The tensile strength of single fiber, NaOH, natural fiber, Hibiscus Tiliaceus

Abstrak

Dewasa ini pemanfaatan serat alami telah banyak digunakan sebagai penguat bahan komposit. Serat alami dapat menguntungkan material komposit karena karakter seratnya yang lebih ramah lingkungan, ekonomis, lebih ringan dan lebih kuat. Ada banyak serat alami yang dapat digunakan sebagai penguat bahan komposit seperti serat kulit pohon waru (*Hibiscus Tiliaceus*). Pohon waru adalah salah satu spesies *Hibiscus Tiliaceus* yang dapat ditemukan di pegunungan di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kekuatan tarik serat tunggal dalam serat pohon waru dengan penambahan berbagai persentase NaOH (Natrium Hidroksida) dalam pengolahan alkalisasi. Pada penelitian ini, analisa terhadap proses alkali dilakukan pada serat kulit pohon waru dengan variasi prosentase larutan NaOH sebesar 3 %, 6 %, 9 %, 12 %, dan tanpa perlakuan. Masing-masing variasi dilakukan perendaman larutan NaOH selama 120 menit. Setelah proses perendaman larutan NaOH, maka serat kulit pohon waru dilakukan pencucian dengan aquades sampai mencapai PH 7. Hasil dari penelitian ini, antara lain: prosentase larutan NaOH dalam proses perendaman alkali mempengaruhi kekuatan

tarik serat tunggal pada serat kulit pohon waru dan prosesentase larutan NaOH yang memiliki pelepasan kandungan lignin, selulosa, dan semilulosa sebesar 6%. Selain itu, perlakuan alkali NaOH dengan prosentase 6 % dapat menjadi standar proses alkalisasi pada serat kulit pohon waru yang akan digunakan untuk *reinforcement* komposit, sehingga akan mempengaruhi ikatan antar serat kulit waru sebagai *reinforcement* dan resin sintesis sebagai matrik yang menjadikan kekuatan komposit semakin kuat.

Kata kunci: Alkalisasi, kekuatan tarik, NaOH, serat alam, serat kulit pohon waru.

Pendahuluan

Serat alam pada saat ini banyak dikembangkan sebagai *reinforcement* pada material komposit. Keunggulan serat alam yang dimanfaatkan sebagai *reinforcement* material komposit, antara lain: ringan, kuat, ramah lingkungan, dan ekonomis. Beberapa serat alam yang banyak digunakan sebagai *reinforcement*, antara lain : serat rami, kapas, sisal, enceng gondok, knaf, sagu, dan serat kulit pohon waru [1].



Gambar 1. Serat kulit pohon waru [2].

Dari beberapa serat alam yang dikembangkan sebagai *reinforcement* material komposit salah satunya adalah serat kulit pohon waru (*Hibiscus Tiliaceus*). Serat tergolong dalam jenis kulit pohon yang memiliki struktur saling mengikat antara satu serat dengan yang serat lainnya, sehingga akan menghasilkan kekuatan yang sangat baik dalam menerima beban. Hal ini telah dibuktikan dalam beberapa penelitian yang telah dilakukan. Widiarta [3], telah meneliti tentang pengaruh orientasi serat kulit batang waru terhadap sifat mekanis komposit menggunakan matrik polyester. Sifat mekanis dalam penelitian ini adalah kekuatan impak. Variabel penelitian yang digunakan adalah orientasi serat, antara lain: *continuous*, *discontinuous*, dan *hybrid*. Hasil dari penelitian ini adalah komposit serat kulit batang waru dengan orientasi *continuous* memiliki kekuatan yang lebih

tinggi dibandingkan serat orientasi lainnya yaitu sebesar 2131,25 J/m².

Prasetyo pada tahun 2016 [4], telah meneliti tentang pengaruh perendaman serat pohon waru pada air laut terhadap struktur mikro dan kekuatan tarik serat pohon waru. Variasi dalam penelitian ini adalah serat waru dilakukan perendaman dalam air laut dengan pH 6 selama 0 jam, 2 jam, 4 jam dan 6 jam. Berdasarkan hasil pengamatan mikro yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan perendaman air laut menimbulkan celah antar sub serat serta dengan waktu perendaman yang semakin lama maka jarak antar sub celah serat juga semakin tinggi. Selin itu dengan dilakukan perendaman air laut dengan pH 6 dapat meningkatkan kekuatan tarik akan tetapi semakin lama perendaman kekuatan tarik semakin menurun, sehingga lama perendaman yang terbaik yaitu dengan waktu 2 jam menghasilkan kekuatan tarik maksimum sebesar 48,35578 kg/mm² [4].

Karakteristik komposit serat waru berdasarkan jenis resin sintesis terhadap kekuatan tarik dan patahan komposit juga telah diteliti oleh Faddhillah [2]. Variasi dalam penelitian ini adalah jenis resin, antara lain : polyester BTQN 157, bisphenol A LP-1Q-EX, ripoxy R-802, and epoxy. Rasio fraksi massa antara serat dan fiber adalah 60 : 40. Perlakuan alkali yang diberikan pada serat menggunakan larutan NaOH 6% dengan waktu perendaman 120 menit. Hasil dari penelitian ini adalah komposit serat kulit pohon waru dengan resin bisphenol A LP-1Q-EX memiliki kekuatan tarik yang sangat tinggi dibandingkan dengan resin lainnya dan komposit dengan variasi resin epoxy memiliki area patahan yang kecil.

Wirawan [5], telah meneliti tentang penambahan *coupling agent* terhadap sifat tarik biokomposit kulit waru-*polyester*. Variasi dalam penelitian ini adalah penambahan *coupling agent* dengan melakukan perendaman *Methacryloxy-propyltrimethox Silane* pada konsentrasi 0%, 0.25%, 0.5%, 0.75% dan 1.0% dengan mengatur pH larutan pada 3.4-4.5 dan waktu perendaman adalah 4 jam. Hasil dari penelitian ini adalah penambahan *silane coupling agent* 0.75% sangat efektif untuk memperbaiki *interface* pada serat menjadi lebih halus dan rapat [5].

Prasetya [6], juga telah meneliti tentang pengaruh fraksi berat serat waru terhadap sifat mekanik kampas rem kereta api komposit non asbestos. Tujuan dari penelitian ini adalah memrancang kampas rem kereta api dengan bahan non asbestos yang menggunakan penguat serat waru serta untuk mengetahui sifat mekanik kampas rem dengan pengaruh fraksi berat serat waru. Prosentase fraksi berat serat waru yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain : 4, 6, 8, 10, dan 12. Berdasarkan Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa sifat mekanik kampas rem komposit non asbestos dipengaruhi oleh prosentase fraksi berat serat waru. Selain itu, semakin besar prosentase fraksi berat serat waru maka kekerasan dan densitas akan menurun. Keausan dan koefisien gesek kampas rem komposit non asbestos akan meningkat dengan fraksi berat serat waru yang semakin besar [6].

Serat alam yang digunakan sebagai *reinforcement* pada material komposit harus melalui proses perlakuan alkali. Proses ini bertujuan berfungsi untuk menghilangkan kandungan kandungan pectin, lignin, dan hemiselulosa yang menutupi serat [7]. Selain itu, perlakuan alkali juga dapat meningkatkan ikatan *interface* antara serat dan matrik. Hal ini telah diteliti oleh Kurniawan [7], tentang perlakuan alkali dan *steaming* terhadap kekuatan tarik serat tunggal pelepah salak. Perlakuan alkali menggunakan larutan NaOH dengan konsentrasi sebesar 2%.

Perendaman dilakukan selama 6 jam dengan menggunakan suhu ruang. Selain perendaman alkali, serat tunggal pelepah salak juga dilakukan proses *steaming* dengan tekanan uap sebesar 2 bar dan waktu *steaming* yaitu 60, 120, dan 180 menit. Berdasarkan hasil penelitian ini bahwa serat tunggal pelepah salak yang dilakukan proses alkali dan dikombinasikan dengan proses *steaming* mampu meningkatkan sifat mekanik [7].

Penelitian lain dilakukan oleh Nugraha [8], yang meneliti tentang pengaruh perlakuan kimia pada serat alam rami terhadap kekuatan tarik serat tunggal. Perlakuan kimia yang diberikan pada serat rami yaitu perendaman larutan alkali NaOH dengan variasi konsentrasi dan waktu. Kemudian dilanjutkan dengan proses pembersihan menggunakan H₂O₂ dan *xylene*. Setelah proses pembersihan dilanjutkan dengan proses *sizing* dengan menggunakan natrium silika. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa dengan proses *sizing* pada serat rami dapat meningkatkan kekuatan tarik serat sebesar 25%. Perlakuan perendaman alkali NaOH 5% selama 120 menit, pembersihan dengan *xylene* dan proses *sizing* 30% natrium silika selama 3 jam menunjukkan bahwa dapat meningkatkan kekuatan tarik serat rami sebesar 598MPa [8].

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa serat kulit pohon waru memiliki potensi sebagai *reinforcement* pada material komposit, akan tetapi perlu dilakukan penelitian yang berfokus pada pengaruh prosentase larutan NaOH pada proses alkalisasi serat kulit pohon waru sebagai *reinforcement* komposit Terhadap kekuatan tarik serat tunggal. Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kekuatan tarik serat tunggal pada serat kulit pohon waru dengan variasi prosentase larutan NaOH dalam perlakuan alkalisasi. Hipotesa pada penelitian ini adalah semakin tinggi prosentase larutan NaOH maka semakin rendah kekuatan tarik serat tunggal yang

akan dihasilkan oleh serat kulit pohon waru. Hal ini dikarenakan kandungan lignin yang ada pada serat kulit pohon waru akan mengalami pengurangan yang menyebabkan kekuatan tarik serat tunggal menjadi rendah.

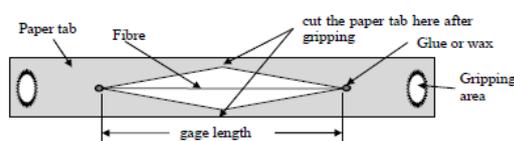
Metode Penelitian

Variabel penelitian

Pada penelitian ini dilakukan analisa terhadap proses alkali pada serat kulit pohon waru dengan variasi prosentase larutan NaOH sebesar 3%, 6%, 9%, 12%, dan tanpa perlakuan. Masing-masing variasi dilakukan perendaman larutan NaOH selama 120 menit. Setelah proses perendaman larutan NaOH, maka serat kulit pohon waru dilakukan pencucian dengan aquades sampai mencapai PH 7.

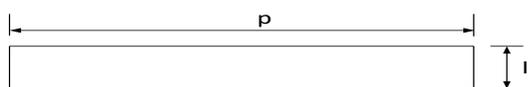
Spesimen uji tarik serat tunggal

Spesimen uji tarik serat tunggal ini menggunakan standar ASTM D3379-75, dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen uji tarik serat tunggal [9].

Serat kulit pohon waru termasuk dalam jenis serat yang memiliki bentuk lembaran, sehingga tidak dapat di produksi dalam bentuk benang. Spesimen uji tarik serat tunggal dibentuk dengan bentuk persegi panjang dengan ukuran $p = 100$ mm dan $l = 3$ mm seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen uji tarik serat kulit pohon waru

Pengujian-pengujian

Pada penelitian ini terdapat beberapa proses pengujian yang terbagi dalam beberapa pengujian, antara lain:

1. Uji tarik serat tunggal

Uji tarik serat tunggal pada penelitian ini memiliki fungsi untuk mengetahui kekuatan serat kulit pohon waru dengan memberikan variasi perendaman alkali NaOH dan tanpa perendaman alkali NaOH, sehingga akan didapatkan nilai kekuatan tarik serat kulit pohon waru dari beberapa variasi yang telah ditentukan. Pada uji tarik serat tunggal juga dilakukan beberapa pengambilan data yang berhubungan dengan pengaruh dari kekuatan serat kulit pohon waru, antara lain: penambahan panjang serat, waktu lama putus serat, tebal serat, massa serat sebelum perendaman alkali, massa sesudah perendaman alkali, dan foto patahan serat.

Nilai kekuatan tarik serat kulit pohon waru diperoleh dari pengujian tarik yaitu pengujian yang umum dilakukan pada material teknik, sehingga mendapatkan karakteristik deformasi kekuatan dari material. Spesimen uji serat tunggal pada pengujian ini menggunakan spesimen dengan standar ASTM D3379-75.

2. Scanning Electron Microscopy (SEM)

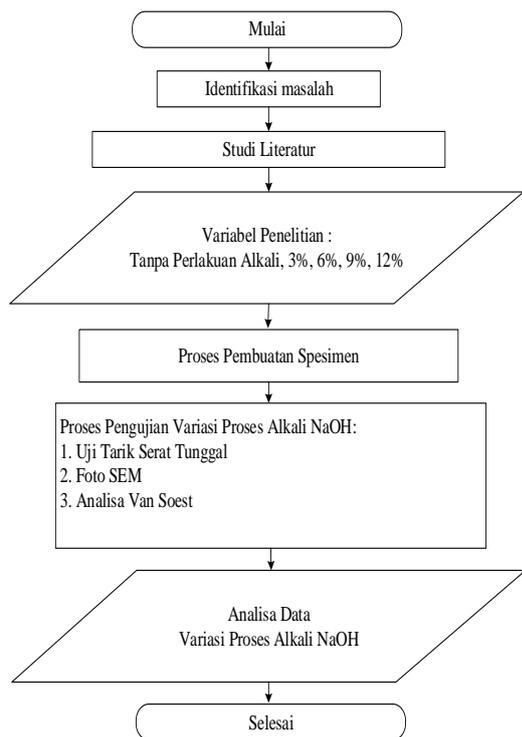
SEM digunakan untuk melihat struktur serat kulit pohon waru yang telah dilakukan proses alkali dan tanpa proses alkali, sehingga akan dapat melihat perbedaan dari serat.

3. Pengujian analisa Van Soest

Analisa *Van Soest* pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan lignin, semilulosa, dan selulosa pada serat kulit pohon waru yang telah dilakukan perlakuan perendaman dan tanpa perlakuan perendaman larutan NaOH. Hal ini dikarenakan kandungan lignin, semilulosa, selulosa pada serat kulit pohon waru akan mempengaruhi *interface* dan interphase dalam material komposit.

Diagram Alir Penelitian

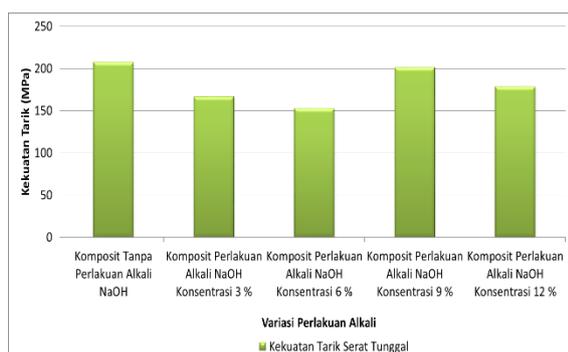
Diagram alir untuk penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kekuatan tarik serat tunggal kulit pohon waru dengan variasi konsentrasi alkali NaOH seperti pada Gambar 5.



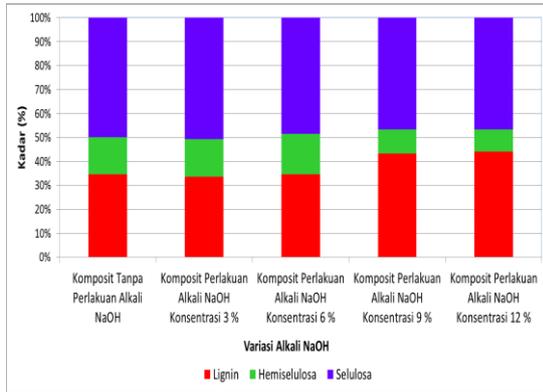
Gambar 5. Kekuatan tarik serat tunggal kulit pohon waru variasi konsentrasi Alkali NaOH

Dari Gambar 5 dapat dijelaskan bahwa serat kulit pohon waru tanpa perlakuan konsentrasi alkali NaOH menghasilkan kekuatan tarik serat tunggal sebesar 207,30 MPa. serat kulit pohon waru konsentrasi alkali NaOH 3 % menghasilkan nilai kekuatan tarik serat tunggal sebesar

166,62 MPa. serat kulit pohon waru konsentrasi alkali NaOH 6 % menghasilkan kekuatan tarik serat tunggal sebesar 152,77 MPa. serat kulit pohon waru konsentrasi alkali NaOH 9 % menghasilkan kekuatan tarik serat tunggal sebesar 201,19 MPa. Serat kulit pohon waru konsentrasi alkali NaOH 12 % menghasilkan kekuatan tarik serat tunggal sebesar 178,37 MPa.

Berdasarkan hasil kekuatan tarik serat tunggal di atas dapat diketahui bahwa konsentrasi alkali NaOH mempengaruhi kekuatan tarik serat tunggal. Hal ini dapat dilihat kekuatan tarik serat tunggal tertinggi terdapat pada serat tanpa perlakuan konsentrasi alkali NaOH, sedangkan kekuatan tarik serat tunggal terendah terdapat pada serat dengan perlakuan konsentrasi alkali NaOH 6 %. Hal ini dikarenakan serat tanpa perlakuan konsentrasi alkali NaOH masih terdapat kandungan zat lignin yang berfungsi sebagai matrik alami pada serat, sedangkan konsentrasi alkali NaOH 6 % menjadi perlakuan alkali yang optimal dalam pelepasan zat lignin. Serat dengan perlakuan konsentrasi alkali NaOH 9 % dan 12 % terjadi peningkatan kekuatan tarik serat tunggal akan tetapi tidak lebih tinggi daripada serat tanpa perlakuan alkali NaOH, hal ini diduga karena terdapat bagian-bagian serat selain zat lignin seperti selulosa dan hemiselulosa yang mengalami pelepasan dari serat sehingga menyebabkan kekuatan tarik serat tunggal meningkat.

Konsentrasi alkali NaOH mempengaruhi kandungan zat dalam serat kulit pohon waru berupa zat lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 6.



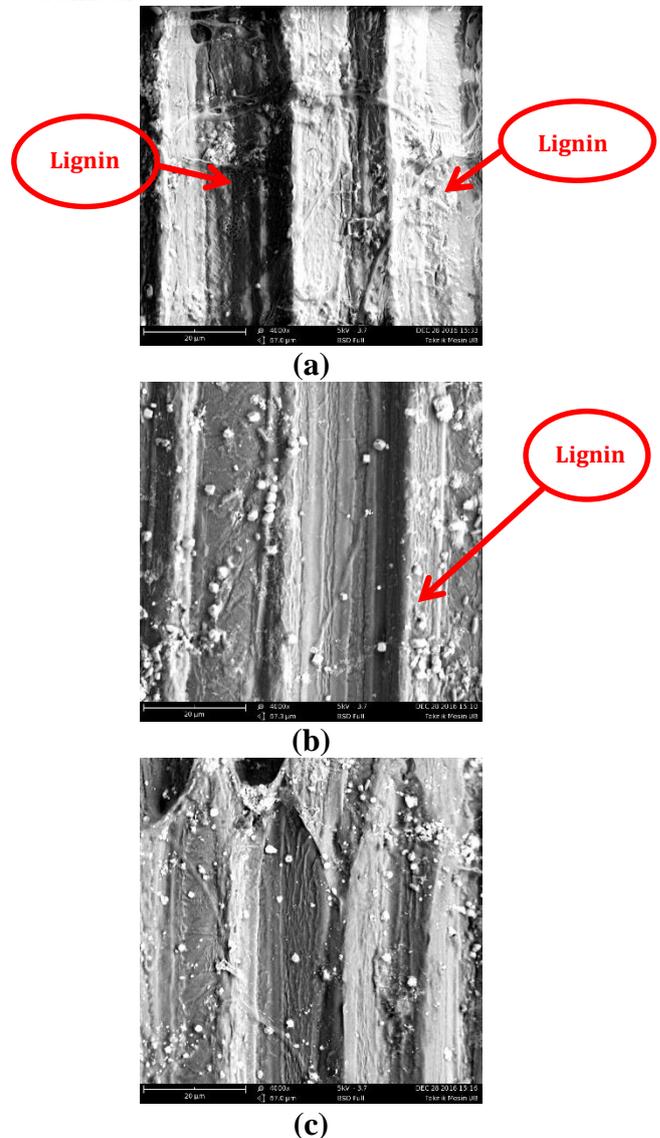
Gambar 6. Kandungan lignin, hemiselulosa, dan selulosa serat kulit pohon waru variasi konsentrasi alkali naoh dengan metode pengujian *Van Soest*

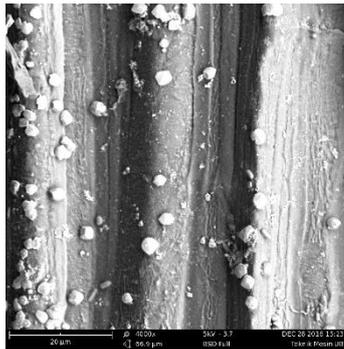
Gambar 6 menunjukkan hasil pengujian metode *van soest*, berfungsi untuk mengetahui kandungan zat lignin, hemiselulosa dan selulosa pada serat kulit pohon waru. Serat kulit pohon waru tanpa perlakuan konsentrasi alkali NaOH memiliki kandungan 16 % hemiselulosa, 50 % selulosa, dan 35 % lignin. Serat kulit pohon waru perlakuan konsentrasi alkali NaOH 3 % memiliki kandungan 16 % hemiselulosa, 51 % selulosa, dan 34 % lignin. Serat kulit pohon waru perlakuan konsentrasi alkali NaOH 6 % memiliki kandungan 17% hemiselulosa, 49 % selulosa, dan 35% lignin. Serat kulit pohon waru perlakuan konsentrasi alkali NaOH 9 % memiliki kandungan 10 % hemiselulosa, 47 % selulosa, dan 43 % lignin. Serat kulit pohon waru perlakuan konsentrasi alkali NaOH 12 % memiliki kandungan 9 % hemiselulosa, 47 % selulosa, dan 44 % lignin.

Berdasarkan hasil di atas dapat diketahui bahwa konsentrasi alkali NaOH mempengaruhi komposisi kandungan zat lignin, hemiselulosa, dan selulosa. Semakin tinggi konsentrasi alkali NaOH maka kandungan zat lignin akan mengalami peningkatan akan tetapi terjadi penurunan kandungan zat hemiselulosa dan selulosa. Hal tersebut dikarenakan ada dugaan material serat kulit pohon waru pada masing-masing sampel konsentrasi alkali NaOH tidak homogen dan tidak berasal dari satu pohon, sehingga tidak dapat

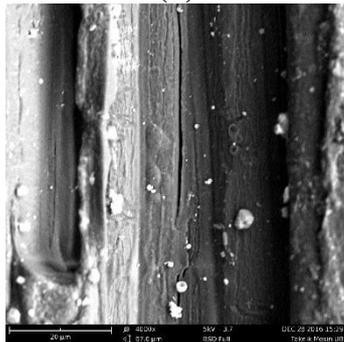
membuktikan dasar teori yang menjelaskan bahwa semakin tinggi konsentrasi alkali NaOH, maka lignin yang terdapat pada serat alam akan mengalami penurunan. Namun, konsentrasi alkali yang diberikan pada serat kulit pohon waru mempengaruhi kandungan lignin, hemiselulosa dan selulosa yang terdapat serat sehingga memiliki pengaruh terhadap kekuatan tarik serat tunggal dan kekuatan tarik komposit.

Konsentrasi alkali mempengaruhi pelepasan kandungan zat lignin, hemiselulosa dan selulosa yang akan menyebabkan terjadinya kekasaran permukaan serat. Permukaan serat yang terdapat pada masing-masing variasi konsentrasi alkali NaOH terdapat pada Gambar 7.





(d)



(e)

Gambar 7. Hasil foto SEM pembesaran 4000X pada serat kulit pohon waru (a) Serat tanpa perlakuan alkali NaOH, (b) Serat konsentrasi alkali NaOH 3%, (c) Serat konsentrasi alkali NaOH 6%, (d) Serat konsentrasi alkali NaOH 9%, (e) Serat konsentrasi alkali NaOH 12%

Gambar 7 menunjukkan hasil foto SEM serat kulit pohon waru dapat diketahui bahwa serat tanpa perlakuan alkali NaOH masih terdapat zat lignin. Jumlah zat lignin mengalami penurunan yang terdapat dalam serat kulit pohon waru terjadi pada konsentrasi alkali 3 %. Serat kulit pohon waru konsentrasi alkali NaOH 6 % memiliki kekasaran permukaan dan pengurangan lignin yang dapat menghasilkan ikatan antar serat dan matrik yang baik. Terjadinya penurunan kekuatan tarik komposit variasi konsentrasi alkali NaOH 9 % dan 12 %, dikarenakan terdapatnya kandungan zat hemiselulosa dan selulosa yang terlepas dari serat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan, bahwa prosentase larutan NaOH dalam proses perendaman alkali mempengaruhi

kekuatan tarik serat tunggal pada serat kulit waru. Perlakuan alkali NaOH pada serat kulit waru yang memiliki pelepasan kandungan lignin, selulosa dan semiselulosa maksimal adalah perlakuan alkali NaOH dengan prosentase 6 %. Perlakuan alkali NaOH dengan prosentase 6 % dapat menjadi standar proses alkalisasi pada serat kulit waru yang akan digunakan untuk *reinforcement* komposit, sehingga akan mempengaruhi ikatan antar serat kulit waru sebagai *reinforcement* dan resin sintesis sebagai matrik yang menjadikan kekuatan komposit semakin kuat.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Widyagama Malang dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Widyagama Malang yang telah membiayai kegiatan ini melalui Penelitian Rintisan Dosen (PERINTIS) Tahun Anggaran 2018.

Referensi

- [1] B. Maryanti, A. A. Sonief, and S. Wahyudi, "Pengaruh Alkalisasi Komposit Serat Kelapa-Poliester Terhadap Kekuatan Tarik," J. Rekayasa Mesin, vol. 2, no. 2, pp. 123–129, 2011.
- [2] A. R. Fadhillah, S. A. Setiyabudi, and A. Purnowidodo, "Karakteristik Komposit Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) berdasarkan Jenis Resin Sintesis terhadap Kekuatan Tarik dan Patahan Komposit," J. Rekayasa Mesin, vol. 8, no. 2, pp. 101–108, 2017.
- [3] I. W. Widiarta, I. N. P. Nugraha, and K. R. Dantes, "Pengaruh Orientasi Serat terhadap Sifat Mekanik Komposit Berpenguat Serat Alam Batang Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) dengan Matrik Polyester," J. Jur. Pendidik. Tek. Mesin, vol. 8, no. 2, pp. 1–17, 2017.
- [4] A. Prasetyo, H. Purwanto, and S. M. B. Respati, "Pengaruh Waktu

- Perendaman Serat Kulit Pohon Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) pada Air Laut terhadap Struktur Mikro dan Kekuatan Tarik,” *J. Momentum*, vol. 12, no. 2, pp. 42–47, 2016.
- [5] W. A. Wirawan, T. D. Widodo, and A. Zulkarnain, “Analisis Penambahan Coupling Agent terhadap Sifat Tarik Biokomposit Kulit Waru (*Hibiscus Tiliaceus*) - Polyester,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 35–41, 2018.
- [6] B. Prasetya and M. Zainuri, “Pengaruh Fraksi Berat Serat Waru terhadap Sifat Mekanik Kampas Rem Kereta Api Komposit Non Asbestos,” *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 6, no. 2, pp. 2–7, 2017.
- [7] Kurniawan, H. S. B. Rochardjo, and S. Darmanto, “Pengaruh Perlakuan Alkali dan Steaming terhadap Kekuatan Tarik Serat Tunggal Pelepah Salak (*Salacca Zalacca*),” in *Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa*, 2017, pp. 1–6.
- [8] I. N. P. Nugraha, “Pengaruh Perlakuan Kimia Serat Alam Ramie terhadap Kekuatan Tarik Serat Tunggal,” *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuruan*, vol. 8, no. 2, pp. 89–98, 2011.
- [9] P. K. Ilankeeran, P. M. Mohite, and S. Kamle, “Axial Tensile Testing of Single Fibres,” *Mod. Mech. Eng.*, vol. 2, no. 4, pp. 151–156, 2012.