

Optimasi Sifat Biofiber Sisal melalui Modifikasi dengan impregnasi dan Asam Stearat untuk aplikasi Biokomposit

Rita Desiasni^{1*}, Nurul Izzati², Sukarsih³ & Muhammad Riski⁴

^{1,3,4}Fakultas Teknologi Lingkungan dan Mineral²Fakultas Ilmu &

²Teknologi Hayati Universitas Teknologi Sumbawa

*Email: rita.desiasni@uts.ac.id

ABSTRACT

This research aims to optimize the properties of biofiber made from sisal fiber through modification with stearic acid. Sisal fiber is known to have high potential as a natural raw material, but its mechanical properties still need to be improved for wider industrial applications. The modification process is carried out by soaking the sisal fiber in a stearic acid solution with varying concentrations. Laboratory tests were carried out to evaluate the effectiveness of modifying the physical properties of sisal biofiber in the form of 1 cm short fiber fibers and 200 mesh sisal powder to determine the most effective modification between the two fiber sizes. Based on the results obtained, the highest cellulose, namely 64.7%, was obtained from the results of impregnation of the fiber. The lignin content decreased in impregnated sisal fiber to 9.2% from 12.48% without treatment. The results of NDF which produce cellulose and lignin levels are strengthened by SEM results on 4% sisal fiber. These results show that the sisal fiber without stearic acid treatment shows a greater distribution of lignin compared to the sisal fiber treated with 4% stearic acid.

Keywords: Cissal fiber; Stearic acid; Impregnation

PENDAHULUAN

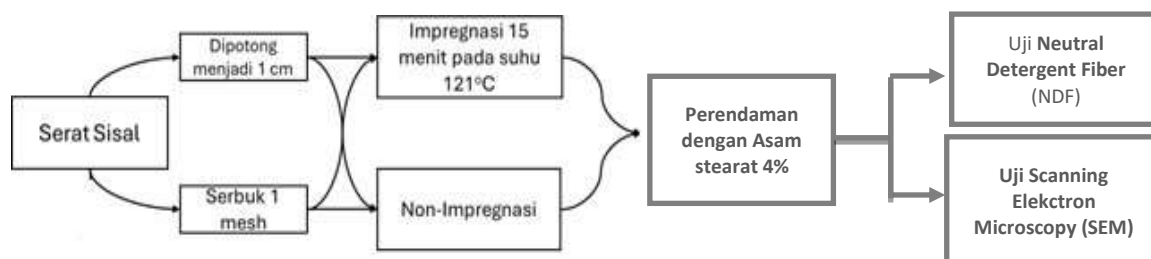
Biomposit merupakan salah satu jenis material yang mulai banyak dikembangkan dan diaplikasikan dalam berbagai bidang. Biokomposit dikenal dengan sifatnya yang ringan, tahan korosi, serta memiliki sifat mekanik yang cukup baik dan ramah lingkungan dibandingkan serat sintesis. Saat ini, banyak dilakukan pengembangan komposit dengan menggunakan serat alam sebagai penguat [1]. Namun yang menjadi tantangan utama dalam penyusunan komposit serat alam ialah sifat suka air (*hydrophilic*) serat yang bertentangan dengan sifat matriks yang tidak suka air (*hidrofobic*). Perbedaan sifat ini menyebabkan serat alam dan matriks sulit untuk berikatan. Oleh karena itu, sebelum dicampurkan dengan matriks, perlu dilakukan modifikasi permukaan serat alam untuk mengurangi sifat *hydrophilic* serat agar interaksi atau ikatan dan daya rekat antara serat dan matriks dapat terjadi secara optimal [2]. Modifikasi permukaan serat dapat dilakukan dengan berbagai metode. Salah satu metode yang paling banyak digunakan ialah perlakuan serat secara alkalisasi. Alkalisasi merupakan metode perlakuan serat alam yang dilakukan dengan merendam serat dalam larutan basa seperti NaOH dengan konsentrasi tertentu selama beberapa jam. Proses alkalisasi bertujuan untuk menghilangkan atau mengurangi kandungan lignin serta pengotor lainnya pada serat sehingga dihasilkan serat yang lebih bersih serta permukaan yang lebih kasar. Hal ini tentunya dapat meningkatkan daya rekat serta interlocking antar serat dan matriks. Namun, penggunaan senyawa alkali memiliki sifat toksitas yang tinggi sehingga limbah yang dihasilkan dari proses perendaman berpotensi dapat mencemari serta membahayakan lingkungan [3]. Selain itu, perlakuan serat dengan alkalisasi dinilai masih belum optimal dalam menghilangkan kadar lignin dalam serat, hal ini ditunjukkan pada penelitian yang menganalisis pengaruh alkalisasi terhadap pemisahan selulosa dan lignin pada serat eceng gondok. Berdasarkan hasil penelitiannya, dijelaskan bahwa alkalisasi serat dengan NaOH hanya mengurangi kadar lignin serat sebesar 0,51 %, dimana kadar lignin yang awalnya (sebelum dialkalisasi) 12,01 % hanya berkurang menjadi 11,50% setelah dialkalisasi. Sehingga dengan masih Adanya kandungan lignin pada serat dapat mengurangi daya rekat antara serat dengan matriks [4]. Oleh karena itu perlu dikembangkan metode perlakuan serat yang lebih ramah lingkungan serta memiliki kemampuan yang lebih optimal dalam mengurangi kadar lignin, yakni penerapan reaksi esterifikasi pada biofiber. Prinsip dari perlakuan ini ialah gugus karboksil dari asam stearat dapat bereaksi dengan gugus OH dari

permukaan serat melalui reaksi esterifikasi, sehingga dapat mengurangi sifat hidrophilic serat. Pada penelitian [5]

menganalisis pengaruh perlakuan serat dengan asam stearat terhadap struktur kimia dan daya serap air komposit polieseter berpenguat serat kenaf. Hasil penelitian menunjukkan perlakuan serat dengan asam stearat dapat mengurangi daya serap air komposit karena penambahan konsentrasi asam stearat hingga 0,8% dapat meningkatkan adhesi antara serat dan matriks. Oleh karena itu, berdasarkan permasalahan di atas, pada penelitian ini akan dilakukan modifikasi permukaan serat dengan menggunakan bahan yang dikenal lebih ramah lingkungan serta proses modifikasi yang lebih mudah dan sederhana yaitu dengan menggunakan asam stearat. Pada penelitian ini, penulis akan meneliti pengaruh perlakuan serat alam yakni serat sisal dari daerah Sumbawa (kecamatan Labangka) dengan menggunakan berbagai variasi konsentrasi asam stearat terhadap kandungan NDF, kondisi morfologi biofiber menggunakan Analisa SEM pada serat sisal.

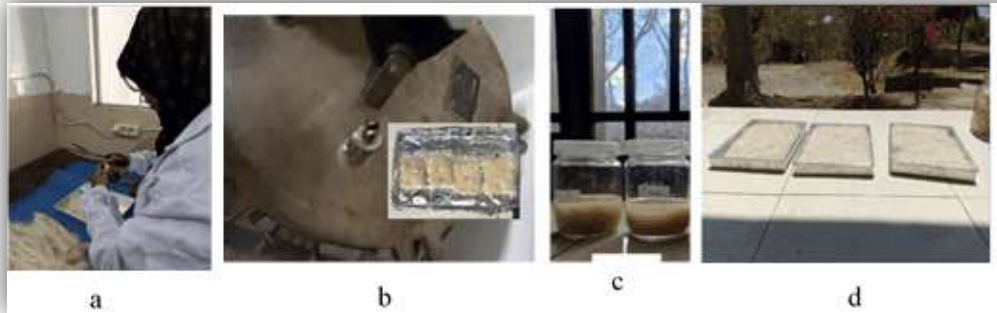
METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode esterifikasi atau proses modifikasi permukaan serat sisal untuk optimasi serat menggunakan asam stearat. Pada tahapan ini bahan serat sisal yang diperoleh dari kecamatan Labangka, kabupaten Sumbawa dilakukan proses pembersihan terlebih dahulu dengan pencucian aquades. Selanjutnya dilakukan perendaman serat sisal dan serbuk selama 2 jam dengan larutan stearat pada dengan konsentrasi 4% agar terjadi reaksi esterifikasi antara serat sisal dan laurium stearat. Selanjutnya akan dianalisa kadar lignin, selulosa dan hemiselulosa pada serat dan serbuk sisal dengan analisa NDF dan SEM pada permukaan. Berikut alur penelitian sesuai



Gambar 1. Alur serat dan serbuk sisal dalam menentukan kadar NDF, lignin dan selulosa

Adapun uraian tahapan yang dilakukan yakni Pembersihan serat sisal dan pemotongan serat: Sampel harus dibersihkan dari kotoran dan kontaminan pada serat sisal. Serat sisal yang telah dibersihkan kemudian dibuat dua variasi yakni serat sisal dengan ukuran di 1 cm (serat pendek) dan serbuk sisal dengan ukuran 200 mesh pada dua perlakuan yakni impregnasi dan non-impregnasi. Selanjutnya serat dan serbuk dilanjutkan dengan proses impregnasi. Tujuan proses impregnasi dapat meningkatkan daya tahan dan kekuatan serat sisal, menjadikannya lebih tahan terhadap beban dan tekanan. Selain itu, proses impregnasi dapat membantu melindungi serat dari kerusakan akibat kelembaban, yang dapat menyebabkan pembusukan atau pengurangan kekuatan. Impregnasi dapat memberikan permukaan serat yang lebih halus dan lebih baik. Setelah serat sisal diimpregnasi, dilanjutkan dengan proses esterifikasi yakni proses perendaman serat sisal dan serbuk sisal dengan asam stearat dengan konsentrasi 4% dalam waktu 2 jam. Setelah proses perendaman selesai dilakukan, maka serat dan serbuk sisal dikeringkan dengan tujuan menghilangkan kadar air pada serat dan serbuk sisal.



Gambar 2. (a). pembersihan dan pemotongan serat sisal; (b) proses impregnasi; (c) Perendaman serat dan serbuk sisal dengan asam stearate 4%; (d) Pengeringan serat sisal

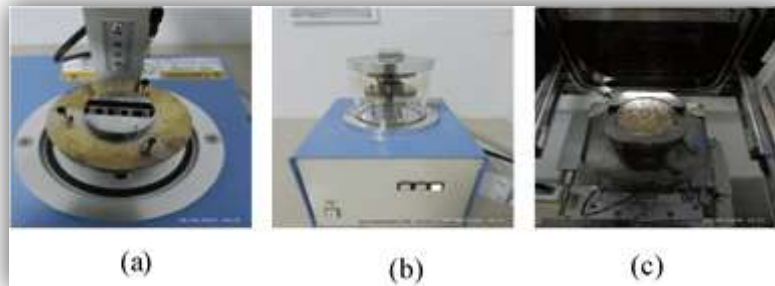
Setelah proses pengeringan pada serat dan serbuk sisal, maka selanjutnya dilakukan proses pengujian NDF pada serat dan serbuk yang terimpregnasi dan non-impregnasi serta treatment asam stearate 4% dan Pengujian SEM. Adapun proses pengujian NDF dan SEM sebagai berikut :

- a. Pengujian NDF merupakan metode yang digunakan untuk mengukur fraksi serat kasar yang tidak larut dalam deterjen netral, yang mencakup lignin dan selulosa. Pengukuran ini penting untuk memahami kondisi permukaan serat dan ketahanan serat sisal terhadap degradasi. Tahapan Pengujian NDF: Serat ukuran 1 cm dan serbuk sisal ukuran 200 mesh diberishkan kemudian dilakukan tahap impregnasi, setelah itu dilakukan proses treatment asam stearat dengan konsentrasi 4%. Setelah itu serat sisal dan serbuk sisal dikeringkan untuk menghilangkan kadar air. Selanjutnya sampel dilakukan proses uji NDF. Tahapan ini meliputi proses perebusan dalam larutan deterjen netral (sodium lauryl sulfate) selama 1 jam. Proses ini bertujuan untuk melarutkan komponen non-serat, sehingga hanya serat yang tersisa. Kemudian serat sisal pencucian, sampel disaring untuk memisahkan fraksi serat. Fraksi yang tertinggal adalah NDF, yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin.



Gambar 3. Tahapan pengujian *Neutral Detergent Fiber* (NDF)

- b. Pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM) adalah metode yang sangat efektif untuk menganalisis permukaan dan morfologi serat sisal pada masing – masing sampel pengujian dengan resolusi tinggi yang telah diamati. Berikut adalah langkah-langkah umum dalam proses pengujian SEM:



Gambar 4. (a) Persiapan variasi sampel serat sisal sebelum dilakukan proses coating dengan Au; (b) Proses Coating Au pada variasi serat sisal 4% impregnasi & asam stearate; (c) Sampel yang telah di coating dengan Au dan akan dimasukkan ke dalam SEM

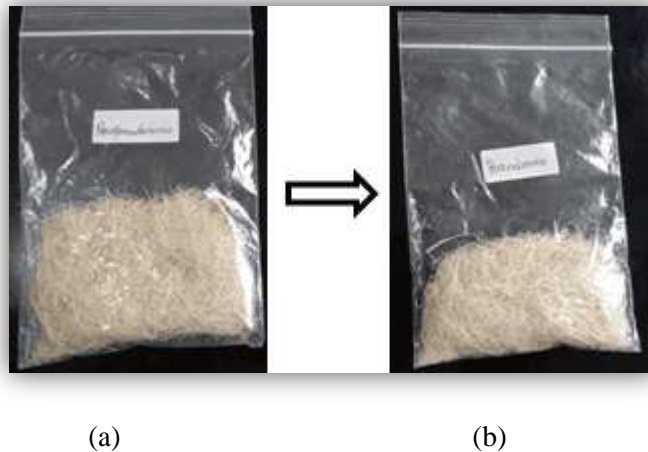
Beberapa tahapan yang dilakukan pada pengujian *Scanning Electron Microscopy (SEM)* yakni persiapan variasi sampel serat sisal yang telah dilakukan proses impregnasi dan variasi asam stearat sebelum dilakukan proses coating dengan Au. Karena sampel berupa serat sisal (bersifat isolator) maka perlu dilapisi dengan lapisan konduktif (lapisan emas). Hal ini bertujuan untuk mencegah muatan listrik saat pemindaian. Sampel dipasang pada stub menggunakan double-sided tape atau lem konduktif. Sampel yang telah di coating dengan Au dan akan dimasukkan ke dalam alat SEM. Proses analisa SEM pada serat sisal dilakukan dengan tahapan sebagai berikut : (1) Serat sisal di letakkan dalam mikroskop, kemudian dilakukan pemfokusan untuk mendapatkan gambar yang jelas. (2) Melakukan proses pemindaian gambar dengan target serat sisal. Gambar yang dihasilkan dapat dianalisis untuk informasi morfologi, tekstur, dan ukuran partikel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Serat sisal yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari Labangka, Kabupaten Sumbawa dengan grade A. Serat tersebut kemudian dicuci menggunakan aquades. Serat sisal kemudian dibagi menjadi dua bentuk yaitu ukuran 1 cm dan serbuk sisal ukuran 200 mesh. Kedua bentuk sampel diberikan perlakuan impregnasi dan non-impregnasi kemudian selanjutnya diberikan perlakuan asam stearate konsentrasi 4% untuk meningkatkan kadar selulosa dan menurunkan kadar lignin. Untuk itu, dilakukan improvisasi treatment yaitu melalui tahap impregnasi sebelum perendaman dengan asam stearat. Adapun hasil analisis dari perlakuan tersebut sebagai berikut. Sehingga, dilakukan perbandingan hasil treatment yang dilakukan impregnasi dengan yang tidak. Berikut hasil pengujian serat sisal antara lain :

Hasil Analisa perubahan fisik serat sisal setelah proses impregnasi dan perlakuan asam stearate 4%. Tujuan dari tahapan ini adalah untuk meningkatkan persentase selulosa dan menurunkan persentase lignin pada serat dan serbuk sisal sehingga dapat menjadi acuan bahan pengisi dalam pembuatan biokomposit. Sehingga dilakukan penambahan strategi sehingga perlakuannya menjadi kombinasi secara fisik dan kimia. Untuk itu, dilakukan perbandingan antara serat sisal sepanjang 1 cm dengan serbuk perlakuan impregnasi dengan tanpa impregnasi. Parameter uji yang digunakan adalah *Neutral Detergent Fiber (NDF)* dan *Scanning Electron Microscope (SEM)*. Proses perlakuan dengan asam stearate 4% bertujuan untuk menghilangkan lapisan lignin dan hemiselulosa. Hasil Analisa pertama yakni melihat secara langsung perubahan yang terjadi pada serat sisal setelah diberikakan perlakuan asam stearate 4%. Reaksi esterifikasi yang melibatkan asam stearate mampu memberikan perubahan secara fisik pada serat sisal. Proses ini berfungsi untuk menghilangkan sisa lignin dan hemiselulosa. Proses esterifikasi dilakukan menggunakan asam stearat dan larutan etanol 96%. Menurut penelitian [6] bahwa modifikasi kimia secara esterifikasi bertujuan untuk menghilangkan senyawa-senyawa pengotor pada permukaan pengisi (serat maupun serbuk). Hal tersebut juga berpengaruh terhadap sifat mekanik dan reaksi pengikatan gugus hidroksil pada proses esterifikasi. Pengotor yang hilang karena proses esterifikasi asam stearate 4% mampu

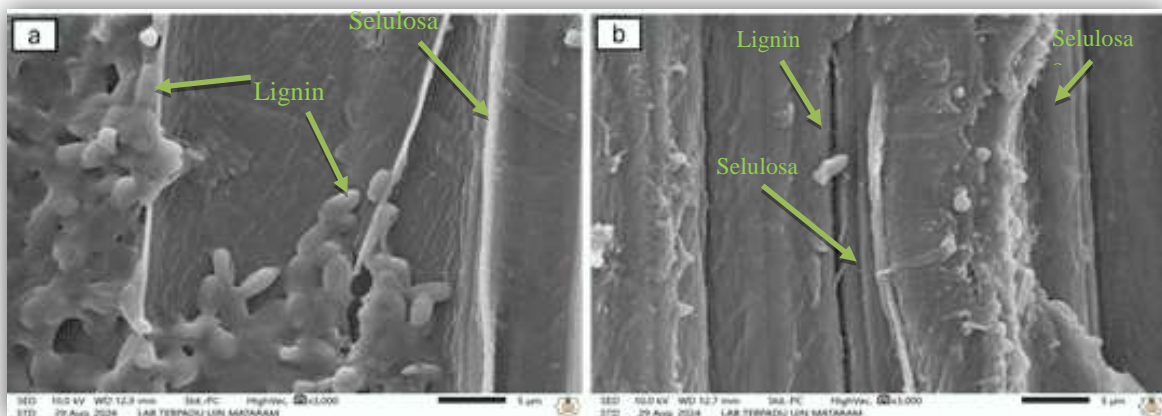
meningkatkan kemurnian kandungan selulosa yang dihasilkan pada serat.



Gambar 5. (a) Serat sisal non-impregnasi tanpa perlakuan asam stearat (b) Sisal impregnasi dan setelah perlakuan 4% asam stearat

Pada Gambar 5 menunjukkan kondisi serat sisal non-impregnasi dan tanpa perlakuan esterifikasi menggunakan asam stearat 4% pada serat sisal sangat mempengaruhi perubahan warna pada serat sisal. Gambar 5(a) menunjukkan bahwa warna serat sisal tidak bersih/pucat. Sedangkan pada Gambar 5 (b) menunjukkan dengan adanya perubahan warna yang semakin terang dan bersih pada serat sisal dibandingkan serat sisal yang tanpa diberikan perlakuan ipregnasi dan esterifikasi asam stearat 4%. Menurut [7] perubahan warna yang terjadi pada serat yang semakin terang disebabkan karena jumlah lignin pada serat sisal semakin berkurang. Keterdapatn lignin dan selulosa pada permukaan serat sisal dikonfirmasi berdasarkan pengujian *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

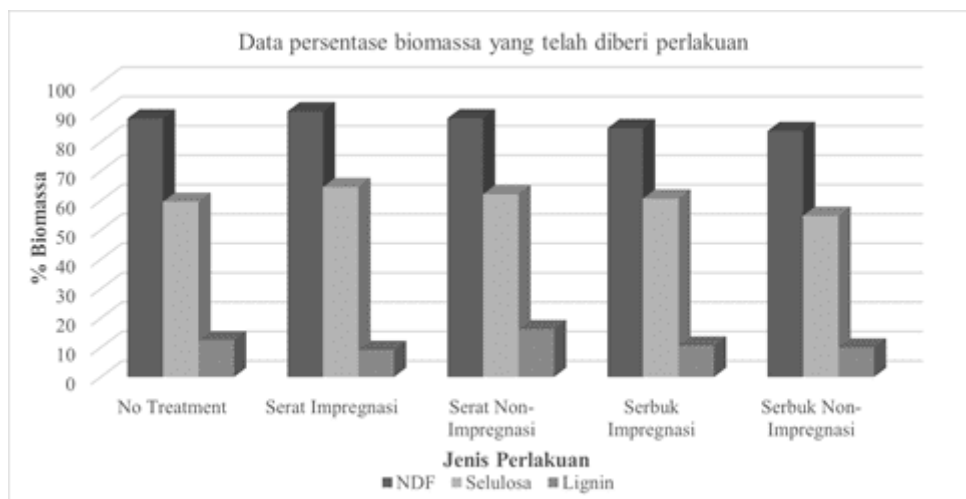
Berdasarkan analisis morfologi pada ekstraksi selulosa limbah sisal menggunakan alat uji *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Sampel yang diuji merupakan sampel yang telah melewati tahap esterifikasi asam stearat 4% analisis morfologi dilakukan untuk mengidentifikasi tofografi permukaan sampel dan komposisi yang terdapat pada sampel. Identifikasi dilakukan dengan menganalisis gambar tofografi permukaan sampel yang diperoleh dari hasil pengujian. Hasil yang diperoleh disesuaikan dengan karakteristik posisi selulosa dan lignin pada serat sisal sebelum diberikan perlakuan asam stearate dan dalam kondisi diberikan perlakuan asam stearat 4%.



Gambar 6. Foto serat sisal menggunakan SEM dengan perbesaran 3,000x serat sisal menggunakan SEM. a) serat sisal tanpa perlakuan, b) serat sisal yang telah diimpregnasi kemudian direndam dengan asam stearat 4%.

Gambar 6 menunjukkan komponen lignin dan selulosa pada serat sisal yang mana terlihat sangat rapat. Hal ini menunjukkan kondisi awal serat yang mana lignin mengikat polimer lainnya sehingga biomassa menjadi padat dan keras. Lignin merupakan polimer pada biomassa yang mengikat selulosa dan berada pada permukaan biomassa. Gambar b menunjukkan morfologi dari serat sisal sisal yang telah diberi perlakuan impregnasi dan asam stearate 4%. Pada gambar 4.6 (b) memperlihatkan struktur pada limbah sisal sudah renggang. Struktur yang renggang terlihat dari lapisan lignin terkelupas dan lepas dari selulosa. Pengelupasan lignin pada dinding sel limbah sisal mengakibatkan struktur limbah sisal mulai melemah dan terdegradasi permukaannya. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang telah dilakukan menyebabkan terjadinya pemisahan ikatan antara selulosa dan lignin [8]. Selain itu, menurut [9] menjelaskan tentang identifikasi warna coklat/pucat pada serat mengindikasikan kadar lignin pada sampel. Kandungan selulosa, lignin dan hemiselulosa pada limbah sisal setelah proses impregnasi dan treatment asam stearate 4% (Gambar 5).

Salah satu kendala utamanya adalah masih tingginya kadar lignin dan rendahnya selulosa sehingga mengurangi daya adhesi ketika digunakan sebagai biokomposit. Untuk itu diperlukan strategi untuk meningkatkan kadar selulosa dan menurunkan kadar lignin pada serat sisal. Untuk mengetahui pengaruh perendaman dengan asam stearat 4%, serat sisal kemudian dibagi menjadi dua bentuk yaitu ukuran 1 cm dan serbuk kemudian kedua ukuran tersebut ada yang diimpregnasi dan tidak, untuk mendapatkan strategi yang paling efisien. Keseluruhan perlakuan tersebut diperoleh hasil NDF seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengaruh perendaman serat sisal dengan asam stearat 4% terhadap penurunan kadar lignin dengan berbagai perlakuan awal

Nilai Neutral Detergent Fiber (NDF) menunjukkan komponen penyusun dinding sel biomassa terutama kadar lignin, hemiselulosa dan selulosa (AAFCO's Laboratory Methods and Services Committee, 2017). Berdasarkan Gambar 7 kondisi awal serat sisal tanpa perlakuan menunjukkan kadar NDF adalah 87,79%, selulosa 59,63%, dan lignin 12,48%. Semakin tinggi kadar NDF suatu biomassa, maka akan semakin tinggi seratnya sehingga sukar untuk tercerna sehingga semakin tinggi potensinya sebagai bahan biokomposit [10]. Kadar 87,79% pada serat sisal menunjukkan nilai yang tinggi untuk dijadikan kandidat biokomposit [11]. Adapun sisal yang direndam dengan asam stearat, baik berupa serat atau serbuk, impregnasi atau non-impregnasi, menunjukkan nilai NDF yang berbeda. Sisal yang berbentuk serat memiliki nilai NDF yang paling tinggi dibandingkan dengan yang serbuk dan tertinggi dicapai pada serat yang diimpregnasi yaitu sekitar 90%, sebaliknya, nilai NDF untuk serbuk sisal mengalami penurunan dibandingkan tanpa perlakuan. Hal ini mengindikasikan bahwa serat terimpregnasi berhasil mempertahankan serat pada sisal, sedangkan untuk serbuk mengalami penurunan dan terendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya, yaitu sekitar 84%. Rendahnya kadar serbuk sisal dimungkinkan dengan terjadinya

penghancuran polimer-polimer penyusun sisal.

Pengaruh perendaman dengan asam stearat terhadap kadar selulosa juga terlihat sebagaimana grafik pada Gambar 7. Selulosa tertinggi, yaitu 64,7%, diperoleh dari hasil impregnasi pada serat kemudian diikuti oleh serat non impregnasi sebanyak 62,2%. Adapun kadar selulosa untuk bentuk serbuk mengalami penurunan dan terendah diperoleh pada serbuk non-impregnasi yaitu sebesar 54,9%. Hal ini dimungkinkan terjadinya degradasi selulosa oleh asam stearat pada serbuk ketika terjadi perendaman. Adapun kadar lignin mengalami penurunan pada serat sisal yang diimpregnasi menjadi 9,2% dari 12,48% ketika tanpa perlakuan. Adapun kadar lignin pada serbuk sisal berkurang 2% dibandingkan yang tanpa perlakuan.

Dari hasil NDF diketahui bahwa proses impregnasi yang diikuti dengan perendaman dengan asam stearat dapat meningkatkan kadar selulosa dan menurunkan kadar lignin sehingga dapat dijadikan acuan untuk meningkatkan kualitas serat sisal sebagai biokomposit. Adapun sisal bentuk serbuk memiliki nilai NDF yang rendah, kadar selulosa yang rendah dibandingkan dengan perlakuan lainnya serta pengurangan kadar lignin yang tidak signifikan dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Diasumsikan bahwa terjadinya degradasi serat pada sisal bentuk serbuk ketika terjadinya perendaman dengan asam stearat.

KESIMPULAN


Proses impregnasi dan esterifikasi asam stearate pada serat dan serbuk sisal memberikan hasil yang optimal dalam proses modifikasi permukaan sisal. Kadar selulosa tertinggi 64,% diperoleh pada hasil impregnasi dan esterifikasi asam stearate 4% dibandingkan dengan non-impregnasi. Kondisi ini terjadi pada sampel serbuk, bahwa serbuk sisap yang mengalami perlakuan impregnasi dan esterifikasi asam stearate menghasilkan 6% selulosa lebih tinggi dibandingkan serbuk sisal non impregnasi. Dari kedua sampel tersebut dapat disimpulkan bahwa proses impregnasi serat sisal dan esterifikasi dengan asam stearate 4% berhasil karena kadar lignin mengalami penurunan pada serat sisal yang diimpregnasi menjadi 9,2% dari 12,48% ketika tanpa perlakuan.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih diucapkan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah memberikan bantuan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Haryanti, N.H & Whrdhana, H, "Potensi Serat Alam Sebagai Material Komposit". Lambung Mangkurat University Press. Banjarmasin, 2017.
- [2] Koohestani, H., Darban,A.K., Mokhtari,P., Yilmaz, E., darezerezshki, E "Comparison of Different Natural Fiber Treatments: a Literature Review". International Journal of Environment Science and Technology. 2018
- [3] Arsyad, M. "Efek Perendaman Serat Sabut Kelapa dalam Larutan Alkali Terhadap Daya Serap Serat Sabut Kelapa pada Matriks Poliester". Journal INTEK, 3(1), 15-19, 2016
- [4] Lutfi, M. "Analisis Pengaruh Waktu Pretreatment dan Konsentrasi NaOH terhadap Kandungan Selulosa , Lignin dan Hemiselulosa Eceng Gondok pada Proses Pretreatment Pembuatan Bioetanol", Vol. 2, No.2: 110–116, 2014.
- [5] Salem, I. A. S., Rozyanty, A. R., Betar, B. O., Adam, T., Mohammed, M., & Mohammed, A.M. "Study of the effect of surface treatment of kenaf fiber on chemical structure and water absorption of kenaf filled unsaturated polyester composite" In Journal of Physics: Conference Series (Vol. 908, No. 1, p. 012001). IOP Publishing, 2017.
- [6] Ginting, M, H,S., Hasibuan, R. "Pengaruh Asam stearat Terhadap Sifat Ketangguhan Patah/Modulus Of Rupture Papan Partikel Termoplastik Bekas Berpengisi Tempurung Kelapa" Jurnal Teknik Kimia (Volume 3, No.1). 2014.
- [7] Jufrinaldi. "Isolasi Selulosa Dari Bagas Tebu Melalui Pemanasan Iradiasi". Jurnal Ilmiah

- ◆ 
- Teknik Kimia UNPAM, Vol. 2 No. 2. 2018
- [8] Rezania, S., Alizadeh, H., Cho, J., Darajeh, N., Park, J., Hashemi, B., Din, M., Krishnan, S., Yadav, K., Gupta, N., dan Kumar, S. (2019) ‘Changes in composition and structure of water hyacinth based on various pretreatment methods’, Vol. 14: 6088–6099.
- [9] Wibisono, Ivan s. “Pembuatan Pulp dari Alang-alang”. Dalam Widya Teknik, 10 (1): 11-20. 2011.
- [10] J. P. Borges, J. P. Canejo, S. N. Fernandes, P. Brogueira and M. H. Godinho Year: 2014, Page 215 DOI: [10.1002/9781118872246.ch8](https://doi.org/10.1002/9781118872246.ch8)
- [11] Alzarieni, K.Z., Alzoubi, O.M., Jaber, A.A. *et al.* Characterization of a novel natural cellulosic fiber obtained from the fruit of *Tipuana tipu*. *Biomass Conv. Bioref.* (2024). <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05414-7>