JURNAL rekayasa mesin
ISSN 2477-6041 articles 20, pp. 225 – 234, 2023
Vol. 14. No.1

PHYSICAL, MECHANICAL, AND MORPHOLOGICAL CHARCTERISTICS OF KAPOK (CEIBA PENTANDRA) TREE BARK AND EPOXY COMPOSITE WITH COATING (AESO) TREATMENT

Suparjon [1)] ✉, ***Femiana Gapsari*** [1)], ***Budi Purnomo*** [1)]

[1)] ***Mechanial Engineering Department***
Manufacturing Industry
Universitas Brawijaya
suparjon10@gmail.com
femianagapsari@gmail.com
Budiakademika2@gmail.com

Abstract

Environmentally friendly composites continue to be developed from kapok tree fiber (Ceiba pentandra) with an epoxy matrix. This study aims to characterize the tensile behavior of single fiber and its composite, the pull-out properties of kapok tree fiber, and morphology of the fiber. Kapok tree fibers were varied in the NaOH solution and the AESO polymer. Single fiber tensile test and pull out refer to the ASTM D3379-75 and ASTM E399 standards, respectively. The composite manufacturing method used in this research was the infusion vacuum resin method with reference to the ASTM D638 standard. The results of the tensile test (composite) showed that the kapok bark fiber with the characteristics of NaOH + Coating had a greater tensile strength (197,88 Mpa), than that without treatment and NaOH treatment. Of all the characteristics of the kapok bark fiber, the highest value of the tensile strength was the fiber treated with NaOH + Coating (KNC). The results of fiber morphology showed proved that the NaOH treatment increased the surface hardness by eliminating the bonds of surface crystallinity, topography, water absorption, unit cell structure and fiber orientation. These results indicate that kapok tree fiber treated with 7% NaOH + coating with AESO polymer has high potential as a structural material to replace wood or textile materials.

Keywords: *Ceiba Pentandra Fiber, Polimer Coating (AESO), Composite, Single Fiber, Pull Out, NaOH Treatment.*

1. PENDAHULUAN

Serat sintesis seperti kaca, aramid dan penguat komposit tradisional lainnya menunjukkan sifat yang kurang menguntungkan seperti biaya produksi tinggi, sulit diperbaharui dan berbahaya bagi lingkungan. [1,2]. Hal ini mendorong pengembangan serat alam *lignoselulosa* seperti sisal, sabut, goni, rami, daun nanas (*PALF*), dan kenaf. Serat-serat alam tersebut telah terbukti dapat menggantikan serat sintetis pada produk rekayasa di sektor otomotif dan dirgantara untuk menurunkan biaya bahan baku produksi produk rekayasa otomotif dan dirgantara [3]. Serat ini memiliki banyak sifat menguntungkan yang menjadikannya alternatif yang menarik seperti *biodegradable*, murah, kepadatan lebih rendah, mudah didapat, terbarukan dan tidak menimbulkan bahaya kesehatan dibandingkan dengan serat sintetis

Corresponding Author:
✉ ***Suparjon***
Received on: 2022-08-10
Revised on: 2022-07-30
Accepted on: 2022-08-10

DOI: 10.21776/jrm.v14i1.1218
Copyright: © 2023 by the authors.

[4,5,6]. Dalam studi ini mempelajari komposit yang dibuat dari sumber *biodegradable* atau diperkuat serat alam (*Natural Fiber*), yang mana serat atau matriks atau keduanya dapat didaur ulang dan *biodegradable* [7,2].

Salah satu serat alam yang sangat potensial sebagai biokomposit yaitu serat kulit kayu pohon kapuk (*Ceiba pentandra*). *Ceiba pentandra* merupakan pohon tropis yang termasuk dalam famili *Malvaceae* dan tumbuh di berbagai negara seperti Meksiko, Asia Tenggara (Indonesia) Amerika, Afrika Selatan, dan India. Karakteristik serat kulit pohon kapuk (*Ceiba pentandra*) telah diteliti dan menunjukkan bahwa serat kulit pohon kapuk mengandung 60,9% (w/w) selulosa, 17,5% (w/w) *hemiselulosa*, dan 23,5% (w/w) lignin, indeks densitas dan kristalinitasnya masing-masing sebesar 682 kg/m3 dan 57,94% serta analisis TGA dan DTG menunjukan bahwa serat kulit pohon kapuk stabil secara termal hingga 342,1°C [11]. Sifat biokomposit dari serat kulit pohon kapuk sangat bergantung pada karakteristik serat kulit pohon kapuk itu sendiri dan matriks polimer serta *interface* antara keduanya. Hidrofilisitas serat kulit pohon kapuk yang tinggi menghasilkan penyerapan air yang tinggi dan daya rekat yang lemah pada matriks hidrofobik. Oleh karena itu, serat kulit pohon kapuk ini masih dapat diperbaiki karakteristiknya dengan perlakuan permukaan dengan larutan alkali (NaOH) dan *polimer coating* AESO (*Acrylated Epoxidized Soybean Oil*) untuk meningkatkan daya rekatnya dengan matriks polimer [8].

Beberapa studi terdahulu modifikasi serat timoho menggunakan larutan kimia alkali telah dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanik, fisik, kimia, indeks kekeristalan dan termal [9]. Serat timoho setelah diperlakukan perendaman dengan NaOH mengalami perubahan warna menjadi bersih dan cerah, ketahanan termal, indeks kekeristalan, kandungan *celulosa* dan *density* meningkat. Sedangkan kekuatan Tarik serat timoho meningkat sangat signifikan yaitu meningkat sebesar 555,26% setelah diperlakukan NaOH dengan konsentrasi 9%. Efektifitas *polimer coating* (AESO) pada biokomposit serat rami, persentase penyerapan air (Wm) pada kesetimbangan komposit AESO murni mencapai 21,5% dan jauh lebih tinggi daripada komposit UPE yang diperkuat serat rami yang hanya mencapai 12,9%. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan studi dengan memanfaatkan serat kulit pohon kapuk (*Ceiba pentandra*), sebagai penguat komposit dengan menginvestigasi sifat fisik dan mekanik [10].

2. METODE DAN BAHAN

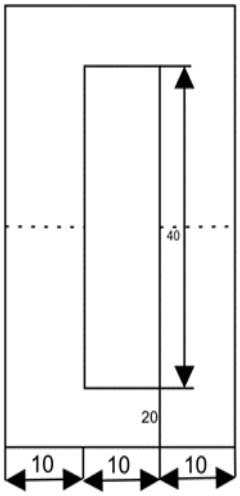
2.1. Persiapan Bahan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah serat kulit pohon kapuk (*Ceiba pentandra*), larutan NaOH 7% (wt), polymer coating AESO, dan *resin epoxy + hardener* (1:1) [2,11].

Serat kulit pohon kapuk dikumpulkan, dengan menguliti pohon kapuk yang berumur kurang lebih 5 sampai 10 tahun, kulit pohon kapuk direndam selama 14 hari untuk memisahkan lembaran serat dari kulit luar, menghilangkan lendir serat dan elemen lain yang tidak perlu. Selanjutnya di jemur dan disimpan dalam kotak plastik dengan kelembaban sekitar 30%. Kemudian NaOH dibuat dengan konsentrasi 7% dengan takaran 100 ml air sterilisasi untuk digunakan perendaman serat kulit pohon kapuk. Kemudian pelapisan pada serat kulit pohon kapuk menggunakan *polimer coating* (AESO), lalu erat kulit pohon kapuk tanpa perlakuan dan setelah perlakuan NaOH disiapkan terlebih dahulu dan ditempatkan dalam wadah yang berbeda. Serat kulit pohon kapuk tersebut kemudian dibilas dengan larutan *polimer coating* yang telah disiapkan sebelumnya. Kemudian serat kulit pohon kapuk yang telah *dicoating* dengan polimer AESO ditempatkan dalam bilik di bawah sinar lampu *ultraviolet* langsung.

2.2. Spesimen Serat Tunggal

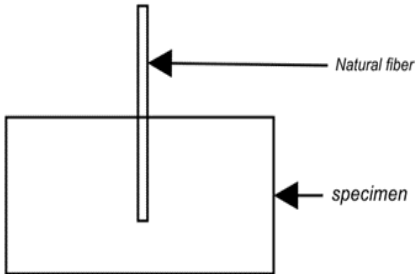
Serat tunggal dengan ukuran lebar 3 mm dan panjang 100mm, untuk panjang yang di uji 40 mm berdasarkan standar ASTM D3378-75.



Gambar 1. Spesimen uji tarik serat tunggal sesuai standar ASTM D3379-75

2.3. 2.3Spesimen Uji *Pull Out*

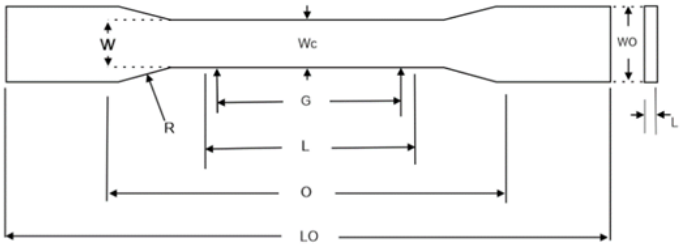
Gambar 2 merupakan spesimen *pull out* dengan spesifikasi lebar specimen *matrix* 30 mm dan tinggi 15 mm. sedangkan lebar *fiber* 3 mm, panjang 100 mm dan panjang *fiber* yang melekat didalam matrix 40 mm sesuai standar ASTM E399.



Gambar 2. Specimen Uji *Pull Out* Standar ASTM E399

2.4. Pabrikasi Komposit *Epoxy* Berpenguat Serat Pohon Kapuk

Bentuk specimen uji tarik, dengan ukuran panjang LO 165 mm, lebar luar WO 19 mm, dan lebar dalam Wc 13 mm sesuai standar ASTM D3379-75 (Gambar 3).



Gambar 3. Spesimen uji tarik komposit sesuai standar ASTM D3379-75

Metode pembuatan komposit *epoxy* berpenguat serat kulit pohon kapuk menggunakan metode *Vacuum Infusion Resin Process* (VIP). VIP adalah metode pembuatan komposit dengan teknik pemasukan resin yang menggunakan tekanan vakum untuk menggerakkan resin ke dalam laminasi. Bahan penguat atau lembaran laminat diletakkan kering di dalam cetakan dan resin diletakkan di sebuah cetakan kemudian dilakukan proses vakum untuk mengalirkan resin ke dalam cetakan.

Gambar 4. Motode Pembuatan Komposit *Vacuum Infusion Resin*

2.5. Pengujian *Fourier Trasform Infrared* (FTIR)

Pengujian FTIR dilakukan untuk mengetahui informasi terkait ikatan kimia yang ada pada serat kulit pohon kapuk. Standar yang digunakan pengujian FTIR adalah ASTM E1252 [12]. Sampelnya adalah 400- 4000 cm-1 *wave numbers*, yang sama dengan panjang gelombang 2,5 sampai 25 mikron (10-3mm). Alat FTIR yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan merek Nicolet iS 10 FT-IR *Spectrometer*. *Power supply* yang digunakan yaitu 100-240 V 50/60 Hz dan menggunakan pemecah cahaya yang sesuai standar yaitu KBR/Ge mid-inframerah. Dengan spesifikasi alat sesuai ASTM E1421 sesuai dengan syarat ISO/GLP.

Gambar 5. Alat Uji FTIR

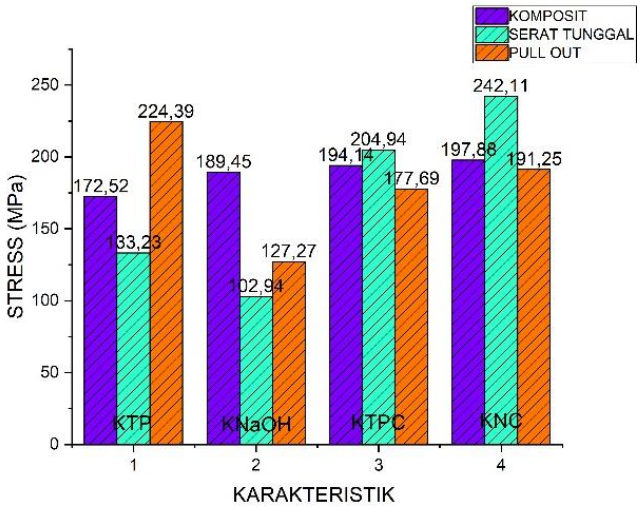
2.6. Pengujian *Scaning electron microscopy* (SEM)

Pengujian ini memiliki fungsi untuk mengetahui morfologi, ukuran partikel, pori serta bentuk partikel material. Dengan menggunakan alat SEM –EDAX FEI Type *inspect* s-50. Standar yang digunakan adalah ASTM E2809 [13]. Spemen uji berbentuk serat berukuran 224 – 280 μ.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Hasil Pengujian Tarik

Hasil pengujian tarik ada 3 macam yaitu uji tarik komposit, uji tarik tunggal, dan uji tarik *pull out*. Ada beberapa karakteristik pada pengujian tarik yaitu karakteristik tanpa perlakuan (KTP), karakteristik NaOH (KNaOH), karakteristik tanpa perlakuan *coating* (KTPC) dan karakteristik NaOH *Coating* (KNC). Dapat dilihat Gambar 6. Hasil pengujian tarik.



Gambar 6. Hasil Uji Tarik

Dapat dilihat Gambar 6. Hasil uji tarik (komposit) menunjukan serat kulit pohon kapuk karakteristik (KNC) lebih besar kekuatan tarik yaitu 197,88 Mpa, dibandingkan dengan serat kulit pohon kapuk karakteritik KTP, KNaOH, dan KTPC. Hasil uji tarik (serat tunggal) serat kulit pohon kapuk menunjukan karakteristik (KNC) lebih besar kekuatan tarik yaitu 242,11 Mpa di bandingkan dengan serat kulit pohon kapuk karakteritik KTP, KNaOH, dan KTPC. Uji tarik (*pull out*) menunjukan (KTP) yang lebih tinggi kekuatan tarik yaitu 224,29 Mpa di bandingkan KNaOH, KTPC dan KNC. paling tinggi kekuatan tarik yaitu (KNC).

Pada Gambar 6. Hasil uji tarik (serat tunggal) menunjukan hasil yang berbeda dan bervariasi, karakteristik kekuatan tarik serat tunggal yaitu (KNaOH) kemudian diikuti oleh (KTP), (KTPC) dan (KNC). Perlakuan NaOH bereaksi dengan serat kulit pohon kapuk sehingga mengikis beberapa senyawa seperti lignin, wax, pectin dan sebagainya, sehingga permukaan serat menjadi lebih kasar atau menimbulkan cacat pada permukaan serat [14]. Hal inilah yang menyebabkan kekuatan tarik serat perlakuan NaOH lebih rendah dibandingkan dengan serat tanpa perlakuan. Sedangkan setelah perlakuan coating AESO serat menjadi lebih kuat dikarenakan polimer AESO berikatan cukup baik dengan serat kulit pohon kapuk, secara tidak langsung proses *coating* AESO pada serat kulit pohon kapuk telah membentuk material baru yaitu komposit.

Ada salah satu proses pelapisan dengan *polymer* AESO+*Coating* yang kurang baik seperti pada proses uji tarik *pull out*, dimana proses penjemuran kurang maksimal dan proses pemilihan bahan untuk dijadikan bahan specimen masih kurang teliti sehingga perlu diperhatikan baik-baik agar mengurangi terjadinya porositas pada serat dan spesimen, supaya dapat serat kulit pohon kapuk yang berkualitas dan optimal.

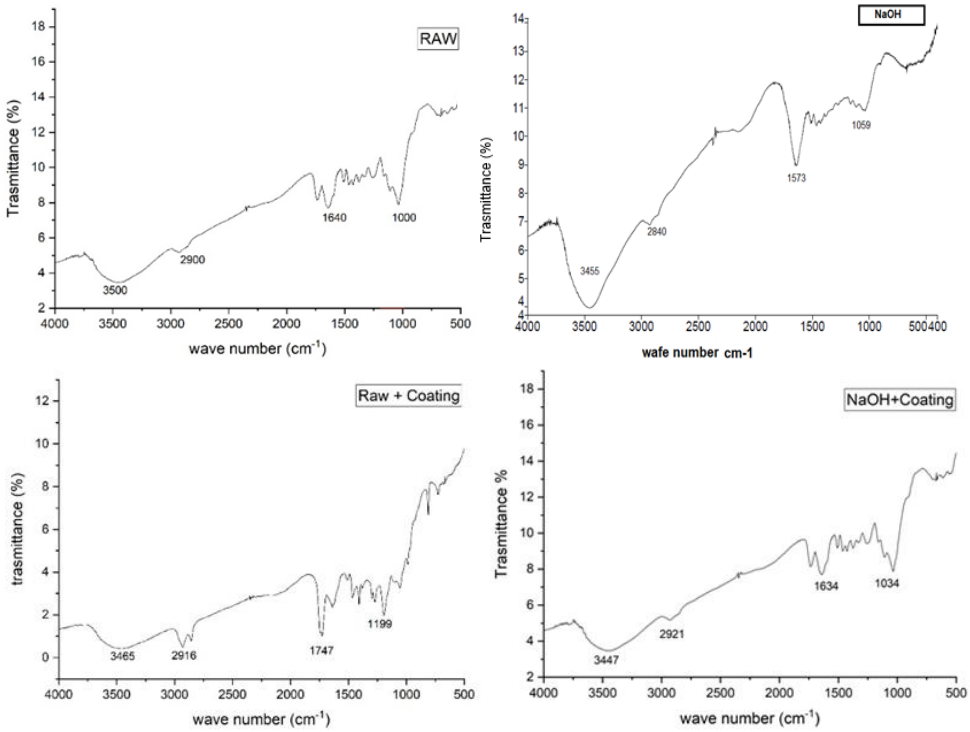
3.2. Hasi Pengujian *Fourier Trasform Infrared* (FTIR) Serat Kulit Pohon Kapuk

Gambar 7. Hasil uji sampel serat kulit pohon kapuk hasil alkalisasi FTIR KTP, KNaOH, KTPC, dan KNC serat kulit pohon kapuk yang diperoleh, didapatkan puncak pada 2927 cm-1 sampai dengan 3484 cm-1 yang menunjukan gugus C-H dan O-H. Sedangkan puncak yang terjadi disekitar 1650 cm-1 menunjukan penyerapan air, dimana kedua puncak tersebut dianggap berasal dari peregangan ikatan hydrogen dan pembengkokan dari grup hidroksil (OH) pada struktur sellulosa [15]. Ikatan hydrogen terbentuk antara atom *hydrogen* dari satu kelompok dihidroksil dari suatu monomer glukosa dan atom oksigen dari gugus hidroksil dan monomer glukosa dalam rantai *parallel* sellulosa. Pembentukan serat *sellulosa* tidak

dapat larut dalam air, pada dasarnya hasil dari ikatan hydrogen menunjukan komponen sellulosa tidak hilang karena adanya perlakuan secara kimiawi [16].

Dalam kelompok gugus *aceltyl* dan *ester* pada *hemisellulosa* atau kelompok asam karboksil pada kelompok *ferulic* dan *p-coumeric* pada lignin, akan ditunjukan pada *spectra* yang terdapat disekitar 1720 cm-1, yang akan terjadi ditandai dengan gugus C=O [17]. Jika dilihat dari pada Gambar 7. KTP, KTPC, dan KNC yang terbentuk, terdapat puncak yang berada disekitar 1720 cm-1. Hal ini menandakan bahwa setelah dilakukan perlakuan serat sellulosa secara kimiawi yaitu baik. Pada semua prosedur ekstraksi seharusnya telah menghilangkan sebagian besar polimer *lignin* karena hilangnya absorbansi *lignin* terkait 1638 cm-1 dan 1508 cm-1. Jika dilihat dari spectra yang dihasilkan pada Gambar 7. KTP, KNaOH, KTPC dan KNC yang terbentuk, terdapat absorbansi kecil pada 1508 cm-1, hal ini mangasumsikan sebagian besar polimer *lignin* telah hilang.

Kemunculan *spectra* yang terdapat pada Gambar 7. KTP, KNaOH, dan KNC, yang terbentuk tidak terdapat puncak yang berada disekitar 1462 cm-1. Hal ini menandakan bahwa pita *spectra* pada 1421cm-1 menunjukkan vibrasi CH2. Serapan 1423 cm-1 telah digunakan untuk identifikasi gugus CH2, area bilangan gelombang 1420-1430 cm-1 disebut juga sebagai pita Kr [18]. Pada spectra yang terbentuk, fenomena penyerapan yang terkait didaerah 1271 cm-1 yang menunjukan adanya gugus C-O-C (alkyl-alkyl), dimana ini mengindikasikan masih terdapat polimer lignin dikarenakan ikatan *ether* [19]. Dari hasil yang didapat, diperkirakan bahwa perlakuan yang diberikan kurang efektif untuk menghalangi *lignin*.



Gambar 7. Hasil Pengujian FTIR

Bilangan gelombang 1140-912 cm-1 merupakan area vibrasi C=O, namun menemukan gugus C=O pada vibrasi 895 cm-1 dan 1152 cm-1. Gugus C=C merupakan struktur dari *lignin* yang menjadi penyusun kayu, dimana ini mengindikasikan masih terdapatnya *lignin* dikarenakan ikatan *ether* [19]. Dari hasil yang didapat, diperkirakan bahwa perlakuan yang diberikan kurang efektif untuk menghilangkan *lignin*.

Tabel 1. Menunjukan hasil uji serapan FTIR serat kulit pohon kapuk dengan 4 macam sampel yaitu KTP, KNaOH, KTPC dan KNC, dari hasil pengujian sampel KTP tersebut terdapat gugus menunjukan ikatan fungsi.

Tabel 1. Daerah Serapan FTIR Serat Kulit Pohon Kapuk

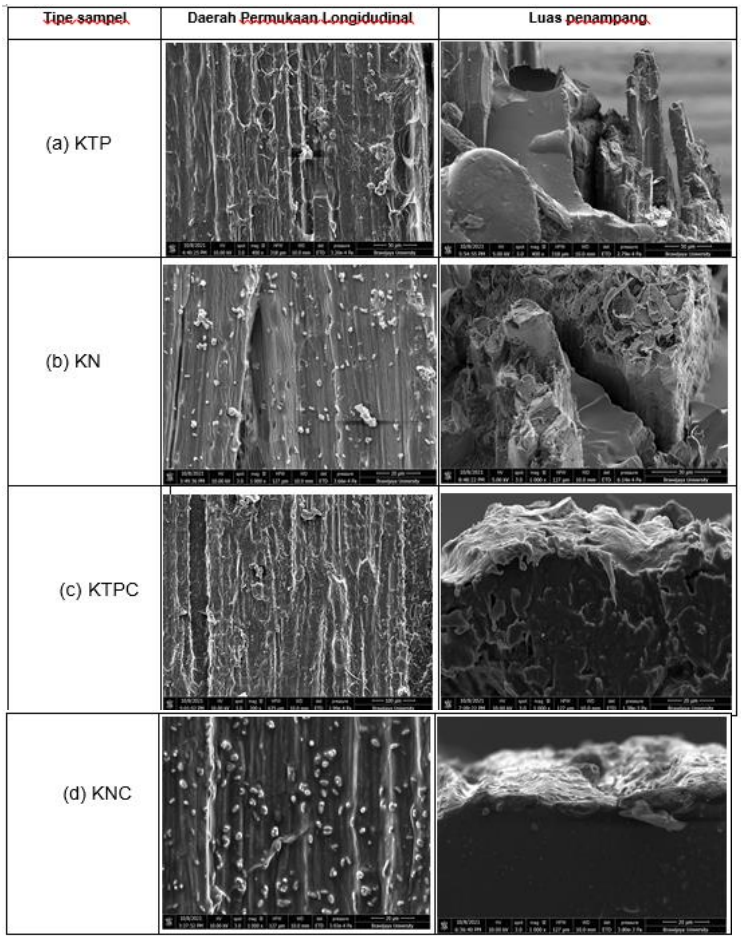
Bilangan Gelombang cm^{-1}	Tipe sampel				Keterangan Gugus Fungsi
	KTP	KNaOH	KTPC	KNC	
3600-3000	3484	3455	3462	3472	Sellulosa O-H meregangkan vibrasi dari sellulosa dan ikatan *hydrogen* dari gugus hidroksil
2500-3000	2927	2929	2927	2928	Komponen sellulosa dan hemisellulosa / getaran C-H pada sellulosa dan hemi sellulosa
2000-1693	1738	-	1738	1720	Peregangan hemisellulosa CO dari hemi sellulosa (getaran regangan =CO asam karboksilat dan gugus *ether* hemisellulosa
1693-1607	1638	1638	1637	1650	Air yang diserap
1607-1486	1508	1509	1509	-	Peregangan C=C lignin / *aromatic* dalam lignin
1486-1395	1463	1460	1465	-	Pembengkokan Sellulosa CH2
1395-1347	1375	-	1378	-	Pembengkokan *Sellulosa* CH2
1347-1286	-	-	1296	-	Pembengkokan *lignin/ aromatic* CO
1286-1184	1260	-	1271	1192	Peregangan *lignin*/ pada gugus asetil -CO
1140-912	1107	1034	1053	1049	Sellulosa, *hemisellulosa*, *lignin* meregangkan getaran *sellulosa* C=O
912-840	-	-	-	-	-

3.3. Hasil Pengujian *Scaning Electron Microscopy* (SEM)

Gambar 8. Uji SEM dibawah ini memberikan informasi tentang permukaan morfologi 4 karakteristik. Gambar 8a menunjukan permukaan masih kasar, permukaan yang licin, lalu menyebabkan lapisan tipis menutupi serat yang masih terendap oleh (*wax*, *lignin*, dan *hemiselulosa*). Kemudian 8b menunjukan pemukaan luar serat yang menempel dan mulai terkikis, dan menyebabkan sedikit kekasaran di permukaan. Hal ini menunjukan bahwa perlakuan pada permukaan serat meningkat akibat kekasaran mofologi serat menurun. Gambar 8c menunjukan adanya goresan dan kotoran pada permukaan serat, permukaan KTPC lebih kasar dibandingkan dengan permukaan KN, lebih banyak kotoran dalam etsa atau lumen luar. Komponen *amortf hemiselulosa*, *wax*, dan *lignin* pada serat menjadi lebih baik, karena konsentrasi tinggi yang diberikan perlakuan 8d menunjukan permukaan sedikit bergelombang (*microfibril*) dan besih dari *lignin* dan *hemiselulosa*.

Ikatan antar muka menentukan sifat mekanik komposit. *Natural fiber* (OH) serat alami memblokir polimer hidrofobik untuk meningkatkan kekuatan serat dan *matrix*. Penelitian sebelumnya meneliti tentang meningkatkan ikatan antar muka, NaOH meningkatkan dan menutupi area selulosa yang terbuka pada serat , ini juga menghasilkan *interlocking* makanis.

Komponen pengotor yang dihilangkan dari *wax*, *oil* dan *lignin* yang tersembunyi di luar permukaan serat menyebabkan Sebagian permukaan luar dinding sel serat terkelupas. Perlakuan NaOH dapat meningkatkan kekasaran permukaan dengan menghilangkan ikatan kristalinitas permukaan, topografi, penyerapan air, struktur sel satuan dan orientasi fiber.



Gambar 8. Data KTP, KN, KTPC dan KNC

4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini mempekenalkan serat kulit pohon kapuk sebagai penguat komposit. Penelitian berkesimpulan bahwa perlakuan NaOH menghilangkan kotoran atau kandungan hemiselulosa, *lignin* dan adsorpsi air berlebihan pada serat kulit pohon kapuk. Pengaruh perlakuan NaOH meningkatkan stabilitas *thermal* serat kulit pohon kapuk, kimia dan makanik.

Hasil uji tarik (komposit) menunjukan serat kulit pohon kapuk karakteristik NaOH + *Coating* (KNC) lebih besar kekuatan tarik yaitu 197,88 Mpa, dibandingkan dengan serat kulit pohon kapuk karakteritik KTP, KNaOH, dan KTPC. Kemudian hasil uji tarik (serat tunggal) serat kulit pohon kapuk menunjukan karakteristik NaOH + *coating* (KNC) lebih besar kekuatan tarik yaitu 242,11 Mpa di bandingkan dengan serat kulit pohon kapuk karakteritik KTP, KNaOH, dan KTPC. Uji tarik (*pull out*) menunjukan serat kulit pohon kapuk karakteristik tanpa perlakuan (KTP) yang lebih tinggi kekuatan tarik yaitu 224,29 Mpa di bandingkan dengan serat kulit pohon kapuk karakteristik KNaOH, KTPC dan KNC. Dari semua karakteristik serat kulit pohon kapuk nilai yang paling tinggi kekuatan tarik yaitu serat kulit pohon kapuk karakteristik NaOH + *Coating* (KNC). Hasil penelitain ini menunjukan bahwa serat kulit pohon kapuk merupakan potensi penguat pada komposit, itu dapat dikembangkan untuk aplikasi ringan. Penyelidikan lebih lanjut diperlukan untuk

menganalisis sifat terhadap api dari komposit polimer yang diperkuat serat kulit pohon kapuk.

DAFTAR PUSTAKA

[1] MYLSAMY, B., PALANIAPPAN, S. K., PAVAYEE, S. S., PAL, S. K., ARUCHAMY, K., "*Impact of nanoclay on mechanical and structural properties of treated Coccinia indica fibre reinforced epoxy composites*", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol 8(6):6021-6028, 2019.

[2] SUTEJA, S., PURNOWIDODO, A., DARMADI, D. B., SARI, N. H.,"Perilaku Tarik Komposit Laminat Serat Kulit Warualuminium", Rekayasa Mesin, V. 10 N. 1, pp 17 – 24, 2019.

[3] MYLSAMY, B., CHINNASAMY, V., PALANIAPPAN, S. K., SUBRAMANI, S. P., GOPALSAMY, C., "*Effect of surface treatment on the tribological properties of Coccinia Indica cellulosic fiber reinforced polymer composites", Journal of Materials Research and Technology*, Vol 9(6):16423-16434, 2020.

[4] SETHURAMAN, B., SUBRAMANI, S. P., PALANIAPPAN, S. K., MYLSAMY, B., ARUCHAMY, K., "*Experimental investigation on dynamic mechanical and thermal characteristics of Coccinia Indica fiber reinforced polyester composites", Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol 15: 1-6, 2020.

[5] SANJAY, M. R., ARPITHA, G. R., NAIK, L. L., GOPALAKRISHNA, K., YOGESHA, B., "*Applications of natural fibers and its composites : An overview*" *Natural Resources,* Vol 7:108–14, 2016.

[6] SENTHAMARAIKANNAN, P., SARAVANAKUMAR, S. S., ARTHANARIESWARAN, V. P., SUGUMARAN, P., "*Physicochemical properties of new cellulosic fibers from bark of Acacia planifrons*", *International Journal of Polymer Analysis and Characterization*. Vol 21:207–13, 2016.

[7] KHAN, Z., YOUSIF, B. F., ISLAM, M., "*Fracture behaviour of bamboo fiber reinforced epoxy composites*", *Composites Part B: Engineering – Journals*, 116, 186-199, 2017.

[8] LOGANATHAN TM, SULTANMTH, AHSAN Q, JAWAIDM, NAVEEN J, MD SHAH AU, et al., "*Characterization of alkali treated newcellulosic fibre from Cyrtostachys renda*", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol 9(3):3537-3546, 2020.

[9] FEMIANA GAPSARI, ANINDITO PURNOWIDODO, SYARIF HIDAYATULLAH, SUTEJA., "*Characterization of Timoho Fiber as a reinforcement in green composite*", *Journal of Materials Research and Technology*, Vol. 13, 1305-1315, 2021.

[10] LIU, W., FEI, M-E., BAN, Y., JIA, A., QIU, R., QIU, J. "*Concurrent improvements in crosslinking degree and interfacial adhesion of hemp fibers reinforced acrylated epoxidized soybean oil composites*", *Composites Science and Technology*, S0266-3538 30034-4, 2018.

[11] SARI, N. H., SUTEJA, S., FUDHOLI, A., ZAMZURIADI A., SULISTYOWATI, E. D., PANDIATMI, P., SINAREP, S., ZANURI, A., "*Morphology and mechanical properties of coconut shell powder-filled untreated cornhusk fibre-unsaturated polyester composites*", *Polymer*. 222 123657, 2021.

[12] ASTM E1252., "*Standard Practice for General Techniques for Obtaining Infrared Spectra for Qualitative Analysis*", *Annual book of ASTM Standards*, Vol.08.01, *American Society for Testing and Materials* (ASTM), Philadelphia, USA.

[13] ASTM E2809., "*Standard Guide for Using Scanning Electron Microscopy/X Ray Spectrometry in Forensic Paint Examinations*", *Annual book of ASTM Standards, Vol.08.01, American Society for Testing and Materials* (ASTM), Philadelphia, USA.

[14] GUNAWAN ET AL., "Karakterisasi Spektrofotometri IR dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer *Poly Ethelin Glicol* (PEG)". Surabaya. ITS, 1979.

[15] FATRIASARI, W and E. HERMIATI. 2016. "*Lignocellulosic biomass for bioproduct*": *its potency and technology development: A Review. J. Lignocellulose Technol*. 1:1-14

[16] PAULIEN, W.H., LAURA BERMUDEZ, ROBERT BAKKER. 2010. *Literature review of physical and chemical pretreatment processes for lignocellulosic biomass:* Wageningen UR Food & Biobased Research.

[17] ALEMDAR, A., SAIN, M. 2008. "*Isolation and Characterization of Nanofibers from Aricultural Residue*". Bioresour, 99, 1664-1671.

[18] FAN, M., D. DAI and B. HUANG. 2012. "*Fourier Transform Infrared Spectroscopy for Natural Fibres*". *In Fourier Transform - Materials Analysis*. Salih Salih (Ed.). *Intech*.

http://www.*intechopen*.com/*books*/*fouriertransform-materials-analysis*/*fourier-transforminfraredspectroscopy-for-natural-fibres*.45-68 pp. Diakses pada tanggal 20 Mei 2022.

[19] TROEDEC, M., SEDAN, D., PEYRATOUT, C., BONNET, J., SMITH, A., GUINEBRETIERE, R., GLOATUEN, V., KRAUSZ, P, 2008. "*Influence of Various Chemical Treatments on the composition and structure of hemp fibers*". Compos, Part A 39, 514-522.