KAJIAN PUSTAKA SINTESIS NANOSELULOSA DARI TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT SEBAGAI *FILLER* PEMBUATAN TISU TOILET

Irwan Hidayatullah[1], Emmanuela Maria Widyanti [1], Chandra Aztaris[1], Awalum Melanitria[1], Lidya Elizabeth[1*]

[1]Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia
Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat 40559
[*]E-mail: Lidya.elizabeth@polban.ac.id

ABSTRAK

Tisu merupakan salah satu jenis kertas yang terbuat dari serat kayu. Peningkatan kebutuhan tisu di masyarakat meningkatkan penebangan pohon. Tandan kosong kelapa sawit (TKKS) merupakan limbah dari kelapa sawit yang mengandung selulosa tinggi dan memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai *filler* dalam pembuatan tisu. Penelaahan kajian pustaka ini dilakukan untuk mengetahui potensi pemanfaatan nanoselulosa TKKS sebagai *filler* pembuatan tisu toilet. Sesuai persyaratan, bahan untuk tisu diharapkan mempunyai kandungan selulosa 70 %. Perhitungan kadar selulosa optimum dengan delignifikasi ditentukan dari regresi linear menggunakan *software SPSS Statistics 25*. Rancangan variabel proses menggunakan *software* Minitab 19. Metode perancangan yang digunakan dalam percobaan adalah *placket burman.* Hasil delignifikasi optimum didapatkan pada suhu 150-160°C, NaOH 15-17,5%, dan waktu 20-40 menit. Ukuran diameter nanoselulosa terkecil sebesar 5-10 nm, didapatkan dengan proses hidrolisis asam menggunakan H_2SO_4 30% pada suhu 60°C selama 120 menit. Nanoselulosa dapat digunakan sebagai *filler* dalam pembuatan tisu toilet, karena dapat menghasilkan rongga yang dapat menyerap molekul air dan meningkatkan kekuatan lapisan kertas.

Kata kunci: Tandan Kosong Kelapa Sawit, Delignifikasi, Hidrolisis, Nanoselulosa, Tisu

ABSTRACT

Tissue is a type of paper, made from wood fibers. The elevation of tissue necessity in the society will rise the trees logging. Oil palm empty fruit bunches (OPEFB) is waste from oil palm mill which contains high cellulose and has a lot of potential to be used, one of that is as a filler in the manufacture of tissue. The literature review was conducted to determine the potential utilization of cellulose in OPEFB as a filler in the manufacture of toilet paper. According to the requirements, the material for tissue is expected to have a cellulose content of 70%. Estimation of optimum cellulose content with delignification was determined by linear regression using SPSS Statistics 25 software. The optimum delignification results were obtained at a temperature of 150-160^{0}C, NaOH 15-17.5%, and 20-40 minutes. The lowest diameter of nanocellulose is 5-10 nm, obtained by acid hydrolysis using 30% H_2SO_4 at 60^{0}C for 120 minutes. The nanocellulose is used as a filler in the manufacture of toilet paper, because it can produce holes that can absorb water molecules and increase the strength of the paper layer.

Keywords: Oil Palm Empty Fruit Bunches, Delignification, Hydrolysis, Nanocellulose, Tissue

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa sawit dengan luas 15,08 juta ha pada tahun 2021. Berdasarkan data (Badan Pusat Statistik, 2018), produksi *Crude Palm Oil* (CPO) pada industri minyak kelapa sawit sebesar 47,3 juta ton pada tahun 2020 dan mengalami penurunan pada tahun 2021 sebesar 48,88 juta ton pada tahun 2021. Industri kelapa sawit menghasilkan limbah yang biasa disebut tandan kosong kelapa sawit (TKKS) berkisar 23-30 % dari jumlah panen tandan buah segar (TBS) (Yoricya dkk., 2016). TKKS termasuk ke dalam limbah lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa dan lignin.

Menurut Dewanti (2018), TKSS yang sudah dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler maupun kompos baru sebanyak 10% dari total TKKS yang diproduksi. Hal tersebut tentu menjadi potensi yang sangat besar bila dapat memanfaatkan limbah TKKS secara optimal, mengingat kandungan lignoselulosa pada TKKS cukup besar. Putri dan Gea, (2018) menyebutkan bahwa TKKS belum dimanfaatkan secara maksimal sesuai dengan kandungan kimia yang ada di dalamnya, seperti sebagai bahan tambahan dalam pembuatan pulp kertas.

Lignoselulosa terdiri dari lignin, selulosa dan hemiselulosa. Menurut Ramli dkk., (2015), TKKS memiliki kandungan 22-25% hemiselulosa, 40-43% selulosa, dan 19-21% lignin. Selulosa merupakan senyawa organik dan termasuk ke dalam polisakarida yang di dalamnya terdapat bentuk serat-serat. Proses yang biasanya dilakukan untuk pemisahan selulosa dari hemiselulosa dan lignin adalah isolasi α-selulosa yang terdiri dari proses delignifikasi dan *bleaching*.

Nanoselulosa merupakan selulosa berukuran nano yang memiliki sifat-sifat khas seperti sangat kuat, rasio permukaan terhadap volume yang besar, kemampuan mengikat air yang tinggi, kekuatan tarik yang tinggi, jaringan yang halus, dan sangat porous (Evandani, 2012). Dari sifat tersebut, nanoselulosa dapat digunakan sebagai bahan penguat polimer dan membran, bahan pengental untuk dispersi serta bahan tambahan untuk produk *biodegradable* (Ioelovich, 2012). Sintesis nanoselulosa dapat dilakukan dengan proses hidrolisis asam dengan menambahkan larutan asam. Hidrolisis asam yang digunakan dalam pembuatan pulp yang paling efektif ialah H_2SO_4 karena dapat menghilangkan daerah amorf dalam proses isolasi nanoselulosa.

Salah satu pemanfaatan nanoselulosa adalah sebagai *filler* atau bahan pengisi dalam pembuatan tisu seperti penelitian yang dilakukan oleh Gildelarosa dan Fahira, (2019), tisu yang ditambahkan dengan nanoselulosa memiliki daya serap air dan mudah hancur, sesuai persyaratan tisu pada SNI. Dari penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya, maka dilakukan pemanfaatan TKKS sebagai *filler* yang mampu mengisi rongga pada serat tisu. Penghilangan lignin perlu dilakukan, mengingat lignin bersifat kaku, yang dapat menurunkan kualitas tisu, ukuran nanoselulosa < 10 nm membuat bahan mudah hancur. Sifat nanoselulosa yang lembut diharapkan menghasilkan tisu dengan berat ringan dan mempunyai kelembutan sesuai yang diharapkan.

Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui kondisi proses delignifikasi dalam menghasilkan kadar selulosa optimum, mengetahui kondisi proses hidrolisis dalam menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran paling kecil, dan mengetahui pengaruh nanoselulosa sebagai *filler* dalam pembuatan tisu terhadap kualitas dan sifat tisu.

METODE

Metode penelitian yang digunakan ialah kajian pustaka dengan mengelompokkan data-data hasil penelitian untuk menjawab tujuan penelitian. Jurnal penelitian dan beberapa pustaka

dikumpulkan sesuai dengan kriteria kemudian diklasifikasikan menjadi tiga bagian yaitu proses delignifikasi TKKS untuk mendapatkan selulosa dengan kadar diatas 70 % yang merupakan persyaratan sebagai filler dalam pembuatan tisu. Penentuan kadar selulosa untuk mendapatkan kadar selulosa optimum dalam penentuan kondisi proses optimum membutuhkan 15 data. Data tersebut dibuat agar didapatkan kadar selulosa dari regresi linear, dilakukan menggunakan *software SPSS* (*Statistical Product and Service Solutions) Statistics 25* dan Minitab 19. Kondisi proses untuk mendapatkan kadar selulosa optimum dilakukan menggunakan metoda *Box-Behnken Design.*

Kondisi optimum hidrolisis untuk mendapatkan ukuran nanopartikel terkecil ditentukan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya. Variabel yang digunakan beberapa peneliti pada hidrolisis asam adalah H_2SO_4, suhu proses dan waktu proses.

Kondisi delignifikasi dan hidrolisis diharapkan mendapatkan nanoselulosa TKKS sebagai filler pada pembuatan tisu toilet. Analisis kualitas tisu meliputi daya larut dan daya serap air.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Delignifikasi TKKS Menjadi Selulosa

Pada jurnal penelitian yang dilakukan oleh Widyanti dkk. (2020) dan Dewanti, (2018), diketahui bahwa hasil delignifikasi yang didapatkan dalam bentuk *yield* selulosa yaitu sebesar 20.8% dan 34%. Dari hasil penelitian Widyanti dkk, (2020) dan Dewanti, (2018) dibuat rancangan

Untuk mendapatkan data-data kadar selulosa menggunakan *software SPSS* (*Statistical Product and Service Solutions) Statistics 25* dan Minitab 19. Kondisi optimum dalam mendapatkan kadar selulosa diatas 70 % dilakukan menggunakan metoda *Box-Behnken Design*. Berikut merupakan uraian analisis yang dilakukan.

Tabel 1. *Variables Entered/Removed*

Model	*Variables Entered (Variabel yang digunakan)*	*Variables Removed (Variabel yang dihilangkan)*	*Method (Metode)*
1	Suhu, Konsentrasi NaOH, Waktu		*Enter*

a. *Dependent Variable*: Hasil kadar selulosa

Dalam tabel di atas, variabel yang dimasukkan terdiri dari suhu, konsentrasi NaOH, dan waktu. Kadar selulosa sebagai *dependent variable* atau variabel yang dicari seperti Tabel 2.

Tabel 2. *Coefficients*

Model	*Unstandardized Coefficients (Coefisien tidak baku)*		*Standardized Coefficients Beta (Coefisien baku Beta)*	*T*	*Sig.*
	B	*Std. Error*			
1 (*Constant*)	-39.391	3.418		-11.526	.000
Konsentrasi NaOH	4.448	.134	.829	33.110	.000
Waktu	.078	.014	.159	5.431	.000
Suhu	.439	.020	.626	21.400	.000

a. *Dependent Variable*: Hasil kadar selulosa

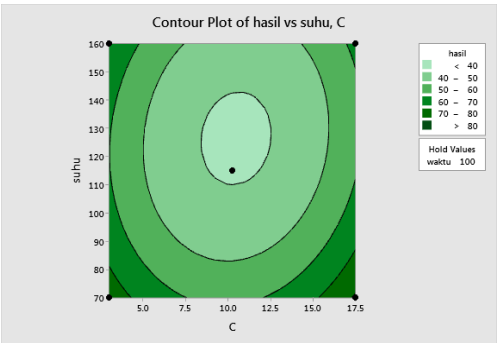
Hasil perhitungan dari tabel di atas, diketahui koefisien konsentrasi NaOH sebesar 4,448, koefisien waktu sebesar 0,078, dan koefisien suhu sebesar 0,439. Untuk mendapatkan *dependent variable* atau hasil kadar selulosa, maka dilakukan perhitungan dengan rumus regresi.

Regresi= ((Konsentrasi NaOH × Koefisien Konsentrasi NaOH) + (Waktu × Koefisien Waktu) + (Suhu × Koefisien Suhu)) + (Konstanta)

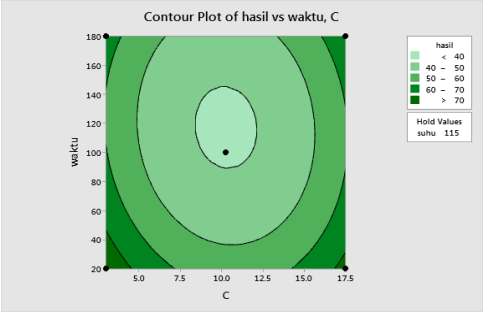
Perhitungan berdasarkan metoda di atas selanjutnya dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Widyanti dkk. (2020), yaitu didapatkan konsentrasi NaOH sebesar 17,5%, waktu yang digunakan selama 30 menit pada suhu 70^{o}C. Penelitian yang dilakukan oleh Dewanti (2018), diketahui konsentrasi NaOH sebesar 12%, waktu yang digunakan selama 180 menit pada suhu 90^{o}C. Kadar selulosa dapat dihitung dengan menggunakan rumus regresi linear di atas dan mendapatkan kadar selulosa masing masing sebesar 71,5% dan 67,5% menggunakan *software SPSS* (*Statistical Product and Service Solutions) Minitab 19.*

Setelah 15 data kadar selulosa didapatkan, maka dilakukan penentuan kondisi optimum untuk mendapatkan kadar selulosa 70-80 % menggunakan metoda *Box-Behnken Design.* Hasil selulosa 70-80 % perlu didapatkan, karena diperlukan kadar selulosa > 70% untuk mendapatkan tisu dengan kualitas terpenuhi.

Pengolahan data diperlihatkan pada **Gambar 1**. dengan hasil seperti berikut : kurva hasil kadar selulosa terhadap suhu dan konsentrasi NaOH, untuk mendapatkan kadar selulosa 70-80%, suhu yang digunakan pada kisaran 70-90°C, sedangkan konsentrasi NaOH yang digunakan yaitu 15-17,5%. Konsentrasi NaOH yang digunakan tidak boleh lebih dari 17,5% karena selulosa akan larut oleh basa.

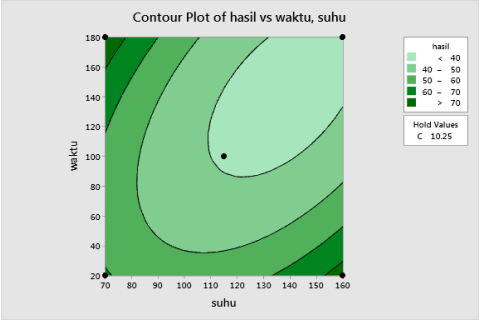


Gambar 1. *Contour Plot* pengaruh konsentrasi NaOH dan suhu terhadap kadar selulosa



Gambar 2. *Contour Plot* pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu terhadap kadar selulosa

Gambar 2. merupakan kurva hasil kadar selulosa terhadap waktu dan konsentrasi NaOH yang digunakan. Untuk mendapatkan kadar selulosa 70%, maka dapat menggunakan konsentrasi NaOH 17,5%. Waktu yang digunakan yaitu sekitar 20-30 menit dengan konsentrasi NaOH 17,5%.

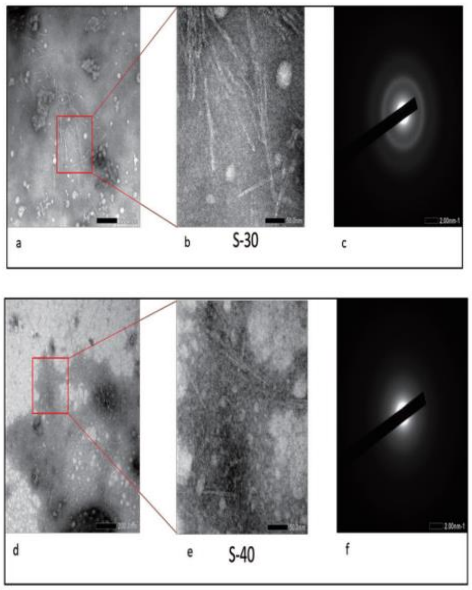


Gambar 3. *Contour Plot* pengaruh waktu dan suhu terhadap kadar selulosa

Kurva pada **Gambar 3.** merupakan pengaruh waktu dan suhu operasi untuk mendapatkan kadar selulosa. Kadar selulosa lebih dari 70%, digunakan suhu sekitar 150-160^{o}C, waktu efektif sekitar 20-30 menit. Hal tersebut didukung dari percobaan yang dilakukan oleh Septevani, dkk. (2018). Pada penelitiannya digunakan suhu 150 ^{o}C selama 30 menit dan menghasilkan kadar selulosa sebesar 73%. Pada kurva juga terlihat untuk menghasilkan kadar selulosa lebih dari 70% adalah dengan menggunakan suhu 70-80°C tetapi dengan waktu yang lebih lama yaitu sekitar 160-180 menit.

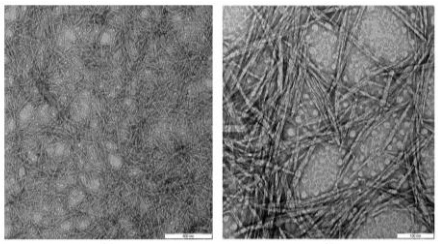
Hidrolisis Asam mendapatkan Ukuran Nanoselulosa

Penelitian yang dilakukan oleh Hastati dkk. (2019) menggunakan larutan H_2SO_4 dengan konsentrasi 67% pada suhu 40°C, dilakukan dengan empat variasi waktu yaitu 10, 20, 30, dan 40 menit. Pada penelitiannya, peningkatan waktu hidrolisis yang digunakan mengakibatkan penurunan ukuran nanoselulosa. Sampel-sampel tersebut kemudian dianalisis dengan menggunakan TEM disertai dengan *Selected Area Electron Difraction* (SAED) seperti pada **Gambar 4.** Setelah dilakukan analisis, diameter terkecil yang dihasilkan yaitu pada variasi waktu 30 menit, dengan ukuran sebesar 13,34-35,28 nm.



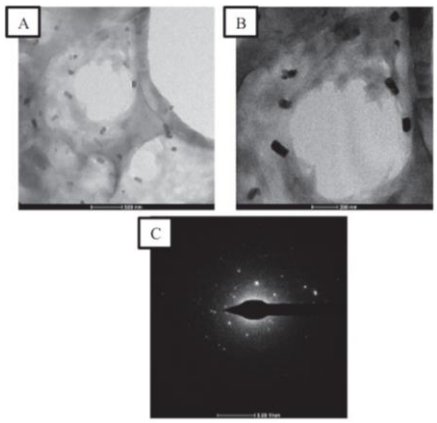
Gambar 4. Analisis TEM dengan perbesaran (a) dan (d) 200 nm, (b) dan (e) 50 nm, (c) dan (f) 2.0 nm^{-1}
Sumber: Hastati dkk. (2019)

Gambar 5. merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh Fatah, dkk. (2014) Pada penelitiannya, digunakan H_2SO_4 dengan konsentrasi 30%, suhu 60ºC selama 2 jam. Nanoselulosa yang dihasilkan adalah 5-10 nm.



Gambar 5. Analisis TEM pada perbesaran (a) 12,500 kali; (b) 50,000 kali
Sumber: Fatah dkk. (2014)

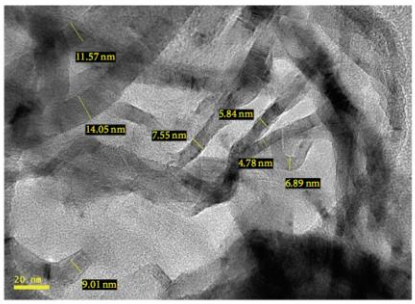
Pengamatan menggunakan TEM memperlihatkan morfologi serat yang telah diberi perlakuan tidak terpengaruh oleh hidrolisis asam, tetapi menunjukkan bahwa hidrolisis asam menghasilkan partikel yang lebih kecil (Fatah dkk., 2014). Hasil penelitian yang dilakukan oleh Burhani dan Septevani (2018) seperti yang terlihat pada Gambar 6. Variabel yang digunakan pada proses hidrolisis asam yaitu konsentrasi H_2SO_4 97%, waktu 3,5 jam, dan suhu 50°C.



Gambar 6. (A) dan (B). TEM dari nanoselulosa yang berasal dari TKKS; **(C).** TEM-SAED dari nanoselulosa yang berasal dari TKKS
Sumber: Burhani dan Septevani (2018)

Dari hasil analisis TEM (**Gambar 6. (A) dan (B)**), terlihat bahwa nanoselulosa berbentuk batang berhasil diperoleh dari TKKS yang mengalami proses hidrolisis asam sulfat memiliki dimensi diameter dan panjang masing-masing 43 ± 8 nm dan 147 ± 23 nm.

Proses hidrolisis yang dilakukan oleh Lani dkk. (2014) menggunakan larutan asam sulfat dengan konsentrasi 65%, pada suhu 45°C selama 45 menit. Sampel hasil yang didapatkan dianalisis menggunakan TEM, diperlihatkan pada **Gambar 7**.



Gambar 7. Analisis TEM nanoselulosa dari TKKS
Sumber: Lani dkk. (2014)

Gambar TEM di atas diperoleh dengan menggunakan mikroskop elektron transmisi JEM-2100 yang dioperasikan pada 120 kV. Dari hasil analisis mikrograf TEM, terlihat bahwa serat nanoselulosa terdiri dari nanopartikel berbentuk batang, dimana ada beberapa nanopartikel yang mengalami aglomerasi. Menurut Lani dkk. (2014) aglomerasi umumnya disebabkan karena adanya gaya tarik Van der Waals antara nanopartikel. Hasil pengukuran diameter serat nanoselulosa ditemukan berada pada kisaran 4–15 nm.

Pada proses hidrolisis, asam sulfat biasanya memotong daerah amorf mikrofibril dari serat selulosa secara melintang sehingga menghasilkan pengurangan diameter serat dari mikron ke nanometer (Fahma dkk., 2010). Selain itu, asam sulfat meningkatkan dispersi air dari nanopartikel, sehingga menghindari agregasi emulsi dengan pembentukan gugus ester sulfat yang bermuatan negatif pada rantai selulosa. Sifat asam sangat berperan dalam menghasilkan nanoselulosa. Selain asam sulfat, hidrolisis juga dapat menggunakan asam klorida, hidrolisis dengan asam klorida akan membentuk emulsi dispersi terbatas dan memiliki kecenderungan untuk berflokulasi (Burhani dan Septevani, 2018).

Konsentrasi asam sulfat sebaiknya berkisar 60 - 64% (Chen dkk., 2015), karena keberadaan gugus sulfat yang bermuatan akan memiliki pengaruh yang tidak baik bagi karakteristik termostabilitas nanoselulosa. Dimensi dari nanopartikel selulosa akan bervariasi sesuai dengan bahan baku dan konsentrasi asam yang digunakan, juga berpengaruh pada pemutusan rantai selulosa selama hidrolisis asam (Brinchi dkk., 2013, Fatah dkk., 2014).

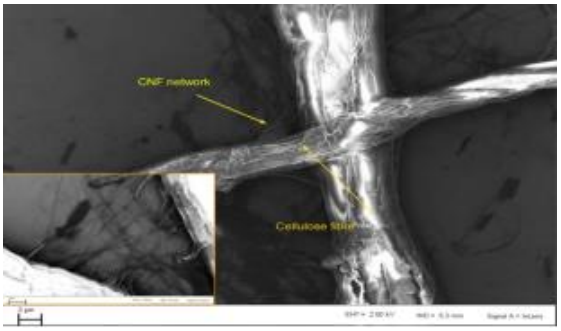
Pengaruh Penambahan Nanoselulosa terhadap Kualitas Tisu Toilet

Proses pembuatan tisu, hampir sama dengan pembuatan kertas yakni *pulping* dari pohon (Purnama & Aini, 2017). Pembuatan pulp menggunakan bahan lignoselulosa yang mengandung selulosa, lignin dan hemiselulosa, isolasi α-selulosa perlu dilakukan untuk memisahkan dari lignin dan hemiselulosa yang menurunkan kualitas pulp yang dihasilkan secara delignifikasi.

α-selulosa berpengaruh pada ikatan serat yaitu semakin tinggi menyebabkan ikatan serat antara pulp α-selulosa dan α-selulosa dalam kertas semakin kuat (Kurniawan *dkk.*, 2017). Berdasarkan kondisi tersebut digunakan serat dari TKKS karena kandungan selulosa cukup besar, seperti penelitian yang dilakukan oleh Muryanto dkk., (2016) yang menghasilkan selulosa sebesar 80.97% setelah didelignifikasi dengan NaOH 10% pada suhu 160°C dengan waktu 40 menit. Hal ini menunjukkan potensi TKKS cukup besar untuk dijadikan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan tisu.

Sifat tisu yang lembut dan mudah hancur diharapkan dapat menggunakan bahan nanoselulosa yang didapatkan dari TKKS sebagai *filler*. Proses delignifikasi dan hidrolisis didapatkan dari kondisi hasil pengolahan data dengan metode RSM menggunakan minitab.

Hasil penelitian mendapatkan nanoselulosa TKKS dengan ukuran diameter sebesar 1-100 nm yang mempunyai keuntungan sebagai *filler*, karena memiliki kemampuan mengikat air yang tinggi dan sangat porous (Evandani, 2012). Penelitian yang dilakukan Das dkk., (2020) menunjukkan dengan penambahan 6% nanoselulosa dapat meningkatkan kekuatan tarik lapisan kertas hingga 100%. Nanoselulosa dapat meningkatkan luas permukaan spesifik, yang meningkatkan pembentukan ikatan serat seperti ditunjukkan dalam **Gambar 8** sehingga dapat memperkuat struktur kertas (Boufi dkk., 2016).



Gambar 8. Analisis SEM nanoselulosa yang terikat pada selulosa yang lebih besar
Sumber: (Boufi dkk., 2016).

Karakteristik tisu toilet berbahan pengisi nanoselulosa dari TKKS harus disesuaikan dengan standar tisu toilet yang ada di pasaran menurut (Badan Standarisasi Nasional, 2008). Tisu toilet harus memiliki daya serap air yang baik yaitu kenaikan air yang meresap pada kertas dengan waktu maksimal 10 menit harus dapat menyerap air sebanyak 30 mm. Menurut Lani *dkk.* (2014), nanoselulosa dapat menghasilkan rongga yang dapat meningkatkan persentase penyerapan air.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Lani dkk, (2014) dilakukan perbandingan kapasitas penyerapan air pada film campuran PVA (*Polyvinyl Alcohol*)/pati dan PVA/pati yang ditambahkan dengan nanoselulosa. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa komposit yang ditambahan dengan nanoselulosa memiliki kemampuan menyerap air rendah. Setelah dilakukan beberapa kali percobaan dengan rasio penambahan nanoselulosa yang berbeda, didapatkan hasil bahwa penyerapan air pada film PVA/pati/nanoselulosa meningkat seiring dengan peningkatan nanoselulosa yang ditambahkan. Dari beberapa hasil penelitian tersebut, maka penggunaan nanoselulosa sebagai bahan pengisi tisu toilet akan memberikan efek yang menguntungkan karena dapat meningkatkan kemampuan tisu dalam menyerap air, tetapi dengan memperhatikan rasio komposisi nanoselulosa yang ditambahkan.

SIMPULAN

1) Pengaruh konsentrasi NaOH dan kondisi operasi terhadap kadar selulosa pada proses delignifikasi ialah sebagai berikut.
   a. Pengaruh suhu dan konsentrasi NaOH terhadap kadar selulosa ialah pada suhu 70-90°C dan konsentrasi NaOH 15-17.5% menghasilkan kadar selulosa sebesar 70-80%.
   b. Pengaruh waktu dan konsentrasi NaOH terhadap kadar selulosa ialah pada waktu 20-40 menit dan konsentrasi NaOH 17.5% menghasilkan kadar selulosa lebih dari 70%.
   c. Pengaruh suhu dan waktu terhadap kadar selulosa ialah pada suhu 150-160°C dan waktu 20-30 menit menghasilkan kadar selulosa lebih dari 70%.
2) Hasil nanoselulosa dengan ukuran paling kecil adalah pada penelitian yang dilakukan pada suhu 60ºC, selama 2 jam, menggunakan H_2SO_4 dengan konsentrasi 30%, dan menghasilkan nanoselulosa dengan ukuran 5-10 nm.
3) Nanoselulosa dapat digunakan sebagai *filler* dalam pembuatan tisu toilet karena

dapat menghasilkan rongga yang dapat menyerap molekul air sehingga akan meningkatkan kemampuan tisu dalam menyerap air juga meningkatkan kekuatan lapisan kertas, dengan memperhatikan komposisi nanoselulosa yang ditambahkan.

DAFTAR RUJUKAN

Badan Pusat Statistik. (2018). Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2018. *Statistik Kelapa Sawit Indonesia*.

Badan Standarisasi Nasional. (2008). Standar Nasional Indonesia (SNI) Standar Kertas Tisu Toilet (SNI 0103:2008). *Badan Standardisasi Nasional*.

Boufi, S., González, I., Delgado-Aguilar, M., Tarrès, Q., Pèlach, M. À., & Mutjé, P. (2016). Nanofibrillated cellulose as an additive in papermaking process: A review. *Carbohydrate Polymers*, *154*, 151–166. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.07.117

Brinchi, L., Cotana, F., Fortunati, E., & Kenny, J. M. (2013). Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass: Technology and applications. *Carbohydrate Polymers*, *94*(1), 154–169. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.033

Burhani, D., & Septevani, A. A. (2018). Isolation of nanocellulose from oil palm empty fruit bunches using strong acid hydrolysis. *AIP Conference Proceedings*, *2024*. https://doi.org/10.1063/1.5064291

Chen, L., Wang, Q., Hirth, K., Baez, C., Agarwal, U. P., & Zhu, J. Y. (2015). Tailoring the yield and characteristics of wood cellulose nanocrystals (CNC) using concentrated acid hydrolysis. *Cellulose*, *22*(3), 1753–1762. https://doi.org/10.1007/s10570-015-0615-1

Das, A. K., Islam, M. N., Ashaduzzaman, M., & Nazhad, M. M. (2020). Nanocellulose: its applications, consequences and challenges in papermaking. *Journal of Packaging Technology and Research*, *4*(3), 253–260. https://doi.org/10.1007/s41783-020-00097-7

Dewanti, D. P. (2018). Cellulose potential of empty fruit bunches waste as the raw material of bioplastics. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, *19*(1), 81.

Evandani, N. (2012). Sintesis Nanoselulosa dari Tongkol Jagung dengan Perlakuan Hidrolisis Kimia dan Homogenisasi. In *Institue Pertanian Bogor*. Institut Pertanian Bogor.

Fahma, F., Iwamoto, S., Hori, N., Iwata, T., & Takemura, A. (2010). Isolation, preparation, and characterization of nanofibers from oil palm empty-fruit-bunch (OPEFB). *Cellulose*, *17*(5), 977–985. https://doi.org/10.1007/s10570-010-9436-4

Fatah, I. Y. A., Abdul Khalil, H. P. S., Hossain, M. S., Aziz, A. A., Davoudpour, Y., Dungani, R., & Bhat, A. (2014). Exploration of a chemo-mechanical technique for the isolation of nanofibrillated cellulosic fiber from oil palm empty fruit bunch as a reinforcing agent in composites materials. *Polymers*, *6*(10), 2611–2624. https://doi.org/10.3390/polym6102611

Gildelarosa, M. A., & Fahira, R. E. (2019). *Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menjadi Nanoselulosa Sebagai Bahan Pengisi dalam Pembuatan Tisu*. Politeknik Negeri Bandung.

Hastati, D. Y., HAMBALI, E., SYAMSU, K., & WARSIKI, E. (2019). Preparation

and Characterization of Nanocelluloses from Oil Palm Empty Fruit Bunch Cellulose. *Journal of the Japan Institute of Energy*, *98*(8), 194–201. https://doi.org/10.3775/jie.98.194

Ioelovich, M. (2012). Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles. *Nanoscience and Nanotechnology*, *2*(2), 9–13.

Kurniawan, H., Garchia, C. H., Ayucitra, A., & Antaresti. (2017). Pemanfaatan Kulit Buah Matoa sebagai Kertas Serat Campuram melalui Proses Pretreatment dengan Bantuan Gelombang Mikro dan Ultrasonik. *Ilmiah widya teknik*, *16*(1), 1–10.

Lani, N. S., Ngadi, N., Johari, A., & Jusoh, M. (2014). Isolation, characterization, and application of nanocellulose from oil palm empty fruit bunch fiber as nanocomposites. *Journal of Nanomaterials*, *2014*. https://doi.org/10.1155/2014/702538

Muryanto, M., Sudiyani, Y., & Abimanyu, H. (2016). Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, *18*(01), 27–35. https://doi.org/10.14203/jkti.v18i01.37

Purnama, H., & Aini, A. N. (2017). Pengaruh waktu pengeringan dan jenis limbah organik terhadap kualitas tisu. *THE 5TH URECOL PROCEEDING*, *February*, 253–260.

Putri, E., & Gea, S. (2018). Isolasi dan Karakterisasi Nanokistral Selulosa dari Tandan Sawit (Elaeis Guineensis Jack). *Elkawnie*, *4*(1), 13–22.

Ramli, R., Junadi, N., Beg, M. D. H., & Yunus, R. M. (2015). *Microcrystalline Cellulose (MCC) From Oil Palm Empty Fruit Bunch (EFB) Fiber via Simultaneous Ultrasonic and Alkali Treatment*. *9*(1), 8–11.

Widyanti, E. M., Kusumawati, E., Regiana, A., & Suminar, D. R. (2020). Production Nanocellulose from Raw Materials for Oil Palm Empty Bunches (TKKS) with Hydrolysis and Freeze Drying Methods. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *742*(1). https://doi.org/10.1088/1757-899X/742/1/012033

Yoricya, G., Aisyah, S., Dalimunthe, P., Manurung, R., & Bangun, N. (2016). Kelapa Sawit dalam Sistem Cairan Ionik. *Jurnal Teknik Kimia*, *5*(1), 1–7.