

APLIKASI NANOCRYSTALLINE CELLULOSE DARI PROSES HIDROLISIS ASAM SEBAGAI REINFORCED MATERIAL PADA KERTAS FACIAL TISSUE

Edwin K. Sijabat^{1*}, Surya Adelia Sakti¹, dan Tri Prijadi Basuki¹

¹Program Studi Teknologi Pengolahan Pulp dan Kertas, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sains Bandung

ABSTRAK

Para pelaku industri dan akademisi saat ini tengah mengkaji penelitian berdasarkan pada penggunaan bahan polimer alam yang ketersediaannya sangat melimpah dan bersifat *biodegradable* yakni nanoselulosa guna meminimalisir penggunaan bahan polimer sintetik yang berbahaya bagi lingkungan dan keberlangsungan makhluk hidup di masa mendatang. Karakteristik yang menarik dari nanoselulosa ini diantaranya memiliki luas permukaan yang sangat besar, *modulus young* tinggi, dan kekuatan tarik yang tinggi sehingga menjadikan nanoselulosa ini sangat potensial digunakan sebagai *reinforced material* pada kertas. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan *Nanocrystalline Cellulose* (NCC) sebagai *reinforced material* terhadap sifat fisik kertas *facial tissue*. *Nanocrystalline Cellulose* (NCC) diperoleh dari *pulp* LBKP *refined* yang divariasikan pada proses hidrolisisnya menggunakan asam sulfat (H_2SO_4) 40%, 60%, 80% dan asam fosfat (H_3PO_4) 40%, 60%, 80%. *Nanocrystalline Cellulose* (NCC) tersebut dilakukan perbandingan variasi tanpa perlakuan (*blank*) dan variasi penambahan *Nanocrystalline Cellulose* (NCC) pada bahan *pulp* dari *mixing chest* saat pembuatan *handsheet* dengan dosis 1.5 Kg/T, 3 Kg/T, 4.5 Kg/T, dan 6 Kg/T. Pada hasil penelitian diketahui dosis optimum penambahan *Nanocrystalline Cellulose* (NCC) saat pembuatan *handsheet* untuk menghasilkan sifat fisik kertas *facial tissue* yang baik terdapat pada variasi asam sulfat (H_2SO_4) 60% dosis 3 Kg/T mampu meningkatkan nilai *bulk*, *bursting index*, *dry tensile index*, *wet tensile index* dan variasi asam fosfat (H_3PO_4) 80% dosis 1.5 Kg/T mampu meningkatkan nilai *bulk*, *tearing index*, *bursting index*, *dry tensile index*, *wet tensile index*.

Kata kunci: Selulosa nano kristal, bahan penguat, *pulp*, tisu wajah

ABSTRACT

Industry players and academics are currently reviewing research based on the use of natural polymer materials which are very abundant and biodegradable namely nanocellulose in order to minimize the use of synthetic polymer materials that are harmful to the environment and the survival of living things in the future. The interesting characteristics of nanocellulose include having a very large surface area, high Young's modulus, and high tensile strength, making this nanocellulose very potential to be used as a reinforced material on paper. The purpose of this study was to determine the effect of adding Nanocrystalline Cellulose (NCC) as a reinforced material to the physical properties of facial tissue paper. Nanocrystalline Cellulose (NCC) is sourced from refined LBKP pulp which is varied of the hydrolysis process using sulfuric acid (H_2SO_4) 40%, 60%, 80% and phosphoric acid (H_3PO_4) 40%, 60%, 80%. Nanocrystalline Cellulose (NCC) was compared with the variation without treatment (blank) and the variation of the addition of Nanocrystalline Cellulose (NCC) to the pulp material from the mixing chest when making handsheets at doses of 1.5 Kg/T, 3 Kg/T, 4.5 Kg/T, and 6 Kg/T. The results showed that the optimum dose of addition of Nanocrystalline Cellulose (NCC) when making handsheets to produce good physical properties of facial tissue paper was found in the variation of sulfuric acid (H_2SO_4) 60% at a dose of 3 Kg/T was able to increase the value of bulk, bursting index, dry tensile index, wet tensile index and variations of phosphoric acid (H_3PO_4) 80% dose of 1.5 Kg/T were able to increase the value of bulk, tearing index, bursting index, dry tensile index, wet tensile index.

Kata kunci: *Nanocrystalline cellulose, reinforced material, pulp, facial tissue*

1. Pendahuluan

Para pelaku industri dan akademisi saat ini tengah mengkaji penelitian yang berdasarkan pada penggunaan polimer hijau yang berasal dari alam daripada polimer yang berasal dari minyak bumi karena sifatnya yang ramah lingkungan, mudah terurai dan hemat energi untuk memperbaharunya. (Fortunati *et al.* 2012).

Tujuan utama dari penggunaan polimer hijau adalah untuk menghindari proses yang memerlukan energi tinggi dan menghasilkan sampah berbahaya bagi kesehatan manusia maupun bagi lingkungan sekitar.

^{1*} Corresponding author: edwinsijabat@hotmail.com; edwinsijabat@itsb.ac.id

Bahan *biopolimer* kini tengah dikembangkan oleh industri pulp dan kertas yakni nanoselulosa yang berasal dari rantai gugus selulosa tumbuhan dengan jumlah terbesar yang tersedia di alam. Pengaplikasian nanoselulosa di industri pulp dan kertas sebagai bahan yang berasal dari polimer hijau sudah banyak dikembangkan oleh para peneliti-peneliti terdahulu. Keberadaan dari nanoselulosa menunjukkan banyak kemungkinan untuk dapat diaplikasikan pada industri otomotif, bahan *optically transparent*, *coating films*, *tissue technology*, *aerogels*, sensor, *3D printing*, *filtration*, tekstil, *printed dan flexible electronics*, komposit, *paper dan board*, *packaging*, minyak dan gas, medis, dan perawatan kesehatan. Akibatnya, jumlah paten dan publikasi nanoselulosa selama 20 tahun meningkat secara signifikan dari 300 pada tahun 2000 menjadi 2500 pada tahun 2020 (Ilyas *et al.* 2020).

Nanocrystalline selulosa (NCC) merupakan serat alami yang diekstraksi dari selulosa dengan ukuran serat umumnya berdiameter kurang dari 100 nm. Proses pengekstraksian NCC bisa dilakukan dengan metode mekanik (homogenisasi, mikrofluidisasi, *grinding*, ultrasonikasi), kimiawi (hidrolisis asam, oksidasi, pelarut organik) ataupun dengan metode enzimatis (Kargarzadeh, H *et al.* 2017). NCC memiliki karakteristik yang unik, seperti luas permukaan yang tinggi, modulus young tinggi, kekuatan tarik tinggi, dan koefisien ekspansi termal yang rendah (Babae, M *et al.* 2015). Sifat-sifat tersebut yang menjadikan NCC sebagai bahan yang menarik untuk digunakan sebagai *reinforced material* pada kertas tisu guna meningkatkan sifat mekanik. Selain peranan dari *additive* untuk meningkatkan kualitas dari kertas tisu yang dihasilkan, peran dari bahan baku yang digunakan juga tidak kalah pentingnya.

Penggunaan bahan baku untuk memproduksi kertas tisu dalam skala industri umumnya berasal dari *virgin pulp* yang terdiri atas *Leaf Bleach Kraft Pulp* (LBKP) dan *Needle Bleach Kraft Pulp* (NBKP) serta bahan baku yang berasal dari *waste paper (broke)*. Sumber dari *pulp* LBKP dapat tersedia dan di tanam pada Hutan Tanaman Industri (HTI) seperti *acacia magium*, *acacia crassicaarpa*, dan *eucalyptus*. *Pulp* NBKP seperti pinus, *spruce*, dan *hemlock* di dapatkan dengan *import* dari Negara Canada dikarenakan tumbuhan berserat panjang tidak dapat tumbuh di negara beriklim tropis, sedangkan *waste paper* berasal dari sisa-sisa proses produksi yang tidak sesuai dengan *grade* produk dan dapat dimanfaatkan kembali kandungan seratnya. Penggunaan bahan baku yang tepat dan penambahan bahan penguat atau

reinforced material berbasis polimer alam diharapkan menjadi strategi berkelanjutan untuk mampu menghasilkan kualitas kertas tisu yang sesuai dengan permintaan *costumer*.

Berdasarkan penjelasan uraian di atas, tulisan ini bertujuan untuk mengkaji inovasi bahan polimer alam yakni *nanocrystalline cellulose* sebagai alternatif penggunaan polimer sintetik di Industri pulp dan kertas yang di sintesis menggunakan bahan pulp LBKP *refined* menggunakan metode hidrolisis asam sehingga mampu menghasilkan kekuatan serat yang baik untuk mendapatkan kualitas kertas tisu yang optimum.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini menggunakan bahan yang digunakan untuk mensintesis *nanocrystalline cellulose* yang terdiri atas bahan pulp LBKP *refined* 100%, menggunakan metode hidrolisis asam dengan asam sulfat (H_2SO_4) konsentrasi 40%, 60%, 80%, asam fosfat (H_3PO_4) konsentrasi 40%, 60%, 80%, NaOH 10%, dan demin *water*. Bahan untuk pembuatan *handsheet* yakni pulp dari *Mixing Chest* dengan komposisi bahan pulp NBKP 14%, *broke toilet* 8%, pulp LBKP *unrefined* 25%, pulp LBKP *refined* 41%, dan *broke tissue machine* 12% serta ditambahkan bahan kimia *additive wet strength agent*. Alat-alat yang digunakan untuk mensintesis *nanocrystalline cellulose* yaitu gelas ukur, labu ukur, neraca analitik, *disintegrator*, desikator, oven, pipet, *dehydrator*, ultrasonifikasi, *hot plate stirrer*, *beaker glass*, dan kertas saring. Alat-alat yang digunakan untuk pembuatan *handsheet* terdiri atas *handsheet maker*, *disintegrator*, gelas ukur, *stopwatch*, dan neraca analitik. Alat pengujian karakteristik bahan dan sifat *properties* meliputi *pH meter*, *freeness tester*, *thermometer*, *particle charge detector*, *system zeta potensial*, *thickness tester*, *tensile tester*, *bursting tester*, *tearing tester*, dan *scanning electron microscope* (SEM).

2.1 Metode Sintesis *Nanocrystalline Cellulose* (NCC)

Langkah awal proses isolasi NCC dengan pengambilan bahan pulp LBKP *refined* kemudian di cuci menggunakan air demin dan dikeringkan dengan alat *dehydrator*. Selanjutnya diambil bahan pulp kering untuk di hidrolisis menggunakan variasi asam sulfat dan asam fosfat konsentrasi 40%, 60%, dan 80% selama 3,5 jam dengan suhu konstan 50 °C di atas alat *hot plate stirrer*. Setelah proses hidrolisis, larutan ditambahkan air demin untuk menghentikan proses reaksi dan melarutkan

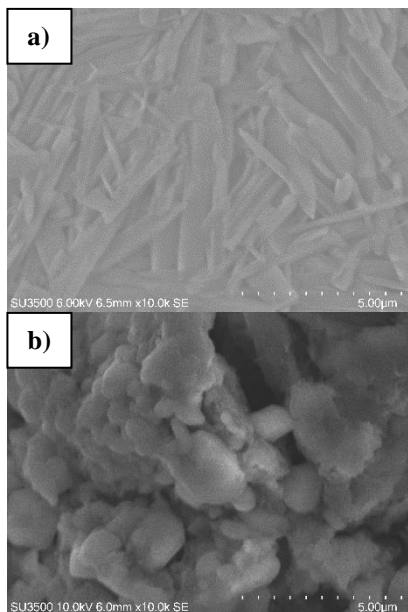
molekul asam bebas, kemudian ditambahkan larutan NaOH 10% untuk proses penetralan dengan kecepatan pengadukan 30000 rpm menggunakan alat disintegrator. Untuk mendapatkan suspensi koloid NCC larutan disaring dan dilakukan sonifikasi selama 30 menit. Tahap akhir suspensi koloid NCC yang terbentuk di simpan dan di tutup rapat.

2.2 Pembuatan Handsheet Tissue

Bahan baku pulp pembuatan *handsheet* di ambil dari tangki *Mixing Chest*. Di lakukan pencampuran bahan-bahan untuk pembuatan *handsheet* yang terdiri atas bahan kimia *additive wet strength agent* dengan dosis 5 Kg/T, bahan NCC dengan variasi dosis 0 Kg/T (*blank*), 1.5 Kg/T, 3 Kg/T, 4.5 Kg/T, dan 6 Kg/T, kemudian dilakukan pengadukan dengan kecepatan 1000 rpm dari masing-masing variasi yang telah ditentukan. Bahan baku pulp dan *handsheet* yang telah di buat dilakukan pengujian *wet-end* dan *dry end properties*. *Handsheet* yang telah di buat secara laboratorium mengikuti standar TAPPI T-205 dengan gramatur 60 g/m².

2.3 Analisis SEM Nanocrystalline Cellulose (NCC)

Hasil sintesis *nanocrystalline cellulose* dilakukan karakterisasi morfologi serat yang terbentuk menggunakan SEM Hitachi SU3500 with EDAX Octane pada masing-masing variasi hidrolisis H₂SO₄ dan H₃PO₄.



Gambar 1. Hasil pengujian SEM variasi hidrolisis a) NCC H₂SO₄ perbesar 10000x b) NCC H₃PO₄ perbesar 10000x

Hasil karakterisasi morfologi serat NCC yang terbentuk pada gambar 1 menunjukkan bahwa pada variasi hidrolisis H₂SO₄ memiliki bentuk jarum atau *rod-like* dengan ukuran diameter serat berkisar antara 50 nm sampai 200 nm. Sedangkan untuk variasi hidrolisis H₃PO₄ memiliki bentuk bulat atau *spherical* dengan ukuran diameter serat berkisar antara 100 nm sampai 800 nm.

2.4 Analisis Data Uji Bahan Wet End dan Analisis Sifat Fisik Handsheet

Analisis karakteristik bahan *wet end* dilakukan pada bahan yang digunakan untuk pembuatan NCC dan *handsheet*. Pada tabel 1 pengujian karakteristik bahan dilakukan sebagai perbandingan kondisi serat sebelum dan setelah hidrolisis terhadap NCC yang terbentuk, pengujian bahan pembuatan *handsheet* bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan terhadap sifat fisik *handsheet* yang akan di buat.

Tabel 1. Data Uji Karakteristik Bahan Wet End

Variasi		Nilai Pengujian	
Bahan Pulp	Kondisi Hidrolisis	pH	PCD (µeq/l)
Pulp LBKP Refined	-	5.52	33
	H ₂ SO ₄ 40%	6.4	30
	H ₂ SO ₄ 60%	6.6	13
	H ₂ SO ₄ 80%	7.35	-140
	H ₃ PO ₄ 40%	6.28	54
	H ₃ PO ₄ 60%	6.8	-112
Pulp Mixing Chest	-	6.35	-55

Analisis sifat fisik *handsheet* dilakukan pada lembaran-lembaran kertas yang telah ditambahkan bahan *handsheet*, bahan NCC, dan bahan kimia *additive wet strength* guna mengetahui pengaruh penambahan dari bahan-bahan tersebut terhadap pengujian sifat fisik *handsheet* yang dihasilkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik *Handsheet*

Kode Pengujian	Variasi			Bulk (Cm3 /g)	Tearing Index (mNm2 /g)	Bursting Index (kPam2 /g)	Dry Tensile Index (Nm/g)	Wet Tensile Index (Nm/g)	Softness (TS7)	Water absorption (mm/menit)
	Kondisi Hidrolisis	Dosis NCC (Kg/T)	Dosis WS (Kg/T)							
Blank	-	0	5	1.64	0.43	3.03	58	9	179	14
1A	H ₂ SO ₄ 40%	1.5	5	1.67	0.64	3.65	78	17	166	14
1B		3	5	1.77	0.59	4.08	79	22	156	13.5
1C		4.5	5	1.79	0.52	4.24	77	15	141	12
1D		6	5	1.68	0.50	3.80	66	14	137	12
2A	H ₂ SO ₄ 60%	1.5	5	1.70	0.64	4.24	84	30	163	14
2B		3	5	1.75	0.59	4.37	96	31	143	13
2C		4.5	5	1.81	0.49	4.75	97	29	139	13
2D		6	5	1.68	0.45	4.56	90	27	121	11
3A	H ₂ SO ₄ 80%	1.5	5	1.65	0.58	3.22	70	17	161	13.5
3B		3	5	1.66	0.57	3.06	75	18	149	13
3C		4.5	5	1.66	0.46	3.06	68	15	133	13
3D		6	5	1.63	0.43	3.04	65	14	129	11
4A	H ₃ PO ₄ 40%	1.5	5	1.64	0.43	3.03	58	9	179	14
4B		3	5	1.89	0.52	3.65	73	28	160	14
4C		4.5	5	1.97	0.52	3.81	67	25	146	13.5
4D		6	5	2.11	0.46	3.18	59	20	133	13
5A	H ₃ PO ₄ 60%	1.5	5	2.32	0.44	3.08	58	15	130	12.5
5B		3	5	1.64	0.43	3.03	58	9	179	14
5C		4.5	5	1.67	0.50	4.09	76	27	163	13
5D		6	5	1.81	0.46	3.89	71	23	150	13
6A	H ₃ PO ₄ 80%	1.5	5	1.93	0.46	3.81	64	23	132	13.5
6B		3	5	1.96	0.45	3.76	65	17	113	13.5
6C		4.5	5	1.64	0.43	3.03	58	9	179	14
6D		6	5	1.67	0.50	4.47	75	28	169	14

3. Hasil dan Pembahasan

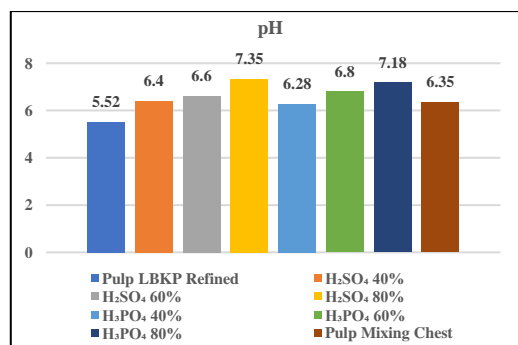
3.1 Pengujian Bahan *Wet End*

Pengujian bahan *wet end* dilakukan terhadap bahan pembuatan NCC dan *handsheet* yang bertujuan untuk mengetahui kondisi awal pada serat sebelum di bentuk lembaran kertas. Pengujian dilakukan terhadap nilai pH dan PCD pada bahan serat

3.1.1 Pengujian Nilai pH

Pengujian pH (TAPPI T252) dilakukan untuk mengetahui tingkat keasamaan atau kebasaan pada suatu larutan. Nilai pH yang cenderung mengarah ke tingkat asam atau basa akan mengganggu jalannya sebuah proses. Oleh

karena itu, perlu dilakukannya penetralan nilai pH dengan cara ditambahkan suatu bahan yang bersifat asam atau basa pula. Hasil pengujian pH dapat di lihat pada gambar 2 di bawah ini.

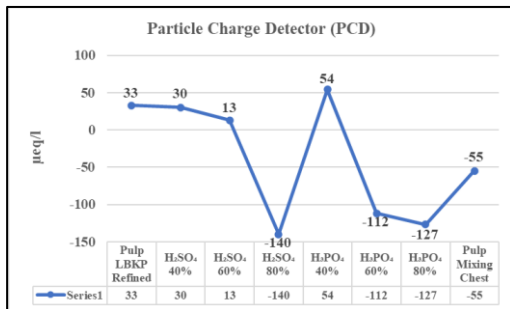


Gambar 2. Grafik Nilai pH

Jika nilai pH rendah maka suatu larutan terindikasi dalam kondisi asam dan begitupun sebaliknya. Sehingga diperlukan tahapan penetralan dengan ditambahkan bahan yang bersifat basa seperti NaOH atau bersifat asam seperti HCl. Dapat dilihat pada gambar 2 yang menunjukkan grafik hasil pengujian pH bahwasanya pH yang baik ialah pH yang dalam kondisi netral pada kondisi setelah hidrolisis dikarenakan telah melewati tahapan penetralan dengan ditambahkan larutan NaOH. Sedangkan, pada variasi tidak di hidrolisis nilai uji pH yang tertera adalah hasil nyata pada sampel dari tangka penampungan tanpa di beri perlakuan apapun. Derajat keasaman atau kebasan pada suatu larutan menjadi faktor penting pada proses dikarenakan jika kondisi suatu larutan dalam proses produksi bersifat asam atau basa maka akan dapat menimbulkan korosi atau kerak pada peralatan dan mesin produksi.

3.1.2 Pengujian Nilai PCD

Definisi dari pengujian Particle Charge Detector (PCD) ialah pengujian muatan yang terdapat pada zat pelarut. Pengujian ini penting dilakukan dikarenakan saat proses hidrolisis NCC menggunakan konsentrasi asam yang tinggi sehingga pengujian ini mampu mengetahui apakah tahapan hidrolisis sudah berhenti dengan cara melihat nilai PCD pada larutan hidrolisis NCC. Hasil pengujian PCD dapat di lihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Nilai PCD

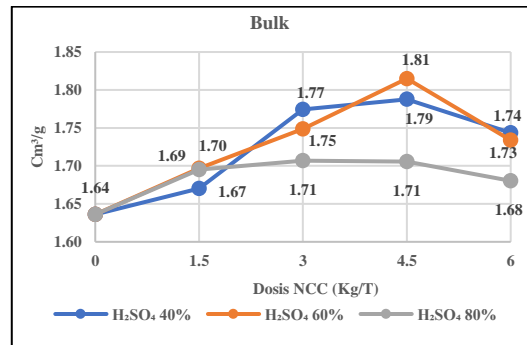
Hasil pengujian PCD dipengaruhi oleh kandungan ion H⁺ atau OH⁻ pada larutan yang di uji. Berdasarkan hasil pengujian PCD pada gambar 3 diketahui nilai yang di dapatkan berasal dari ion H⁺ yang terdapat pada larutan akibat dari tahapan proses pembilasan menggunakan demin water pada sampel buburan maupun sisa ion H⁺ yang masih tertinggal saat proses penetralan. Namun, jika pengujian bernilai negatif mengindikasikan bahwa terdapat ion OH⁻ pada larutan akibat dari tahapan penetralan larutan setelah hidrolisis.

3.2 Pengujian Sifat Fisik Handsheet

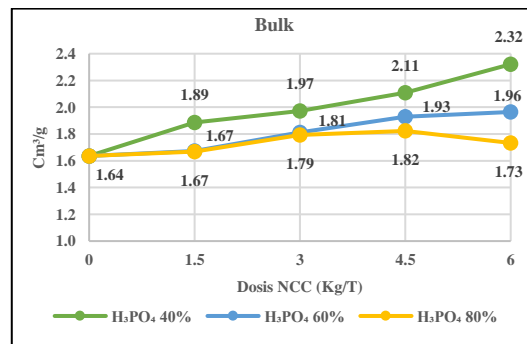
Tahapan pengujian sifat fisik *handsheet* dilakukan pada tiap-tiap variasi percobaan yang meliputi pengujian *bulk*, *tearing index*, *bursting index*, *dry tensile index*, *wet tensile index*, *softness*, dan *water absorption*.

3.2.1 Pengaruh Penambahan NCC Terhadap Nilai Bulk

Bulk adalah istilah yang digunakan untuk menunjukkan volume atau ketebalan sampel dalam kaitannya dengan berat sampel yang dinyatakan dalam satuan cm³/g. Adapun tujuan dari pengujian *bulk* adalah untuk mengetahui keseragaman formasi antar *fiber* pada *handsheet* yang dibentuk. Pengujian *bulk* dilakukan dengan menggunakan alat *thickness tester* di bagi dengan nilai *basis weight* pada *handsheet*. Hasil pengujian *bulk* pada masing-masing variasi dapat dilihat pada gambar 4 dan 5 di bawah ini.



Gambar 4. Grafik Nilai Bulk Variasi H₂SO₄

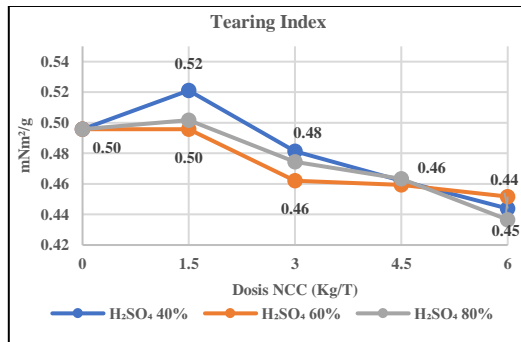


Gambar 5. Grafik Nilai Bulk Variasi H₃PO₄

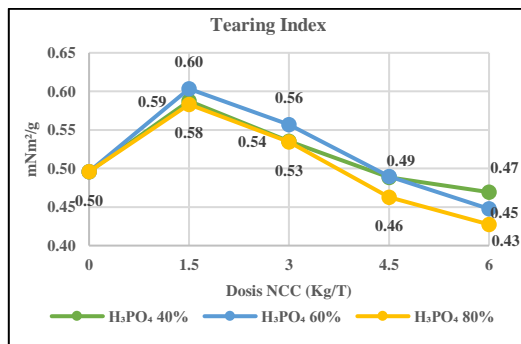
Seiring dengan penambahan dosis NCC pada *handsheet* akan terjadi peningkatan nilai *bulk*. Peningkatan tersebut terjadi sebagai akibat dari reaksi hidrolisis pada rantai gugus selulosa yang menyebabkan pelepasan atau pelarutan gugus *amorf*. Hal ini sebanding dengan penelitian yang dilakukan oleh Guang, Min *et al.* 2019 mengungkapkan bahwa *nanofiber* dapat meningkatkan *thickness* sehingga mampu meningkatkan nilai *bulk* pula.

3.2.2 Pengaruh Penambahan NCC Terhadap Nilai *Tearing Index*

Tearing index menunjukkan kemampuan kertas untuk menahan gaya sobek kertas saat dikenai perlakuan terhadap berat yang dinyatakan dalam satuan mNm^2/g . Pengujian *tearing* dilakukan dengan standar TAPPI T414 om-98. Hasil pengujian *tearing index* pada masing-masing variasi dapat di lihat pada gambar 6 dan 7 di bawah ini.



Gambar 6. Grafik Nilai *Tearing Index* Variasi H₂SO₄



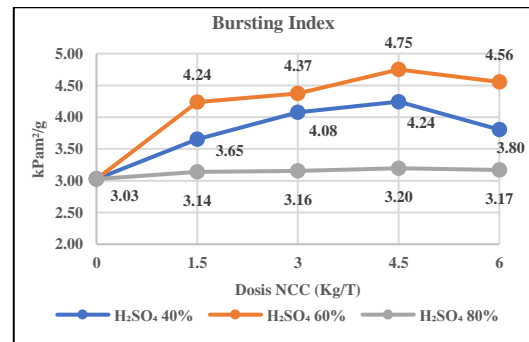
Gambar 7. Grafik Nilai *Tearing Index* Variasi H₃PO₄

Pada grafik yang tertera hasil pengujian *tearing index* diketahui terjadi penurunan yang signifikan. NCC yang terbentuk dari proses hidrolisis asam memiliki karakteristik serat yang halus dan berukuran kecil, semakin tinggi dosis NCC yang ditambahkan pada saat pembuatan *handsheet* maka semakin banyak pula serat-serat halus NCC bergabung antar serat lainnya sehingga terjadi penurunan nilai indeks sobek dari karakteristik NCC yang terbentuk.

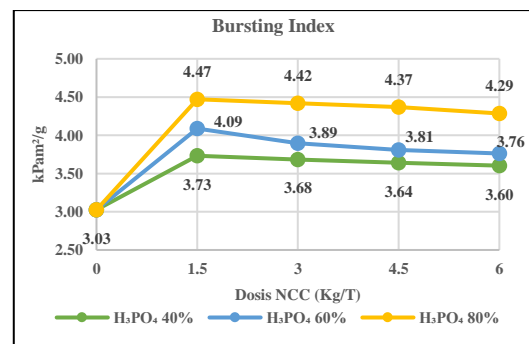
3.2.3 Pengaruh Penambahan NCC Terhadap Nilai *Bursting Index*

Pengujian *bursting* bertujuan untuk mengetahui seberapa banyak tekanan yang dapat ditoleransi kertas sebelum jebol yang dinyatakan dalam satuan $kPam^2/g$. Tingkat kekuatan burting (ledakan) diukur sebagai tekanan hidrostatis maksimum yang diperlukan untuk memecahkan

sampel dengan terus meningkatkan tekanan yang diberikan pada permukaan sampel. Langkah pengujian *bursting* sesuai dengan standar TAPPI T570 0m-15 dengan hasil pengujian terdapat pada gambar 8 dan 9 di bawah ini.



Gambar 8. Grafik Nilai *Bursting Index* Variasi H₂SO₄

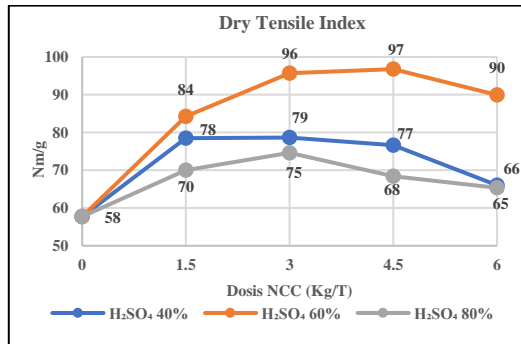


Gambar 9. Grafik Nilai *Bursting Index* Variasi H₃PO₄

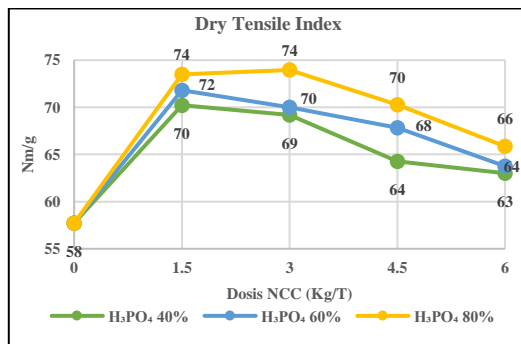
Parameter pengujian *bursting* (daya jebol) merupakan salah satu parameter yang menunjukkan tingkat kekuatan pada *fiber*. Seiring penambahan dosis NCC nilai *bursting* menunjukkan nilai kecenderungan yang meningkat dibandingkan dengan *blank*. Diketahui bahwa faktor-faktor peningkatan kekuatan serat dipengaruhi oleh ikatan ion yang dalam hal ini ikatan ion tersebut terjadi karena adanya penambahan *wet strength* yang bermuatan positif dan serat yang bermuatan negatif serta ikatan hidrogen yang dalam hal ini terjadi antar *fiber stock* dan *fiber NCC* sehingga faktor-faktor tersebut menjadi salah satu penyebab terjadinya peningkatan nilai *bursting* pada variasi ini. Di variasi dosis tertentu, nilai *bursting* juga mengalami penurunan yang mana hal tersebut karena belum optimalnya ikatan yang terjadi. Ikatan tersebut lebih cenderung mengikat antar ion dibandingkan dengan ikatan hidrogen antar serat.

3.2.4 Pengaruh Penambahan NCC Terhadap Nilai Dry Tensile Index

Dry tensile index di definisikan sebagai besarnya gaya tarik yang diperlukan untuk menghasilkan robekan pada potongan kertas saat kondisi kering yang dinyatakan dalam satuan Nm/g. Langkah pengujian *dry tensile* sesuai dengan standar TAPPI T456 om-3 dengan hasil pengujian dapat di lihat pada gambar 10 dan 11 di bawah ini.



Gambar 10. Grafik Nilai *Dry Tensile Index* Variasi H₂SO₄

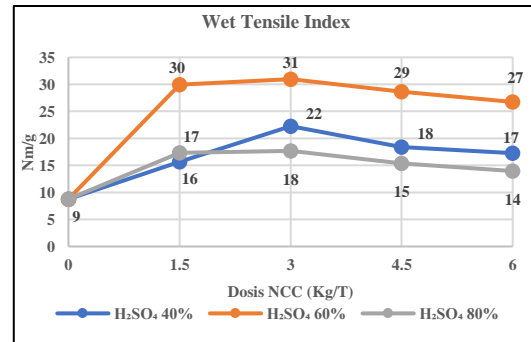


Gambar 11. Grafik Nilai *Dry Tensile Index* Variasi H₃PO₄

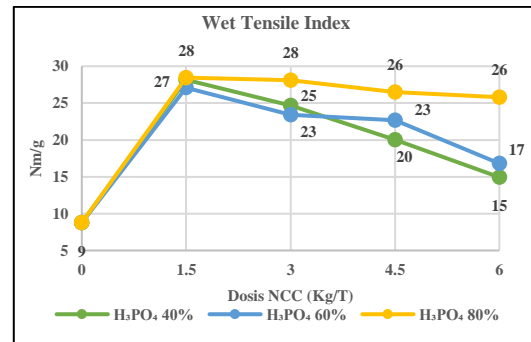
Peningkatan nilai *tensile* dalam kondisi kering didominasi oleh kekuatan antar *fiber* akibat adanya ikatan hidrogen. Ikatan hidrogen ini terjadi antar serat pada stock dan serat pada NCC, NCC bertindak sebagai promotor adhesi yang menjembatani serat yang berdekatan sehingga mendukung ikatan serat ke serat melalui ikatan hidrogen pada gugus -OH rantai selulosa dan mampu meningkatkan area ikatan serat serta mengurangi area yang berpori (Tonoli *et al.* 2012). Namun, selain terjadinya peningkatan nilai *strength*, penambahan nanoselulosa juga dapat menyebabkan penurunan kekuatan seperti penelitian yang dilakukan oleh Zhang, X *et al.* 2021 mengungkapkan bahwa penambahan nanoselulosa yang berlebih gagal meningkatkan sifat mekanik komposit yang dianggap semakin banyak nanoselulosa cenderung menggumpal dalam matriks PLA yang mengarah pada stress concentration jaringan.

3.2.5 Pengaruh Penambahan NCC Terhadap Nilai Wet Tensile Index

Wet tensile index di definisikan sebagai besarnya gaya tarik yang diperlukan untuk menghasilkan robekan pada potongan kertas saat kondisi basah yang dinyatakan dalam satuan Nm/g. Pengujian *wet tensile* sesuai dengan standar TAPPI T456 om-3. Hasil pengujian *wet tensile index* dapat di lihat pada gambar 12 dan 13 di bawah ini.



Gambar 12. Grafik Nilai *Wet Tensile Index* Variasi H₂SO₄



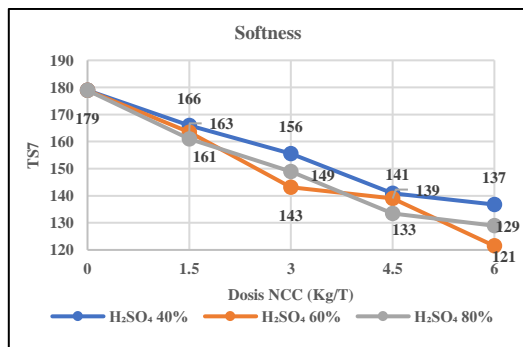
Gambar 13. Grafik Nilai *Wet Tensile Index* Variasi H₃PO₄

Tidak jauh berbeda dari nilai yang di dapat pada pengujian *dry tensile*, pengujian *wet tensile* secara umum menunjukkan trend data yang sama pada tiap variasinya. Variabel yang mempengaruhi pun secara umum disebabkan oleh karakteristik NCC yang terbentuk dan ditambah oleh proses penambahan *wet strength* agent saat pembuatan *handsheet*. *Wet strength* agent berfungsi untuk tetap mempertahankan kekuatan pada *fiber* saat kondisi basah sehingga ikatan yang terjadi tidak hanya di dukung oleh ikatan hidrogen antar gugus -OH tetapi juga oleh ikatan ion-ion yang ada. Ion positif yang berasal dari bahan *wet strength* dan ion negatif yang berasal dari bahan baku stock serta NCC akan saling berikatan karena adanya perbedaan jenis muatan sehingga meningkatkan kekuatan pada serat. Selain itu, penurunan kekuatan pada serat juga dapat terjadi yang di indikasikan karena belum optimalnya antar berbagai ikatan pada

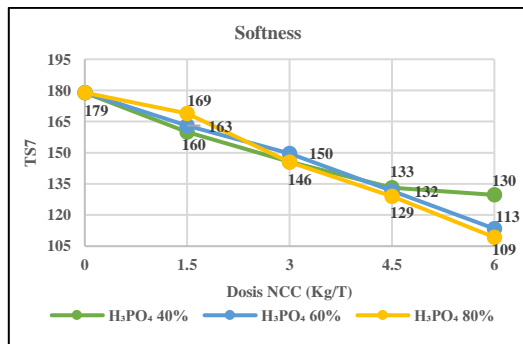
serat. Seperti lebih dominannya NCC yang terikat pada *wet strength* akibat dari ikatan ion menjadi permasalahan utama terjadinya penurunan tingkat kekuatan yang ada pada kertas yang terbentuk.

3.2.6 Pengaruh Penambahan NCC Terhadap Nilai Softness

Softness di definisikan sebagai respon dari sensorik manusia terhadap tekstur yang menyenangkan untuk di sentuh dan memberikan perasaan tekstur halus dan tanpa kekakuan. Hasil pengujian *softness* dapat di lihat pada gambar 14 dan 15 di bawah ini.



Gambar 14. Grafik Nilai *Softness* Variasi H₂SO₄



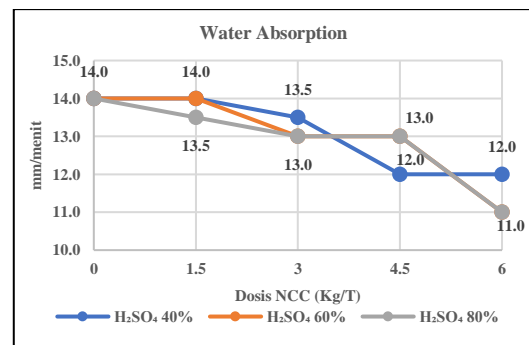
Gambar 15. Grafik Nilai *Softness* Variasi H₃PO₄

Penurunan nilai *softness* yang di dapat tidak sebanding dengan penurunan tingkat kelembutan pada permukaan kertas, sebaliknya penurunan nilai *softness* menunjukkan tingkat kelembutan nyata pada permukaan kertas yang meningkat. Pada penelitian ini, hanya ditambahkan bahan NCC dan *wet strength* additive tanpa adanya penambahan *softener agent*. Peningkatan tingkat kelembutan dengan ditunjukkan dari hasil penurunan nilai *softness* diketahui di dapat dari karakteristik NCC yang berfungsi untuk menutup pori-pori antar serat sehingga mengurangi tingkat kekasaran dan menjadikan permukaan serat menjadi lebih halus. Selain itu, dapat dilihat dari sisi kekuatan yang dihasilkan pada kertas, karena ada hubungan keterbalikan dari nilai *softness* yang di dapat yakni ketika nilai kekuatan meningkat

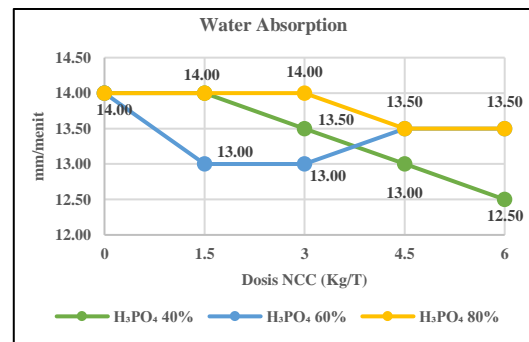
maka nilai kelembutan menurun (Holilah, H *et al.* 2022).

3.2.7 Pengaruh Penambahan NCC Terhadap Nilai Water Absorption

Water absorption dapat didefinisikan sebagai kemampuan penyerapan air untuk dapat merambat ke atas melawan gravitasi dalam waktu 1 menit. Parameter pengujian *water absorption* menjadi parameter penting dalam memproduksi kertas *tissue*. Hasil pengujian *water absorption* dapat di lihat pada gambar 16 dan 17 di bawah ini.



Gambar 16. Grafik Nilai *Water Absorption* Variasi H₂SO₄



Gambar 17. Grafik Nilai *Water Absorption* Variasi H₃PO₄

Penurunan nilai *water absorption* yang di dapat pada keseluruhan variasi. Semakin tinggi dosis dan konsentrasi asam menyebabkan semakin banyaknya kandungan NCC yang tergabung pada serat saat pembuatan lembaran kertas yang menyebabkan pori-pori semakin rapat sehingga penyerapan air menurun. Tingkat kerapatan permukaan serat semakin tinggi akan menurunkan tingkat penyerapan air dikarenakan serat-serat yang semakin rapat akan menghalangi penyerapan. Lebih banyak ruang kosong atau pori-pori akan memungkinkan lebih banyak air terserap yang dibantu oleh gaya kapilaritas (Barbash, V.A *et al.* 2020).

Pada rantai selulosa di tiap serat yang ada terdapat gugus -OH disebut sebagai ikatan

hydrogen yang mampu memberikan kekuatan antar serat. Berbeda halnya ketika suatu permukaan serat tersebut dikenai air maka akan membuat ikatan pada gugus -OH yang berikatan antar serat melepas ikatannya dan mengikat gugus -OH pada air sehingga menjadikan ikatan antar serat menurun yang seharusnya mampu meningkatkan resapan air oleh serat lebih banyak. Akan tetapi, pada penelitian ini ditambahkan *wet strength* agent yang mempunyai ikatan ion positif dan memberikan ikatan yang lebih besar dibanding ikatan hidrogen pada serat. Sehingga menjadikan ikatan ion -OH pada serat semakin sedikit yang bisa berikatan pada ion -OH di air dan memberikan dampak penurunan tingkat penyerapan air. Dikarenakan alasan tersebut jugalah saat proses produksi kertas toilet *tissue* tidak ditambahkan bahan *wet strength* agent.

4. Kesimpulan

Nanocrystalline cellulose (NCC) yang di sintesis menggunakan metode hidrolisis asam dapat dijadikan sebagai bahan *reinforced material* berbasis polimer alam dikarenakan kemampuannya yang memiliki ikatan hidrogen melimpah. Hasil penambahan *nanocrystalline cellulose* pada *handsheet* memberikan dampak positif terhadap sifat *properties*. Di dapatkan variasi dosis optimum penambahan *nanocrystalline cellulose* pada masing-masing variasi hidrolisis asam yang digunakan. Pada variasi hidrolisis H₂SO₄ konsentrasi 60% dosis 3Kg/T mampu meningkatkan nilai *physical properties* seperti nilai *bulk* sebesar 1.75 Cm³/g, nilai *bursting index* sebesar 4.37 kPam²/g, nilai *dry tensile index* sebesar 96 Nm/g, nilai *wet tensile index* sebesar 31 Nm/g, dan nilai *softness* sebesar 143 TS7. Sedangkan pada variasi hidrolisis H₃PO₄ konsentrasi 80% dosis 1.5 Kg/T mampu meningkatkan nilai *physical properties* seperti nilai *bulk* sebesar 1.67 Cm³/g, nilai *tearing index* sebesar 0.58 mNm²/g, nilai *bursting index* sebesar 4.47 kPam²/g, nilai *dry tensile index* sebesar 74 Nm/g, nilai *wet tensile index* sebesar 28 Nm/g, nilai *softness* sebesar 169 TS7, dan nilai *water absorption* sebesar 14 mm/menit.

5. Saran

Adapun saran dari penulis untuk perkembangan penelitian kedepannya diantaranya yaitu (1) dapat dilakukan pengujian mikroskop SEM sebelum dan setelah penambahan *nanocrystalline cellulose* pada *handsheet* yang di buat. (2) Dapat dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan variasi pada bahan *virgin pulp* yang digunakan. (3) Dapat dilakukan

penelitian lanjutan pengaplikasian *nanocrystalline cellulose* pada jenis *tissue toilet grade* rendah. (4) Dapat dilakukan perbandingan pembuatan *nanocrystalline cellulose* (NCC) menggunakan metode berbeda seperti metode asam dengan HCl, TEMPO, dan metode mekanik.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Edwin K. Sijabat, S.T., M.T dan Bapak Ir. Tri Prijadi Basuki selaku dosen pembimbing yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan Tugas Akhir hingga penulisan jurnal ini. Kepada para mentor lapangan, Bapak Ahmad Irawan, S.T dan Bapak Feru Aprianjaya, S.T yang telah banyak memberikan masukan dan arahan selama melakukan penelitian ini. Kepada para penguji, Ibu Rachmawati Apriani, S.T, M.T dan Bapak Abdul Halim, S.T., M.T., Ph.D yang memberikan banyak masukan bagi penulis dan penelitian ini. Tidak lupa juga saya ucapkan terima kasih kepada orang tua, keluarga, dan seluruh teman-teman yang selalu memberikan do'a, motivasi, dan arahan kepada penulis selama ini. Serta ucapan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Referensi

- Assis, T., dkk. 2018 "Understanding the Effect of Machine Technology and Cellulosic Fibers on Tissue Properties – A Review," 13, 4593–4629.
- Babae, M. Jonoobi, M. Hamzeh, Y. 2015. "Biodegradability and Mechanical Properties of Reinforced Starch Nanocomposites Using Cellulose Nanofibers". Carbohydrate Polymers.
- Fortunati, E. Peltzer, M. Armentano, I. Torre, L. Jimenez, A. Kenny, J. 2012. "Effect of Modified Cellulose Nanocrystals on The Barrier and Migration Properties of PLA Nano-biocomposites". Carbohydrate Polymers. 948-956.
- G. H. D. H. D. Tonoli dkk. 2012. "Cellulose micro/nanofibres from Eucalyptus kraft pulp: Preparation and properties," Carbohydr. Polym., vol. 89, no. 1, pp. 80–88, doi: 10.1016/j.carbpol.2012.02.052.
- Herrick FW, Casebier RL, Hamilton JK, Sandberg KR. 1983. "Microfibrillated cellulose: Morphology and accessibility". J. Appl. Polym. Sci.: Appl. Polym. Symp 37: 797-813.

- Holilah, H., Bahruji, H., Ediati, R., Asranudin, A., Abdul Jalil, A., Piluharto, B., Edra Nugraha, R., Prasetyoko, D. 2022. "Uniform Rod and Spherical Nanocrystalline Celluloses from Hydrolysis of Industrial Paper Waste (piper nigrum L.) using Organic Acid and Inorganic Acid". ScienceDirect. 593-605.
- Ilyas Rushdana, A., Sapuan Salit, M., Lamin Sanyang, M., & Ridzwan Ishak, M. 2020. "Nanocrystalline Cellulose As Reinforcement For Polymeric Matrix Nanocomposites And Its Potential Applications: A Review". Current Analytical Chemistry, 13. <https://doi.org/10.2174/1573411013666171003155624>
- Ioelovich, M. 2012. "Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles". Nanoscience and Nanotechnology, 2(2), 9-13
- J. Wang, dkk., 2021. "Preparation of nanocellulose in high yield via chemi-mechanical synergy," Carbohydr. Polym., vol. 251, p. 117094, doi: 10.1016/j.carbpol.2020.117094.
- Jonoobi M, Harun J, Mathew AP, Oksman K. 2010. "Mechanical properties of cellulose nanofiber (CNF) reinforced polylactic acid (PLA) prepared by twin screw extrusion". Composites Science and Technology 70: 1742-1747. Link: <https://goo.gl/fvwUqB>
- Kargarzadeh, H. Loelovich, M. Ahmad, I. Thomas, S. Dufresne, A. 2017. "Methods for Extraction of Nanocellulose from Various Sources". Journal of Nanocellulose. 13-17.
- Klemm, D., Kramer, F., Moritz, S., Lindström, T., Ankerfors, M., Gray, D., & Dorris, A. 2011. "Nanocelluloses: A new family of nature-based materials". Angewandte Chemie - International Edition, 50(24), 5438–5466. <https://doi.org/10.1002/anie.201001273>
- L. Jasmani and S. Adnan. 2017. "Preparation and characterization of nanocrystalline cellulose from Acacia mangium and its reinforcement potential," Carbohydr. Polym., vol. 161, pp. 166–171, doi: 10.1016/j.carbpol.2016.12.061.
- "Li, W.; Yue, J.; Liu, S. 2012. "Preparation of nanocrystalline cellulose via ultrasound and its reinforcement capability for poly(vinyl alcohol) composites". Ultrasonics Sonochemistry, 19, 479-485"
- Liu, D.; Xiaoyu, C.; Yiyang, Y.; Mindong, C.; Qinglin W. 2011. "Structure and rheology of nanocrystalline cellulose". Carbohydrate Polymers, 84, 316–322.
- Loelovich, M. 2012. "Optimal Conditions for Isolation of Nanocrystalline Cellulose Particles". Nanoscience and Nanotechnology, 2(2), 9-13
- Tajul, M. Mahbubul, M. 2014. "Preparation of Nanocellulose: A Review". Academia, 17-21. doi: 10.14504/ajr.1.5.3
- V. A. Barbash and O. V. Yashchenko. 2020. "Preparation and application of nanocellulose from non-wood plants to improve the quality of paper and cardboard," Appl. Nanosci., vol. 10, no. 8, pp. 2705–2716, doi: 10.1007/s13204-019-01242-8.
- V. Kumar, P. Pathak, and N. K. Bhardwaj. 2020. "Facile chemo-refining approach for production of micro-Nanofibrillated Cellulose from bleached mixed hardwood pulp to improve paper quality," Carbohydr. Polym., vol. 238, p. 116186, doi: 10.1016/j.carbpol.2020.116186
- Zhang, L. Batchelor, W. Varanasi, S. Tsuzuki, T. Wang, X. 2012. "Effect of Cellulose Nanofiber Dimensions on Sheet Forming Through Filtration". Cellulose 19, 561-574.