



Plagiarism Checker X Originality Report

Similarity Found: 6%

Date: Minggu, Agustus 05, 2018

Statistics: 359 words Plagiarized / 5842 Total words

Remarks: Low Plagiarism Detected - Your Document needs Optional Improvement.

BAB 1. **PENDAHULUAN 1.1 Latar Belakang** Cellulose nanocrystals (CNCs) dewasa ini menjadi perhatian yang serius di dunia iptek, material ini memiliki susunan atom yang sangat teratur, mampu menghasilkan kekakuan sampai 206 Giga pascal atau sebanding dengan baja (Dri dkk., 2013).

Kristal selulosa ini merupakan polimer alam yang **dapat diisolasi dari berbagai** jenis tanaman yang mengandung serat. Diantaranya dari jagung, sabut kelapa, pelopah pisang, batang kelapa sawit, ampas tebu, **tandan kosong kelapa sawit**, dan lain-lain. Tandan **kosong kelapa sawit (TKKS)** merupakan salah satu diantara material di atas yang paling banyak melimpah di alam khususnya di Sumatera Utara dan Aceh.

Material ini mengandung serat selulosa yang cukup tinggi sampai mencapai 44% dari komponen seluruhnya. (Hasibuan, 2010). Limbah TKKS merupakan ampas yang dihasilkan dari buah segar kelapa sawit ketika memproduksi crude palm oil (CPO), limbah ini belum dimanfaatkan secara optimal, selama ini hanya dimanfaatkan sebagai kompos, bahan bakar boiler, **pengeras jalan di perkebunan kelapa sawit** dan sebagian kecil diolah menjadi pakan sapi dengan teknologi yang sederhana, namun belum meningkatkan nilai ekonomi yang menjanjikan bagi petani di daerah. **Kandungan utama TKKS adalah selulosa dan lignin.**

Selulosa dalam TKKS dapat mencapai 43-44%, hemiselulosa 34%, sedangkan kandungan lignin mencapai 17-20% (Anggraini dan Roliadi, 2011). **Dua bagian tandan kosong kelapa sawit yang banyak mengandung selulosa adalah bagian pangkal dan bagian ujung tandan kosong sawit yang agak runcing dan agak keras.** (Hasibuan, 2010).

Banyak hal yang menjadi pendorong pemanfaatan TKKS, selain faktor intrinsik (kandungan selulosa tinggi dan potensi ketersediaan), pemanfaatan TKKS juga didorong faktor ekstrinsik yaitu isu lingkungan dan energy. Isu-isu tersebut menyebabkan teknologi ramah lingkungan berkembang. TKKS merupakan limbah organik yang paling bernilai karena memiliki kandungan selulosa yang tinggi dan dapat diperoleh kembali dengan cepat dan tidak merusak lingkungan (biorenewable resources). Oleh karena itu, pemanfaatan TKKS menjadi nano kristal selulosa perlu dikembangkan.

Selulosa merupakan polimer yang tidak **mudah larut dalam alkali** tetapi mudah larut dalam asam sedangkan hemiselulosa polimer yang **mudah larut dalam alkali tapi sukar larut dalam asam**, hemiselulosa juga bukan merupakan serat-serat panjang seperti selulosa. Sehingga hemiselulosa mudah dihilangkan dari selulosa dengan proses pemanasan dengan alkali.

Hasil **hidrolisis selulosa akan menghasilkan D-glukosa**, sedangkan hasil hidrolisis

hemiselulosa akan menghasilkan D-xilosa dan monosakarida lainnya. (Winarno, 1980) CNCs merupakan molekul yang memiliki rantai yang panjang, susunan atom yang teratur dan tidak memiliki bagian yang amorf. Nanopartikel ini telah mendapat perhatian karena memiliki sifat mekanik yang luar biasa seperti modulus young dan kekuatan tarik yang tinggi (Šturcova dkk., 2005).

Sehingga kristal ini sangat baik digunakan sebagai filler untuk menambah kekuatan komposit. Selain itu CNCs dalam bidang farmasi juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dalam pembuatan obat-obatan. CNCs umumnya dihasilkan dari proses dua langkah yaitu hidrolisis awal untuk menghilangkan daerah-daerah amorf dari polimer selulosa, dan fragmentasi segmen kristal untuk menghasilkan nanokristal. CNCs adalah kristalit selulosa dengan setidaknya satu dimensi yang sama atau kurang dari 100 nm.

Sejauh ini, metode umum yang telah dilakukan untuk memproduksi kristal selulosa adalah hidrolisis dengan asam sulfat 60% yang diikuti oleh fragmentasi (mekanik, sonikasi, dan lain-lain) untuk menghasilkan kristal selulosa (Kvien dkk., 2005; Dujardin dkk., 2003; Podsiadlo dkk., 2005; Beck-Candanedo dkk., 2005). Penelitian untuk mendapatkan CNCs yang banyak dilakukan selama ini dengan metode hidrolisis sederhana menggunakan asam kuat berkonsentrasi tinggi, hal ini disamping dapat merusak kristal selulosa, penggunaan asam kuat juga tidak ramah lingkungan.

Sehingga pengembangan teknologi yang ramah lingkungan seperti proses sonikasi dan hidrotermal perlu dikaji lebih mendalam untuk mendapatkan produk CNCs yang lebih optimal. 1.2 Perumusan Masalah Limbah TKKS sangat berlimpah di Indonesia khususnya di Aceh, seiring dengan bertambahnya kebutuhan akan CPO maka limbah ini semakin lama semakin meningkat pula sehingga diperlukan alternatif pemanfaatan kembali untuk menghasilkan produk yang lebih bermanfaat dan bernilai teknologi tinggi, salah satu diantaranya dengan cara meng-ekstrak selulosa dari TKKS tersebut untuk dijadikan sebagai CNCs.

Selulosa yang terdapat dalam lignoselulosa berbasis TKKS sulit dipisahkan karena sangat kuat terlindungi oleh lignin, untuk itu perlu dilakukan proses ekstraksi yang lebih baik yaitu dengan proses refluks dan hidrotermal dengan menggunakan pelarut NaOH. Untuk mengubah rantai selulosa menjadi CNCs dengan hidrolisis asam sulfat pekat dapat merusak struktur kristal selulosa itu sendiri, untuk itu dilakukan hidrolisis dengan asam klorida dengan metode sonikasi dan hidrotermal untuk mendapatkan CNCs yang berkualitas dan dapat diaplikasikan sebagai filler dalam teknologi nanokomposit dan aplikasi medis. 1.3

Keterkaitan dengan Pengembangan Ipteks CNCs dihasilkan dari biomassa yang paling

berlimpah dan terbarukan di alam yang telah menarik minat besar para ilmuwan dalam mengkaji lebih jauh sebagai material baru berstruktur nano selama 1-6 tahun terakhir ini. Karena material ini berdimensi nano, memiliki sifat mekanik yang baik (Modulus Young dari 138 GPa dan kekuatan tarik dari 1,7 GPa), reaktivitas permukaan dan biodegradasi yang tinggi, CNCs telah berhasil digunakan sebagai bahan pengisi organik dalam biopolimer nanokomposites.

CNCs merupakan molekul yang memiliki rantai yang panjang, susunan atom yang teratur dan tidak memiliki bagian yang amorf. Kristal ini sangat baik digunakan sebagai filler untuk menambah kekuatan komposit. Selain itu CNCs dalam bidang farmasi juga dapat dimanfaatkan sebagai bahan dalam pembuatan obat-obatan.

Pada peneliti ini dilakukan dengan proses sonikasi dan hydrothermal yang merupakan teknologi terkini dan ramah lingkungan yang dewasa ini semakin banyak dikembangkan untuk berbagai penelitian lainnya, namun untuk proses hidrolisa CNCs masih sangat terbatas pengkajiannya, untuk itu pada proses sonikasi-hidrotermal dalam penelitian ini akan dikaji lebih dalam kondisi operasi yang baik untuk mendapatkan produk CNCs yang berkualitas. 1.4

Luaran dan Kontribusi terhadap Ilmu Pengetahuan Luaran dan kontribusi yang ditargetkan dalam penelitian ini adalah : Memperkenalkan metode sonikasi dan hidrotermal dalam hidrolisis selulosa menjadi nanokristal selulosa dengan menggunakan katalis asam klorida. Memberikan kontribusi pada peneliti selanjutnya untuk menerapkan metode sonikasi dan hidrotermal dalam mengembangkan penelitian di bidang nano teknologi.

Sebagai referensi bagi para ilmuwan dalam mengembangkan produksi selulosa berbasis nano partikel. Produk CNCs yang dihasilkan dalam bentuk kristal dapat dijadikan sebagai bahan pengisi dalam teknologi nanokomposit dan digunakan untuk dalam bidang farmasi. Menghasilkan jurnal internasional terscopcus index Menyampaikan hasil penelitian dalam seminar international BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT 3.1.

Tujuan Penelitian Berdasarkan uraian dari perumusan masalah di atas, maka penelitian ini bertujuan : Meminimisasi limbah TKKS di lingkungan hidup. Mengkaji lebih mendalam proses hidrolisis selulosa dengan menggunakan asam klorida dibawah kondisi sonikasi dan hidrotermal untuk mendapatkan produk CNCs yang berkualitas. Mengetahui efektifitas dari jumlah CNCs yang dihasilkan sehingga proses tersebut layak dikembangkan Mengetahui kualitas produksi seperti crystalinity degree, particle size, morphology, dan thermal properties dari CNCs yang dihasilkan sehingga kualitasnya

dapat dipastikan layak di aplikasikan. 3.2.

Manfaat Penelitian Seiring dengan semakin meningkatnya pembangunan dan bertambahnya populasi penduduk menyebabkan isu pencemaran lingkungan hidup yang di sebabkan **emisi gas rumah kaca juga** semakin meningkat. Hal tersebut di sebabkan oleh penerapan teknologi yang tidak ramah lingkungan dan penggunaan energi non-renewable yang berlebihan.

Untuk itu perlu alternatif **pemanfaatan sumber daya alam yang** renewable dan penerapan teknologi yang ramah lingkungan sehingga dapat menekan timbulnya emisi gas rumah kaca. Penelitian ini menjawab tantangan tersebut diatas, dimana proses sonikasi dan hidrotermal merupakan sentuhan teknologi yang ramah lingkungan dalam memproduksi nano kristal selulosa yang dapat diterapkan dengan tepat.

Beberapa manfaat yang menjadi pertimbangan dilaksanakan penelitian ini antara lain: Menghasilkan CNCs yang dimanfaatkan dari limbah TKKS sehingga dapat menekan penumpukan limbah TKKS di lingkungan hidup. Selain memanfaatkan limbah dilingkungan, juga merupakan pengembangan teknologi isue terkini terkait dengan nano teknologi Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk membuat suatu material baru di bidang polimer-komposit dengan sifat termal dan struktur permukaan yang lebih baik, seperti digunakan sebagai filler dalam pembuatan nanokomposit transparan plastizer, lapisan transparan device optic, cencor optic, sebagai bahan dalam pembuatan obat-obatan dan sebagai informasi untuk peneliti selanjutnya. **BAB 4.**

METODE PENELITIAN 4.1

Rancangan Penelitian Desain eksperimental yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi ekstraksi selulosa dari TKKS dengan metode alkalinasi. Selanjutnya ekstrak selulosa dihidrolisis dengan asam untuk mendapatkan CNCs dengan proses hidrolisis biasa, hidrolisis hidrotermal dan hidrolisis sonikasi-hidrotermal. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan sebagai berikut : 1. Persiapan serat TKKS 2. Proses ekstraksi untuk mendapatkan selulosa 3.

Proses pembuatan CNCs dengan 3 cara : Hidrolisis biasa dengan refluks Hidrolisis dengan hidrotermal Hidrolisis dengan sonikasi-hidrotermal 4.2 Bahan Penelitian TKKS, aquadest, H₂SO₄ pekat, NaOH 10, 17,5, 20 (%), NaOCl 2%, aquabidest, HCl 3, 4, 5, 6, 7 (M) 4.3 Peralatan Penelitian Peralatan kaca dan **gelas yang biasa digunakan di** laboratorium, neraca analitis, kertas saring, termometer, hot plate, oven, indikator universal, desikator, sentrifugas, sonikator, hydrothermal dan seperangkat alat FT-IR, TGA, SEM, PSA dan HPLC. 4.4

Pembuatan CNCs Hidrolisis dengan Sonikasi-Hidrotermal Campuran selulosa : HCl 3M (1 g/60 mL), disonikasi 30 menit dalam water bath pada temperatur 40 oC, menggunakan Vibra-Cell VCF1500 (1500 W, 20 KHz), kemudian campuran dipindahkan ke dalam reaktor hidrotermal. Setelah rangkaian peralatan disusun seperti pada gambar 3.1 di bawah ini tabung reaktor ditutup dengan rapat, kemudian gas N₂ dialirkan ke dalam reaktor. Band heater dipanaskan sampai mencapai suhu 110 oC.

Reaksi dijalankan pada temperatur 110 oC dengan waktu reaksi mulai dari 0, 1, 2, 3, 4, dan 5 jam. Setelah mencapai waktu t jam penyamplingan dilakukan, campuran suspensi yang diperoleh didekantasi dalam botol selama 0-4 hari, selanjutnya dinetralkan dengan aquabides dan disentrifus 1200 rpm dan di keringkan Kemudian diulangi untuk konsentrasi HCl 4, 5, 6, dan 7 M dengan temperatur reaksi 120 dan 100 oC.

Rangkaian peralatan hidrotermal : Gambar 4.1 Rangkaian peralatan hidrotermal
Keterangan : Reaktor 8. Valve menuju udara luar Pemanas 9. Valve munuju reaktor Termokopel 10. Safety valve Indikator suhu reaktor 11. Gas Booster Sumber listrik 12. Regulator gas Temperature Controller 13. Tabung gas N₂ Pressure Gauge 14. Isolator 4.5

Karakterisasi CNCs Perhitungan Yield Analisa Gugus Fungsi dengan FT-IR Analisa Kristalinitas dengan X-RD Analisa Ukuran Partikel dengan PSA Analisa Morfologi dengan SEM Analisa Temperatur degradasi (TGA) 4.6 Road Map Penelitian Road map penelitian seperti terlihat pada diagram berikut, dimana bagian I dilakukan pada penelitian doktor dan hibah disertasi doktor, bagian II dan III proses hidrolisis yang dilakukan dalam penelitian doktor, bagian IV proses hidrolisis yang dilakukan dalam penelitian hibah disertasi doktor. BAB 5.

HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI Hasil dan Pembahasan 5.1.1 Analisa Kandungan Lignoselulosa TKKS Komponen utama dari biomassa lignoselulosa adalah lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Metode untuk pengukuran kandungan lignoselulosa yang telah umum digunakan adalah metode yang dikemukakan oleh Chesson (1978) dalam Datta (1981).

Metode ini adalah analisis gravimetri setiap komponen setelah dihidrolisis atau dilarutkan. Tahapan utama metode ini menghilangkan ekstraktif, kemudian hidrolisis hemiselulosa dengan asam kuat tanpa pemanasan, dilanjutkan dengan hidrolisis menggunakan asam encer pada suhu tinggi. Bagian terakhir yang tidak larut adalah lignin, kandungan lignin dikoreksi dengan kandungan abu.

Komposisi masing-masing komponen kimia yang terkandung dalam TKKS ditunjukkan

dalam Tabel 5.1. Tabel. 5.1 Komponen Kimiawi TKKS Analisa Cheson-Datta Komponen
_Kadar (%) _Zat terlarut dalam air Hemiselulosa Selulosa Lignin Abu _21,9 10,9 51,7
13,7 1,8 _ _Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, persentase air dan abu
masing-masing 9,9% dan 3,8% (Nazir dkk.,

2013), persentase abu yang diperoleh dalam penelitian ini lebih sedikit yaitu 1,8%.
Selulosa yang terdapat dalam bahan baku TKKS mencapai 51,7%, hal ini tidak sebanding
dengan laporan sebelumnya yang mencapai sampai 62,3% (Wanrosli dkk., 2011). Banyak
penelitian yang telah melaporkan kandungan TKKS yang dicapai berbeda-beda,
perbedaan ini dapat diakibatkan oleh jenis bahan baku TKKS dan tempat pengambilan
yang berbeda maupun proses perlakuan dalam penentuan komposisi yang berbeda.
5.1.2 Yield dan Kristalinitas Selulosa Table 5.2

menunjukkan yield selulosa yang diperoleh melalui ekstraksi menggunakan NaOH
dengan konsentrasi yang berbeda. Yield selulosa yang diperoleh melalui proses
ekstraksi dengan NaOH 15%, 17,5% dan 20% masing-masing 50,89%, 50,04% dan
31,28%. Jika ditinjau dari komposisi selulosa yang terkandung dalam TKKS yaitu 51,7%,
yield yang dicapai melalui proses ekstraksi dengan NaOH 17,5 % dan NaOH 15% sudah
sangat maksimal. Yield selulosa berbasis TKKS yang diperoleh dari beberapa penelitian
sebelumnya adalah 44,4% (Sun dkk., 1999), 60,6% (Wanrosli dkk.,

2011) dan 64% (Nazir dkk., 2013). Perbedaan ini disebabkan oleh komposisi selulosa
yang terkandung dalam TKKS berbeda-beda. Tabel. 5.2 Perbandingan Yield dan
Kristalinitas Selulosa Ekstraksi _Yield (%) _Kristalinitas (%) _Dhkl (nm) _NaOH 15 %
_50,890 _52,93 _17,46 _NaOH 17,5 % _50,040 _61,37 _29,35 _NaOH 20 % _31,284
_46,38 _2,34 _ _Gambar 5.1 memperlihatkan pola X-RD dari selulosa yang diekstaksi dari
TKKS dengan NaOH 15%, NaOH 17,5% dan NaOH 20%.

Kristalinitas selulosa yang dihasilkan melalui ekstraksi dengan NaOH 17,5% mencapai
61,37%, nilai ini tinggi jika dibandingkan dengan kristalinitas yang dihasilkan nanofibers
yang dihidrolisis dari TKKS dengan menggunakan H₂SO₄ adalah 59% (Fahma dkk.,
2010). Tingginya kristalinitas yang diperoleh disebabkan penghapusan hemiselulose
dan lignin yang ada di daerah amorf yang mengarah kepenataan molekul selulosa (Li
dkk.,

2009). Gambar 5.1 X-rd Selulosa ekstraksi dengan NaOH 15% ;17,5% ; 20% 5.1.3 Yield
CNCs Gambar 5.2 menunjukkan yield CNCs yang diperoleh melalui hidrolisis
sonikasi-hidrotermal menggunakan HCl (1; 2; 3; 4; 5) M, dengan waktu reaksi 1-5 jam
dan temperature reaksi hidrotermal masing-masing 100 oC, 110 oC dan 120 oC.
Konsentrasi asam dan waktu reaksi dan temperature sangat berpengaruh terhadap yield

CNCs yang dihasilkan.

Gambar 5.2(a) memperlihatkan yield yang diperoleh melalui proses hidrolisis pada temperatur 100 oC, yield yang tinggi dapat dicapai melalui reaksi hidrolisis menggunakan HCl 1M dan 2 M dengan waktu reaksi 1 jam, yield masing-masing 80,0 dan 80,47%. Gambar 4.2(b) proses hidrolisis dengan temperature 110 oC, memperlihatkan yield yang tinggi 80,0% yang dicapai melalui reaksi hidrolisis menggunakan HCl M pada waktu reaksi 1 jam. Gambar 4.2(c) memperlihatkan yield yang diperoleh melalui proses hidrolisis dengan temperatur 120 oC, yield yang tinggi dicapai melalui reaksi hidrolisis menggunakan HCl 2M pada waktu reaksi 1 jam yaitu 66,42%.

Semua grafik memperlihatkan pada waktu hidrolisis 1 jam semua yield tinggi, ketika waktu hidrolisis dinaikkan menjadi 2, 3, 4, dan 5 jam semua yield CNCs yang diperoleh turun, hal ini dikarenakan wilayah kristal selulosa ikut terdegradasi menjadi monomer-monomer selulosa sehingga yield CNCs menurun. Jika dilihat dari perbandingan temperature, semakin tinggi temperature proses maka memperlihatkan yield semakin rendah.

Turunnya yield dapat disebabkan oleh konsentrasi asam yang tinggi dan waktu reaksi yang panjang sehingga terjadi degradasi berlebihan dari selulosa, dimana asam menembus dengan cepat ke dalam lapisan jaringan selulosa dan menghidrolisis daerah amorf yang selanjutnya ikut menghidrolisis daerah kristalin dari selulosa. Menurut Yu dkk.

(2013) reaksi hidrolitik dibatasi dengan waktu reaksi yang relatif pendek sehingga asam bisa menurunkan hanya daerah amorf dalam selulosa dan meninggalkan yang kristal. Dengan demikian, waktu reaksi diyakini menjadi salah satu parameter yang paling penting dipertimbangkan untuk meningkatkan yield CNCs. / Gambar 5.2 Yield CNCs, (a) pada suhu 100 oC, (b) pada suhu 110 oC, (c) pada suhu 120 oC, pada setiap molar HCl.
5.1.4 Kristalinitas CNCs pada Suhu 100 oC Gambar 5.3

memperlihatkan pola X-RD CNCs yang diperoleh melalui hidrolisis HCl (1; 2; 3; 4; 5) M pada temperature 100 oC dengan waktu reaksi 0 sampai 5 jam. Semua pola difraksi untuk bidang kristal selulosa menunjukkan puncak 2 θ disekitar =16o, 22o dan puncak lemah muncul di daerah 35o, pola difraksi minimum bidang amorf terletak di 2 θ = 18o dan 19o. Bidang tersebut merupakan ciri khas dari struktur selulosa (Rosli dkk., 2013 dan Yu dkk., 2013).

Konsentrasi asam dan waktu reaksi sangat berpengaruh terhadap kristalinitas CNCs

yang dihasilkan. Gambar 5.4 memperlihatkan pengaruh konsentrasi HCl dan waktu reaksi terhadap kristalinitas yang dihasilkan. Hidrolisis dengan menggunakan HCl 1M menunjukkan kristalinitas mulai meningkat pada waktu reaksi 3-4 jam yaitu 62,84-68,32% dan pada waktu reaksi 5 jam terlihat masih meningkat sampai 69,23%, hal ini mengindikasikan HCl 1M pada temperatur 100 oC belum mampu memaksimalkan kristalinitas yang dicapai, padahal waktu reaksi sudah mencapai 5 jam.

Hidrolisis menggunakan HCl 2M mampu memaksimalkan kristalinitas yang dicapai pada waktu reaksi 3 jam dengan kristalinitas mencapai 67,3%, pada waktu reaksi 4-5 jam kristalinitasnya cenderung mulai menurun. Hidrolisis menggunakan HCl 3M mampu memaksimalkan kristalinitas yang di capai pada waktu reaksi 2 jam dengan kristalinitas yang tinggi yaitu 73,073%, sedangkan waktu reaksi 3-5 jam kristalinitasnya cenderung menurun.

Hidrolisis menggunakan HCl 4M menunjukkan kristalinitas tertinggi pada waktu 0 jam yaitu 67,64%, selanjutnya kristalinitas cenderung menurun seiring dengan lamanya waktu reaksi. Hidrolisis menggunakan HCl 5M tidak menunjukkan korelasi dengan teori yang ada, dimana semakin tinggi konsentrasi asam yang digunakan dan semakin lama waktu reaksi kristalinitasnya semakin menurun, hal ini dikarenakan asam yang tinggi dan waktu yang lama menyebabkan kristal selulosa terdegradasi.

Suatu perlakuan asam yang pekat dengan waktu yang panjang pada selulosa dapat melemahkan daerah kristalin, bahkan mengakibatkan karbonisasi CNCs (Yu dkk. 2013). Gambar 5.3 Pola X-RD CNCs-1M, CNCs-2M, CNCs-3M, CNCs-4M dan CNCs-5M pada temperatur 100 oC / Gambar 5.4 Kristalinitas CNCs pada temperature 100 oC 5.1.5 Kristalinitas CNCs pada Suhu 110 oC Gambar 5.5

memperlihatkan pola X-RD dari CNCs yang diperoleh melalui hidrolisis HCl (1; 2; 3; 4; 5) M pada temperature 110 oC dengan waktu reaksi 0 sampai 5 jam. Semua pola difraksi untuk bidang kristal selulosa menunjukkan puncak 2 θ disekitar = 16o, 22o dan 35o, pola difraksi minimum untuk bidang amorf menunjukkan 2 θ disekitar = 18o dan 19o.

Semua CNCs menunjukkan puncak difraksi kristal maksimum terletak di sudut 2 θ = 22o-23o dengan bidang kisi 002, hal ini menunjukkan kristal yang diperoleh adalah selulosa I. Pada sudut 2 θ = 35o dengan bidang kisi 004 semua pola difraksi masih menunjukkan puncak kristal selulosa yang rendah, hal ini menandakan bahwa asam klorida mampu mempertahankan wilayah kristal yang berada pada sudut puncak yang lemah. Gambar 5.6

memperlihatkan pengaruh konsentrasi HCl dan waktu reaksi terhadap kristalinitas yang

dihasilkan. Pada waktu reaksi 1 jam hampir semua konsentrasi HCl yang digunakan memperlihatkan kristalinitas tinggi, kecuali pada HCl 5M kristalinitas tetap. Selanjutnya untuk hidrolisis dengan HCl 1M, 2M dan 3M pada waktu reaksi 2 sampai 5 jam kristalinitasnya cenderung stabil, hanya sedikit turun kristalinitas, sedangkan hidrolisis melalui HCl 4M dan 5M pada waktu reaksi 2 sampai 5 jam menunjukkan kristalinitas menurun tajam.

Suatu perlakuan asam dengan waktu yang panjang pada selulosa dapat melemahkan daerah kristalin, bahkan mengakibatkan karbonisasi CNCs (Yu dkk., 2013). Kristalinitas yang dihasilkan melalui reaksi hidrolisis menggunakan HCl 1M; 2M; 3M; 4M dan 5M pada waktu reaksi 1 jam masing-masing (70,63; 75,87; 78,59; 77,19; 76,36) %.

Tingginya kristalinitas dikarenakan hidrolisis asam klorida mampu memutuskan wilayah amorf selulosa yang mendorong pembelahan hidrolitik dari ikatan glikosidik, akhirnya melepaskan kristal individu (Li dkk., 2009; Spagnola dkk., 2012). Peningkatan kristalinitas ini berkaitan dengan meningkatnya kekakuan struktur selulosa, yang dapat menyebabkan kekuatan tarik yang tinggi.

Peningkatan ini diperkirakan akan meningkatkan sifat mekanik komposit (Alemdar dan Sain, 2008 ; Rosa dkk, 2012). / Gambar 5.5 Pola X-RD CNCs-1M, CNCs-2M, CNCs-3M, CNCs-4M dan CNCs-5M pada temperatur 110 oC / Gambar 5.6 Kristalinitas CNCs pada temperature 110 oC 5.1.6 Kristalinitas CNCs pada Suhu 120 oC Gambar 5.7

menunjukkan pola difraksi CNCs yang dihasilkan melalui proses hidrolisis menggunakan HCl (1, 2, 3, 4, 5) M pada suhu 120 oC dengan waktu reaksi 0 sampai 5 jam. Semua pola difraksi untuk bidang kristal selulosa memperlihatkan puncak 2θ disekitar = 16° , 22° , dan puncak lemah muncul di daerah 35° , hal ini menunjukkan adanya kesamaan dengan pola difraksi CNCs yang dihidrolisis pada temperatur 110 oC.

Hal ini mengindikasikan hidrolisis dengan HCl dapat mempertahankan posisi daerah kristal selulosa. Semua CNCs menunjukkan puncak difraksi kristal maksimum terletak di sudut $2\theta = 22^\circ$ - 23° dengan bidang kisi 002, hal ini menunjukkan kristal yang diperoleh adalah selulosa I.

Pada sudut $2\theta = 35^\circ$ dengan bidang kisi 004 semua pola difraksi masih menunjukkan puncak kristal selulosa yang rendah, hal ini menandakan bahwa asam klorida mampu mempertahankan wilayah kristal yang berada pada sudut puncak yang lemah. Gambar 5.8 memperlihatkan pengaruh waktu reaksi dan konsentrasi HCl terhadap kristalinitas yang dihasilkan.

Kristalinitas tinggi dicapai melalui hidrolisis menggunakan HCl 1M, 2M, 3M pada waktu reaksi 2-3 jam, selanjutnya pada waktu 4-5 jam kristalinitas semakin menurun, hal ini membuktikan bahwa pada temperature 120 oC dan waktu reaksi 4 jam dapat menyebabkan terjadinya degradasi terhadap selulosa sehingga kristalinitasnya semakin menurun.

Hidrolisis menggunakan HCl 4M dan 5M pada waktu reaksi 3 sampai 5 jam terlihat tidak ada kristalinitas yang muncul, hal ini disebabkan kristal selulosa terdegradasi menjadi glukosa dan menyisakan rantai yang amorf. Proses hidrolisis pada temperature 110 oC menunjukkan kristalinitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan hidrolisis pada temperature 100 dan 120 oC, begitu juga dengan penggunaan konsentrasi asam, secara keseluruhan pada penggunaan HCl 2M dan 3M memberikan kristalinitas yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan HCl (1, 4, 5) M. Sehingga waktu reaksi, temperature dan konsentrasi asam menjadi faktor paling berpengaruh terhadap kristalinitas CNCs. Gambar 5.7

Pola X-RD CNCs 1M, CNCs-2M, CNCs-3M, CNCs-4M dan CNCs-5M pada temperatur 120 oC / Gambar 5.8 Kristalinitas CNCs pada temperature 120 oC 5.1.7 Ukuran Kristal CNCs Ukuran kristal (Dhkl) pada masing-masing temperature dan konsentrasi HCl ditunjukkan pada tabel 5.3 berikut ini, ukuran kristal yang diperoleh sangat variatif namun masih dalam skala nanometer dan rata-rata di bawah 50 nm, hal ini mengisyaratkan bahwa hidrolisis asam menggunakan HCl di bawah kondisi sonikasi-hidrotermal mampu memperkecil ukuran kristal selulosa. Tabel 5.3

Ukuran kristal (Dhkl) CNCs pada proses	100 oC	110 oC	120 oC
Temperatur	100 oC	110 oC	120 oC
Waktu reaksi (jam)	0	1	2
Dhkl 002 (nm)	2.93	2.93	2.93
HCl 1M	1.68	1.92	1.92
HCl 2M	3.88	4.69	4.69
HCl 3M	17.45	2.93	5.87
HCl 4M	2.35	6.42	1.96
HCl 5M	3.91	3.91	3.35
100 oC	1.96	9.39	5.87
110 oC	1.96	1.95	17.46
120 oC	5.87	2.34	3.35
0	15.64	4.69	11.74
1	2.61	4.69	15.64
2	4.69	7.83	3.35
3	2.93	3.35	7.83
4	1.81	5.87	17.45
5	4.69	5.87	3.91
0	3.21	3.49	3.91
1	17.45	7.83	2.35
2	2.35	2.93	2.35
3	17.45	17.46	5.87
4	2.76	3.88	17.45
5	12.97	2.35	3.38
0	17.46	-	-
1	4.69	1.68	17.46
2	-	-	-
3	5.88	5.86	3.79
4	-	-	-
5	-	-	-

5.1.8 Struktur Kimia Gambar 5.9 menunjukkan ciri khas spektrum FT-IR dari selulosa dan CNCs yang dihidrolisis melalui HCl (2; 3; 4; 5) M pada temperature 110 oC dengan waktu reaksi 1 jam. Penempatan daerah vibrasi dirangkum dalam Tabel 5.4. Dari spektrum terlihat puncak serapan yang luas terletak pada 3330 cm⁻¹ yang merupakan peregangan kelompok -OH. Puncak serapan pada daerah 2891-2898 cm⁻¹ terkait dengan kelompok -CH₂, menurut Jahan

dkk., (2011) puncak tersebut merupakan puncak khas dari CNCs.

Pada daerah serapan 2844 cm^{-1} seperti yang terlihat pada spectrum TKKS dan selulosa yang merupakan overlapping dari pita $-\text{CH}_2$, puncak ini tidak muncul lagi pada CNCs karena telah terjadi pemutusan rantai amorf selulosa. Puncak di daerah 1637 cm^{-1} yang muncul kecil pada semua sampel CNCs merupakan indikasi penyerapan air atau peregangan O-H, puncak ini berkaitan dengan bentuk lentur molekul air karena interaksi yang kuat antara selulosa dan air (Johar dkk. 2012).

Semua spectrum CNCs tidak terlihat puncak serapan pada 1454 cm^{-1} yang merupakan daerah lentur vibrasi dari O-C-H yang berasal dari komponen lignin (Yu dkk., 2013), tidak munculnya puncak serapan tersebut menunjukkan CNCs telah terjadi penghilangan lignin secara sempurna. Puncak serapan yang muncul pada daerah 1314-1364 cm^{-1} pada semua sampel merupakan pita vibrasi dari C-H dan C-O yang berkaitan dengan cincin aromatik polisakarida, pita serapan ini sesuai dengan yang dianalisis oleh Nacos dkk. (2006).

Puncak serapan pada 1158-1160 cm^{-1} yang terdapat pada semua spektrum CNCs disebabkan oleh deformasi dari getaran C-H dan piranosa C-O-C yang lebih menonjol (kargarzadeh dkk., 2012). Semua CNCs memperlihatkan adanya intensitas yang tajam pada pita 1026 cm^{-1} yang menunjukkan peregangan cincin piranosa C-O-C, hal ini mengisyaratkan telah terjadi peningkatan nilai kristal selulosa (Correa dkk.,

2010), hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh dari X-RD dimana CNCs menunjukkan indeks kristal yang tinggi dibandingkan dengan selulosa. Secara keseluruhan semua sampel CNCs pada Gambar 5.9 menunjukkan karakteristik yang sama, dimana semua spectrum memiliki puncak serapan yang sama dan telah banyak puncak yang hilang yang mengindikasikan telah hilangnya pita serapan daerah lignin dan rantai amorf selulosa. / Gambar 5.9

Spektrum FT-IR dari (a) Selulosa, (b) CNCs-2M, (c) CNCs-3M, (d) CNCs-4M, dan (e) CNCs-5M dengan waktu reaksi 1 jam / Gambar 5.10 Spektrum FT-IR dari CNCs-3M dengan waktu reaksi hidrolisis (a) 1 jam (b) 2 jam, (c) 3 jam, (d) 4 jam dan (e) 5 jam Tabel 5.4

Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Spektrum FTIR dari CNCs	Bilangan Gelombang (cm^{-1})	Nama puncak serapan	Sumber
895,90			Perubahan bentuk C(1)-H, getaran valensi cincin glukosa	Nor, 2013
1024,19			Perubahan bentuk alkohol primer; ditambah peregangan rantai C=O	Isroi, 2012
1158-1160			Deformasi dari getaran C-H dan piranosa C-O-C	Kargarzadeh, 2012
1314-1364			C-H dan C-O yang berkaitan dengan cincin aromatik polisakarida, CH ₂ rocking vibration	Nacos, 2006
1454-1457			Getaran O-C-H yang berasal dari komponen lignin, Getaran rantai aromatik	Facler, 2010

dikombinasi dengan perubahan bentuk C-H_Yu dkk.,

2013 Schwanninger, 2004 _ _1420-1427 _Getaran aromatik dikombinasi dengan perubahan bentuk C-H dari lignin_Schwanninger, 2004 _ _1504,66 _Getaran rantai aromatik C-H yang ada pada lignin_Isroi,2012 _ _1600-1650 _O-H stretching_Johar, 2012 _ _2893-2898 _Getaran Valensi CH2 tidak simetris_Isroi, 2012, Jahan, 2011 _ _3330-3335 _OH bending intrmolecular di dalam selulosa_Jahan, 2011 _ _ 5.1.9 Morfologi CNCs Gambar 5.11 memperlihatkan morfologi dan dimensi selulosa dan CNCs yang dihidrolisis dengan HCl 2M, 3M, 4M dan 5M melalui proses sonikasi-hidrotermal pada temperature 110 oC.

Waktu reaksi dan konsentrasi asam klorida yang digunakan sangat menentukan hasil dan distribusi ukuran CNCs. Struktur permukaan CNCs-3M dan CNCs-4M memiliki dimensi yang lebih kecil yaitu 2 μm dengan lebar masing-masing 1,0-9,0 mm dan 1,0-9,5 mm sedangkan CNCs-2M dan 5M memiliki dimensi 10 μm dengan lebar partikel 10,5 mm. Gambar 5.11 Mikrograf SEM (a) Selulosa, (b) CNCs-2M, (c) CNCs-3M, (d) CNCs-4M, dan (e) CNCs-5M dengan waktu reaksi 1 jam Perubahan morfologi CNCs sangat dipengaruhi oleh tingkat kehalusan kristal, sehingga kehalusan kristal perlu diperhatikan untuk memberikan struktur permukaan yang lebih baik.

CNCs-5M memiliki susunan permukaan yang lebih rapi dan teratur jika dibandingkan dengan CNCs-4M dan 3M yang nampak lebih acak, hal ini mengindikasikan bahwa wilayah kristal selulosa dapat menahan serangan HCl 5M dan menghapus komponen amorf dari selulosa, sehingga menghasilkan morfologi yang lebih baik. Secara keseluruhan proses sonikasi-hidrotermal yang ditunjukkan dari morfologi CNCs dibawah ini mampu merubah rantai native selulosa menjadi rantai kristal selulosa dengan dimensi yang lebih pendek jika dibandingkan dengan morfologi selulosa. 5.1.10 Stabilitas Termal Gambar 5.12 menampilkan kurva termogravimetri analisis (TGA) dan derivative termogram (DTG) dari CNCs yang dihidrolisis menggunakan HCl 2M, HCl 3M dan HCl 4M dengan waktu reaksi 1 jam dibawah kondisi sonikasi-hidrotermal pada temperature 110 oC.

Temperature degradasi onset (T_0) dan temperatur dekomposisi maksimum (T_{max}) tercantum dalam Tabel 5.5. Termal degradasi dari selulosa melibatkan depolimerisasi, dehidrasi dan dekomposisi unit glycosyl yang diikuti dengan pembentukan residu hangus (Yu et al., 2013). Fenomena temperature degradasi (T_0) CNCs-2M dimulai pada temperatur yang lebih rendah (305,20 oC) dan terdekomposisi pada temperature (T_{max}) 340.15 oC, tingkat stabilitas termal CNCs-3M hampir sama dengan CNCs-2M yang dapat dipertahankan sampai pada temperature (T_0) 305,66 oC) kemudian terdekomposisi pada temperature maksimum (T_{max}) 339.82 oC. CNCs-4M mulai terdegradasi pada

temperature 307.09 0C dan terdekomposisi pada temperature 340.56 0C.

Secara keseluruhan hidrolisis selulosa dengan asam klorida dibawah kondisi sonikasi-hidrotermal mampu mempertahankan stabilitas termal sehingga temperatur degradasi dan temperature dekomposisi yang diperoleh tinggi. Tingginya temperature degradasi dapat mengurangi kerusakan di daerah kristal selulosa dan mengurangi agregasi selama proses netralisasi (Yu et al., 2013).

Selain itu, hidrolisis dengan asam klorida dapat mengakibatkan pembentukan kristal dengan distribusi ukuran yang relatif kecil, yang menghasilkan puncak tunggal dari kurva DTG (Correa et al., 2010). Tingginya temperature degradasi mengisyaratkan CNCs sangat baik digunakan sebagai filler untuk memperkuat daya tahan nanokomposit. Gambar 5.13 menunjukkan Termogram TGA dan DTG dari CNCs-3M dengan waktu reaksi 1 sampai 5 jam. Tabel 5.5 Stabilitas termal CNCs Sampel CNCs _Temp.

degradasi (TGA) T0 (0C) _Temp. dekomposisi (DTG) Tmax (0C) _ _Selulosa _233,43
_314,17 _ _2M-1 jam _305.20 _340.15 _ _3M-1 jam _305.66 _339.82 _ _4M-1 jam _307.09
_340.56 _ _5M-1 jam _269,53 _337,87 _ _ Gambar 5.12 Termogram dari (a) TGA dan (b)
DTG dari CNCs-2M, CNCs-3M CNCs-4M dan CNCs-5M dengan waktu reaksi 1 jam.

Gambar 5.13 Termogram dari (a) TGA dan (b) DTG dari CNCs-3M dengan waktu reaksi 1 sampai 5 jam 5.1.11 Ukuran Partikel Gambar 5.14 memperlihatkan ukuran partikel dari CNCs yang dihidrolisis menggunakan HCl 2M, 3M dan 4M dengan waktu 1 jam pada temperature 110 oC.

Pengaruh dari perbedaan konsentrasi HCl yang digunakan menunjukkan adanya perbedaan terhadap ukuran partikel yang dihasilkan, dimana CNCs-4M terdapat partikel yang sangat kecil dengan ukuran 0,96 dan 1,11 nm dengan persentase 5,4 dan 3,2 %, CNCs-3M memiliki partikel dengan ukuran 68,06 nm dengan persentase 14,1 %, sementara CNCs-2M semua partikel berukuran 255 nm. Jika dihitung secara keseluruhan CNCs-2M memiliki ukuran 255 nm, CNCs-3M : 214,3 nm dan CNCs-4M 214,2 nm.

Data ini mendukung data SEM dan X-RD dimana kecilnya ukuran partikel akan menentukan susunan morfologi dari CNCs dan menentukan ukuran kristal, semakin kecil ukuran partikel maka ukuran kristal juga akan semakin kecil. Gambar 5.14 Ukuran Partikel dari (a) CNCs-2M, (b) CNCs-3M dan (c) CNCs-4M yang dihidrolisis selama 1 jam. Luaran Yang Dicapai Adapun luaran yang telah dicapai dalam penelitian ini berupa publikasi, antara lain: Conference international "10th International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST) 2015" di Surabaya, dengan judul paper: Hydrolysis of Cellulose from Oil Palm Empty Fruit Bunches to Produce Cellulose Nanocrystals. Dimuat dalam proceeding: ICAST 2015. ISBN; 978-979-545-075-7.

Publikasi ilmiah di Jurnal Internasional "Cellulose Chemistry and Technology" dengan judul artikel: Effect of Hydrochloric Acid Hydrolysis under Sonication-Hydrothermal Conditions towards Cellulose Nanocrystals Products from Oil Palm Empty Fruit Bunch. Status: Waiting for Riview. Publikasi ilmiah di Jurnal International Journal of ChemTech Research ISSN: 0974-4290, dengan judul artikel: Effects of hydrolysis conditions on the crystallinity, chemical structure, morphology, and thermal stability of cellulose nanocrystals extracted from oil palm biomass residue. Status: Accepted.

Conference international "The International Conference on Chemical Process and Product Engineering (ICCPPE) 2016, judul: Kinetics study the decomposition of the cellulose into cellulose nanocrystals by hydrothermal with hydrochloric acid catalyst" organized by Department of Chemical Engineering Diponegoro University. Noormans Hotel-Semarang on 14th -15th September 2016. BAB 6.

KESIMPULAN DAN SARAN Suatu pendekatan untuk memproduksi CNCs telah disajikan melalui proses hidrolisis asam klorida dari bahan baku selulosa berbasis TKKS dibawah kondisi sonikasi-hidrotermal. Yield CNCs yang tinggi yang diperoleh melalui proses sonikasi-hidrotermal pada temperature reaksi 100 oC adalah menggunakan HCl 2M dengan waktu reaksi 1 jam yaitu 80,47% dengan kristalinitas 62,77%, sedangkan kristalinitas yang tinggi dicapai melalui hidrolisis menggunakan HCl 3M pada waktu reaksi 2 jam yaitu 73,07% dengan yield 56,48%.

Yield CNCs yang tinggi yang diperoleh melalui proses sonikasi-hidrotermal pada temperature 110 oC adalah menggunakan HCl 1M dengan waktu reaksi 1 jam yaitu 80,0 % dengan kristalinitas 70,63 %, sedangkan kristalinitas yang tinggi dicapai melalui hidrolisis menggunakan HCl 3M pada waktu reaksi 1 jam yaitu 78,59 % dengan yield 74,82.

Yield CNCs yang tinggi yang diperoleh melalui proses sonikasi-hidrotermal pada temperature reaksi 120 oC adalah menggunakan HCl 2M dengan waktu reaksi 1 jam yaitu 66,42% dengan kristalinitas 55,86%, sedangkan kristalinitas yang tinggi dicapai melalui hidrolisis menggunakan HCl 1M pada waktu reaksi 2 jam yaitu 71,65% dengan yield yang rendah 52,20%.

Semua pola X-RD menunjukkan difraksi puncak yang tinggi pada sudut $2\theta = 22-23^\circ$ dan puncak rendah pada sudut $2\theta = 18^\circ$ dan CNCs menunjukkan ukuran kristal dibawah 20 nm, hal ini mengisyaratkan proses sonikasi-hidrotermal yang diterapkan efektif memperkecil ukuran kristal selulosa. Proses sonikasi-hidrotermal pada tempeartur 110 oC lebih baik dari pada proses pada tempeartur 100 dan 120 oC yang dibuktikan

dengan kristalinitas CNCs yang diperoleh lebih tinggi.

Proses sonikasi-hidrotermal pada temperature 110 oC dapat memberikan stabilitas termal yang baik pada CNCs yang dibuktikan dengan temperature dekomposisi yang tinggi pada termogram DTG. FT-IR menunjukkan proses sonikasi-hidrotermal mampu mempertahankan kondisi struktur kristal selulosa yang ditunjukkan dengan adanya puncak khas dari CNCs.

CNCs memperlihatkan morfologi yang lebih kompak dan tersusun teratur jika dibandingkan dengan selulosa. Proses sonikasi-hidrotermal belum mampu memperkecil ukuran partikel dibawah 100 nm, dimana ukuran partikel yang dihasilkan bervariasi dari 1-255 nm. DAFTAR PUSTAKA Anggraini, D., Roliadi, H., (2011), "Pembuatan Pulp dari Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Karton pada Skala Usaha Kecil". Penelitian Hasil Hutan, 29(3), 211-225. Araki, J., Wada, M.,

Kuga, S., Okano, T., (1998), "Flow Properties of Microcrystalline Cellulose Suspension Prepared by Acid Treatment of Native Cellulose". Colloids Surfaces A, 42(1), 75–82. Aulia, F., Marpongahtun, Gea, S., (2013), "Studi Penyediaan Nanokristal Selulosa dari Tandan Kosong Sawit (TKS)", Jurnal Saintia Kimia, 1(2), 1-6. Battista, O.A., (1950), "Hydrolysis and Crystallization of Cellulose". Industrial and Engineering Chemistry, 42, 502–507. Beck-Candanedo, S., Roman, M., Gray, D.G.,

(2005), "Effect of Reaction Conditions on the Properties and Behavior of Wood Cellulose Nanocrystal Suspensions", Biomacromolecules 6, 1048–1054. Cowd, M.A., (1991), "Kimia Polimer", Bandung, Penerbit ITB. Ditjenbun, (2012), "Peresmian Peremajaan Pertama Kebun Plasma Kelapa Sawit di Sei Tapung, Propinsi Riau", Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian.

Dri, F.L., Hector Jr, L.G., Moon, R.J., Zavattieri, P.D., (2013), "Anisotropy of the Elastic Properties of Crystalline Cellulose I_β from First Principles Density Functional Theory with Van der Waals Interactions", Cellulose, 20, 2703–2718. Dujardin, E., Blaseby, M., Mann, S.,

(2003), "Synthesis of Mesoporous Silica by Sol-gel Mineralization of Cellulose Nanorod Nematic Suspensions", Journal of Materials Chemistry, 13, 696–699. Fauzi, Y., (2005), "Kelapa Sawit – Budi Daya Pemanfaatan Hasil dan Limbah, Analisis Usaha dan Pemasaran", Edisi Revisi, Penebar Swadaya, Jakarta. Filson, P.B., Dawson-Andoh, B.E., (2008), "Sono-Chemical Preparation of Cellulose Nanocrystals from Lignocellulose Derived Materials", Bioresource Technology, 100, 2259–2264.

Haafiz, M.M.K., Eichhorn, S.J., Hassan, A., Jawaid, M., (2013), "Isolation and

Characterization of Microcrystalline Cellulose from Oil Palm Biomass Residue”, Carbohydrate Polymers, 93, 628–634. Hasibuan, R.S., (2010), “Kualitas Serat dari Limbah Batang Kelapa Sawit sebagai Bahan Baku Papan Serat”, Fakultas Pertanian USU, Medan. Kvien, I., Tanem, B.S., Oksman, K.,

(2005), “Characterization of Cellulose Whiskers and Their Nanocomposites by Atomic Force and Electron Microscopy”, Macromolecules 6, 3160–3165. Lehninger, A.L., (1988), “Dasar-Dasar Biokimia”, Jilid 1, Jakarta : Erlangga. Moran, J.I., Alvarez, V.A., Cyras, V.P., Analia, Vazquez, A., (2008), “Extraction of Cellulose and Preparation of Nanocellulose from Sisal Fibers”, Cellulose, 15, 149–159 Mosier, N.S., Sarikaya, A., Ladisch, C.M.,

Ladisch, M.R., (2001), “Characterization of Dicarboxylic Acids For Cellulose Hydrolysis”. Biotechnology Progress, 17, 474–480. Nazir, M.S., Wahjoedi, B.A., Yussof, A.W., Abdullah, M.A., (2013), “Eco-Friendly extraction and Characterization of cellulose from oil palm empty fruit Bunches”, Bioresources, 8(2), 2161-2172. PPKS, (2008), “Aplikasi Kompos TKS Pada Kelapa Sawit TM”. Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Podsiadlo, P., Choi, S.Y., Shim, B., Lee, J., Cuddihy, M., Kotov, N.A.,

(2005), “Molecularly Engineered Nanocomposites: Layer-By-Layer Assembly of Cellulose Nanocrystals”. Biomacromolecules, 6, 2914–2918. Rånby, B.G., (1952), “The Colloidal Properties of Cellulose Micelles”. Discussions Faraday Society, 11, 158–164. Sjöstrom, E., (1998), “Kimia kayu, Dasar-dasar dan Penggunaan”. Gaja Mada Academic Press, Edisi kedua, 68-79. Šturcova, A., Davies, G.R., Eichhorn, S.J.,

(2005), “Elastic Modulus and Stresstransfer Properties of Tunicate Cellulose Whiskers”, Biomacromolecules, 6, 1055–1061. Sukarta, I.N., (2008), “Adsorpsi Ion Cr³⁺ oleh Serbuk Gergaji Kayu Albizia (Albizia Falcata): Studi Pengembangan Bahan Alternatif Penjerap Limbah Logam Berat”, Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor. Sumardjo, D.,

(2008), “Pengantar Kimia”: Buku Panduan Kuliah Mahasiswa Kedokteran dan Program Strata I Fakultas Bioeksakta, Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta. Toor, S.S., Rosendahl, L., Rudolf, A.A., (2011), “Review of Subcritical Water Technologies”. Energy, 36, 2328-2342. Trisanti, A., (2009), “Prospek Enzim dan Limbah Ligniselulosa untuk Produksi Bioetanol”. Bogor: LIPI. Widiastuti, H., Panji, T.,

(2007), “Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sisa Jamur Merang (Volvariella Volvacea) XVIII (TKSJ) sebagai Pupuk Organik pada Pembibitan Kelapa Sawit”. Jurnal Menara Perkebunan 2(75), 70-79. Winarno, F.G., (1980), “Kimia Pangan”, Jakarta: Gramedia Yu, H., Qin, Z., Liang, B., Liu, N., Zhou, Z., Chen, L., (2013), “Facile Extraction of Thermally Stable Cellulose Nanocrystals with a High Yield of 93% through Hydrochloric

Acid Hydrolysis under Hydrothermal Conditions", *Journal of Materials Chemistry A*, 1, 3938–3944.

INTERNET SOURCES:

<1% -
<http://www.lontar.ui.ac.id/file?file=digital/136176-T+28100-Studi+kelayakan-Pendahuluan.pdf>

<1% -
<https://www.scribd.com/document/379529958/Isolasi-Dan-Karakteristik-Kristal-Nanokristalin-Selulosa-Dari-Biji-Salak>

<1% - <http://enerjihijauku-gsmlina.blogspot.com/2009/>

<1% - <http://www.mesinpks.com/page/9/>

<1% - <https://vdocuments.site/documents/energi-560f072073d90.html>

<1% - <https://konsep-kimia.blogspot.com/2016/09/polisakarida.html>

<1% - <https://www.scribd.com/document/370969837/Hemiselulosa>

<1% - <http://iepoktarina.blogspot.com/2009/11/apa-itu-hemiselulosa.html>

<1% -
<https://lordbroken.wordpress.com/category/keilmuan/pengemasan-dan-pengawetan/page/4/>

<1% - <https://www.scribd.com/doc/77292759/k-sawit>

<1% -
<http://novitasariyaman.blogspot.com/2015/10/makalah-mikrobiologi-industri.html>

<1% -
https://jurnal.ugm.ac.id/index.php/index/oai?verb=ListRecords&metadataPrefix=oai_dc&set=jrekpros

<1% - http://repository.usu.ac.id/feed/atom_1.0/123456789/376

<1% - <https://blogs.itb.ac.id/pencemud1klp3/2016/03/09/gas-rumah-kaca/>

<1% - <https://edoc.site/makalah-pencemaran-tanah-pdf-free.html>

<1% - <http://slideplayer.info/slide/2928326/>

<1% - <https://arifsanjaya45.wordpress.com/2011/11/02/bahan-kedokteran-gigi/>

<1% -
<http://mimitprimyastanto.lecture.ub.ac.id/files/2014/03/BAB-IV-METODE-PENELITIAN-19-12-131.pdf>

<1% - <https://docobook.com/adam-wiryawan-dkk-psbtiksmkn1cmsnet.html>

<1% -
http://www.academia.edu/8429259/ANALISA_NILAI_EXCESS_AIR_UNTUK_MENINGKATKAN_EFISIENSI_PEMBAKARAN_BOILER_PADA_LOAD_RATE_641.15_MW_DI_PLTU_PAITON_

UNIT_7

<1% -

http://repository.ung.ac.id/get/simlit_res/7/3/Pengembangan-Model-Pembelajaran-Berbasis-ICT-Terintegrasi-Pembelajaran-Karakter-di-Jurusan-Pendidikan-Guru-Sekolah-Dasar.pdf

<1% - http://www.digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-35397-2309100064_PAPER.pdf

1% -

<https://www.scribd.com/document/173777310/Analisis-Kandungan-Lignoselulosa-Dengan-Metode-Chesson>

<1% -

<http://docplayer.info/65546-Evaluasi-proses-pengolahan-limbah-kulit-udang-untuk-meningkatkan-mutu-kitosan-yang-dihasilkan.html>

<1% - <https://www.scribd.com/document/367265169/6-DAFTAR-GAMBAR>

<1% - <https://es.scribd.com/doc/214301699/11aaaa-pdddf>

<1% -

<https://vdocuments.site/documents/2559001-prosiding-seminar-nasional-hki-2006-2.html>

<1% - <https://hapli.wordpress.com/forum-ferro/besi-cor-nodular/>

<1% -

<https://www.scribd.com/document/261814380/Fotodegradasai-Zat-Warna-Remazol-Yellow-Fg-Dengan-Fotokatalis-Komposit-Tio2sio2>

<1% -

<http://docplayer.info/57949479-Redaksi-jl-sunter-permai-raja-sunter-podomoro-jakarta-utara-telp-website.html>

<1% - <https://revistas.upb.edu.co/index.php/investigacionesaplicadas/article/view/2189>

<1% - <http://www.freepatentsonline.com/8710213.html>

<1% - <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/am505681e>

<1% -

http://www.academia.edu/32880408/A_comparative_molecular_dynamics_study_of_crystalline_paracrystalline_and_amorphous_states_of_cellulose

<1% - <https://issuu.com/irjes/docs/i6515576/18>

<1% - <https://issuu.com/irjes/docs/i6515576>

<1% - <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-017-9989-7>

<1% - <https://www.scribd.com/document/374582625/A16awi>

<1% - <https://patents.google.com/patent/EP3083489A1/en>

<1% - <http://www.x-mol.com/university/faculty/17515>