

PEMANFAATAN LIMBAH DAUN NANAS (*ANANAS COSMOSUS*) SEBAGAI ADSORBEN LOGAM BERAT Cu

Novi Eka Mayangsari*, Mirna Apriani, dan Egata Dwi Veptiyan

Program Studi D4 Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

*e-mail: noviekam@ppns.ac.id

Abstract

Pineapple leaf waste (*Ananas cosmosus*) contains a constituent component in the form of cellulose and lignin. Cellulose, hemicellulose, and lignin bind to each other to form lignocellulose. The high cellulose content can be used as an adsorbent through the process of delignification or removal of lignin. This study aims to determine the characteristics and ability of pineapple leaf cellulose to remove heavy Cu metals. Applied pineapple leaves to be used are equalized to 60 mesh then delignified for 70 and 90 minutes by mixing pineapple powder using 9% NaOH with a ratio of 1:30 (w/v). Pineapple leaves are characterized by chesson, SEM, and XRD analysis. The results of Chesson analysis showed that pineapple leaf cellulose had a cellulose content of 25.33% and the delignification time of 70 minutes resulted in the highest cellulose content of 59.12%. The XRD diffractogram showed pineapple leaf cellulose including type I cellulose. The highest degree of crystallinity was obtained by pineapple leaf cellulose with a delignification time of 90 minutes which was equal to 65.98%. The adsorption process was observed with variations in contact time 30, 60, 90, and 120 minutes. The highest Cu metal adsorption was pineapple leaves with a delignification process of 70 minutes with a contact time of 90 minutes.

Keywords: Pineapple Leaves, Cellulose, Lignin, Adsorption, Cu Metal.

Abstrak

Limbah daun nanas (*Ananas cosmosus*) mengandung komponen penyusun berupa selulosa dan lignin. Selulosa, hemiselulosa, dan lignin saling berikatan membentuk lignoselulosa. Kandungan selulosa yang cukup tinggi dapat dimanfaatkan sebagai adsorben melalui proses delignifikasi atau penghilangan lignin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kemampuan selulosa daun nanas untuk meremoval logam berat Cu. Daun nanas yang akan digunakan disamakan ukurannya menjadi 60 mesh kemudian didelignifikasi selama 70 dan 90 menit dengan mencampur serbuk nanas menggunakan NaOH 9% dengan rasio 1:30 (w/v). Daun nanas dikarakterisasi dengan Analisis Chesson, SEM, dan XRD. Hasil Analisis Chesson menunjukkan selulosa daun nanas memiliki kandungan selulosa 25,33% dan waktu delignifikasi 70 menit menghasilkan kadar selulosa tertinggi yaitu sebesar 59,12%. Hasil difraktogram XRD menunjukkan selulosa daun nanas termasuk jenis selulosa tipe I. Derajat kristalinitas tertinggi diperoleh oleh selulosa daun nanas dengan waktu delignifikasi 90 menit yaitu sebesar 65,98%. Proses adsorpsi diamati dengan variasi waktu kontak 30, 60, 90, dan 120 menit. Adsorpsi logam Cu tertinggi yaitu daun nanas dengan proses delignifikasi 70 menit dengan waktu kontak selama 90 menit.

Kata kunci: Daun Nanas, Selulosa, Lignin, Adsorpsi, Logam Cu.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan industri di Indonesia saat ini meningkat dengan cukup pesat. Seiring dengan perkembangan industri diberbagai bidang menyebabkan semakin banyak pula limbah yang dihasilkan. Pembuangan limbah industri menyebabkan kerusakan lingkungan dan berbahaya bagi makhluk hidup. Jenis limbah yang sulit dikontrol dan mempunyai potensi bahaya yang besar adalah limbah anorganik. Limbah anorganik ini merupakan jenis limbah yang tidak dapat terurai dan kebanyakan mengandung senyawa yang bersifat racun, seperti logam berat (Said, 2010).

Logam berat merupakan logam dalam bentuk terlarut dan tersuspensi serta mempunyai densitas kurang dari 5 gram/cm³ (Effendi, 2000). Logam berat sebenarnya juga dibutuhkan oleh makhluk hidup untuk pertumbuhan dan perkembangan hidupnya. Akan tetapi jika jumlah yang masuk melebihi ambang batas ke dalam tubuh makhluk hidup dapat menimbulkan efek kesehatan bagi manusia, seperti menjadi penyebab alergi, mutagen, teratogen atau karsinogen, tergantung dari bagian tubuh mana yang terikat dengan logam berat. Jalur masuk logam berat bisa melalui pencernaan, pernafasan dan kulit (Said, 2010). Beberapa logam berat yang sangat berbahaya bagi lingkungan diantaranya tembaga (Cu), arsenik (As), kadmium (Cd), timbal (Pb), merkuri (Hg), nikel (Ni), kobalt (Co), dan seng (Zn). Salah satu contoh logam berat yang berbahaya dan beracun bagi manusia adalah tembaga (Cu). Dalam kondisi normal, logam Cu di perairan dalam bentuk senyawa ion, seperti CuCO_3^+ dan CuOH^+ . Pada umumnya jumlah logam Cu yang terlarut

dalam badan perairan sebesar 0,002 ppm sampai 0,005 ppm (Purnomo, 2009). Bila dalam badan perairan terjadi peningkatan konsentrasi logam Cu, maka akan berbahaya bagi biota-biota perairan. Selain itu, logam Cu apabila terakumulasi dalam tubuh akan mengganggu proses metabolisme sehingga menyebabkan racun dalam tubuh (Yulianto dkk, 2006).

Mengingat sifat logam Cu yang berbahaya pada dosis yang melebihi batas, maka diperlukan pengolahan yang tepat untuk mengurangi jumlah logam tersebut, seperti ultrafiltrasi, resin penukar ion, dan adsorpsi. Ultrafiltrasi merupakan varian dari filtrasi membran dimana tekanan hidrostastik memaksa cairan menembus membran semipermeabel. Padatan tersuspensi dan pelarut dengan berat molekul tinggi tertahan, sedangkan air dan pelarut dengan berat molekul rendah akan melewati membran (Wenten dkk, 2014).

Metode selanjutnya adalah Metode Resin Penukar Ion, dimana logam berat akan terserap oleh resin sesuai dengan tingkat selektifitasnya (Said, 2010). Metode Adsorpsi, yaitu proses pengumpulan suatu material pada permukaan adsorben solid. Dalam Metode Adsorpsi, pemilihan adsorben merupakan faktor yang paling utama. Adsorben yang digunakan diharapkan dapat mengurangi polutan logam berat, memiliki nilai ekonomi yang rendah, mudah didapatkan dan tidak membahayakan lingkungan (Perdanawati dan Dewi, 2010). Berdasarkan ketiga proses pengolahan limbah yang mengandung logam berat Cu, adsorpsi merupakan metode yang efektif dan efisien. Adsorpsi dilakukan dengan preparasi yang mudah dan pembiayaan yang relatif murah

dibandingkan dua metode yang lain. Selain itu, bahan yang digunakan juga ramah lingkungan karena menggunakan adsorben dari limbah daun nanas yang selama ini kurang dimanfaatkan dengan maksimal. Daun nanas (*Ananas cosmosus*) digunakan sebagai adsorben karena memiliki kandungan serat yang tinggi. Menurut Hidayat dan Santoso (2008), disebutkan bahwa kandungan selulosa pada serat daun nanas sebesar 62-79%. Kandungan selulosa dalam serat daun nanas diharapkan dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorb logam berat. Pada penelitian ini, adsorpsi logam berat menggunakan serat daun nanas yang didelignifikasi dengan NaOH 9%.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan Alat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Limbah, Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Bahan baku adsorben yang digunakan adalah limbah daun nanas yang diperoleh dari perkebunan Dusun Sesek, Kecamatan Ponggok, Kabupaten Blitar, Jawa Timur. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini diantaranya natrium hidroksida (Merck) sebagai pelarut untuk delignifikasi, amoniak (SAP) dan natrium dietilditiokarbamat (Merck) sebagai reagen analisis, dan tembaga sulfat (Merck) sebagai limbah artifisial. Sedangkan peralatan yang digunakan labu alas bulat, kondensor, termometer, *hot plate magnetic stirrer* (JISICO J-HSD180), *beaker glass*, corong pemisah, oven (JISICO J-300M) dan spektrofotometer UV-VIS (*Agilent Cary 60 Spectrophotometer*).

2.2 Prosedur Kerja

Daun nanas dibersihkan dengan air mengalir sampai bersih dan dikeringkan di bawah sinar matahari, kemudian dihaluskan secara mekanik dengan *blender* hingga berbentuk serbuk. Serbuk daun nanas diaktivasi dengan NaOH 9% (w/v) secara konvensional. Perbandingan serbuk daun nanas dan larutan NaOH sebesar 1:30 (w/v). Langkah awal dalam proses delignifikasi dilakukan dengan merendam serbuk daun nanas pada larutan NaOH selama berbagai waktu (70 dan 90 menit). Setelah proses delignifikasi selesai, padatan dan cair dipisahkan dengan kertas saring kemudian dicuci hingga pH netral (pH 7). Setelah itu dikeringkan di dalam oven pada suhu 80°C selama 24 jam.

Setelah proses delignifikasi selesai, dilakukan proses pengayakan serbuk daun nanas dengan ukuran 60 mesh (250 µm). Limbah yang digunakan pada proses adsorpsi merupakan limbah artifisial yang mengandung logam Cu 25 ppm sebanyak 50 ml pada berbagai macam variabel. Proses adsorpsi dilakukan dengan massa adsorben sebesar 2 gram dan kecepatan pengadukan sebesar 90 rpm selama berbagai waktu (30, 60, 90 dan 120 menit). Setelah itu antara padatan dan cairan dipisahkan dengan kertas saring dan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer UV-VIS dengan panjang gelombang 450 nm.

2.3 Karakterisasi

2.3.1 Metode Chesson

Kadar selulosa dan lignin pada serbuk daun nanas sebelum dan sesudah proses delignifikasi dapat diketahui dengan menggunakan Metode Chesson (Mahyati et.al, 2013). Sampel yang telah

kering ditimbang sebanyak 1 gram (a) ditambahkan dengan aquades sebanyak 150 ml dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam. Setelah proses pemanasan selesai, sampel disaring dan dicuci dengan aquades panas. Padatan yang telah terpisah dikeringkan dalam oven hingga beratnya konstan (b). Padatan yang telah kering dari proses sebelumnya kemudian ditambahkan dengan 150 ml larutan H₂SO₄ 1 N dan dipanaskan pada suhu 100°C selama 1 jam. Padatan disaring dan dicuci kembali dengan aquades. Setelah itu padatan dikeringkan (c). Padatan kering kemudian direndam dalam 10 ml larutan H₂SO₄ 72% selama 4 jam. Setelah itu ditambah 150 ml larutan H₂SO₄ 1 N dan direfluks selama 1 jam. Kemudian dicuci menggunakan aquades 400 ml (hingga pH netral) dan dipanaskan pada oven dengan suhu 105°C hingga beratnya konstan (d). Setelah itu padatan dibakar dengan menggunakan *furnace* suhu 500°C hingga menjadi abu dan ditimbang beratnya (e). Kadar selulosa dan lignin dapat dihitung dengan Persamaan (1) dan (2).

$$\% \text{ selulosa} = \frac{(c-d)}{a} \times 100\% \quad (1)$$

$$\% \text{ lignin} = \frac{(d-e)}{a} \times 100\% \quad (2)$$

2.3.2 Analisis X-Ray Diffraction (XRD)

Pengujian XRD dilakukan dengan menggunakan *PANalytical PW 3373/00 X'Pert X-Ray Diffractometer* (Belanda). Radiasi Cu K pada bilangan gelombang 1,54 Å dengan voltase 40 kV and 30 mA. Intensitas relatif direkam pada 2 dari 5° hingga 50°. Perhitungan derajat kristalinitas dilakukan menggunakan Persamaan (3) (Trisanti dkk, 2015).

$$CrI = \frac{(I_{002} - I_{AM})}{I_{002}} \quad (3)$$

dimana:

CrI = Derajat kristalinitas

I₀₀₂ = Intensitas dari bagian kristalin (pada 2 = 22° hingga 23°)

I_{AM} = Intensitas dari bagian amorf (pada 2 = 18° hingga 19°)

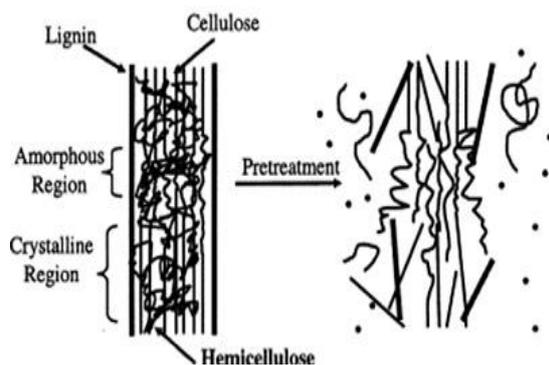
2.3.3 Analisis Scanning Electron Microscope (SEM)

Morfologi dari material untuk setiap proses diamati dengan menggunakan *Scanning Electron Microscopy* (EVOMA10, CarlZeiss, Jerman). Sampel dilapisi dengan emas menggunakan *sputter coater* (Emitech, Dubai).

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Karakterisasi Selulosa Daun Nanas Sebelum dan Setelah Proses Delignifikasi

Pada penelitian ini, delignifikasi serat daun nanas dilakukan dengan merendam serat daun nanas menggunakan larutan NaOH 9% dalam waktu 70 dan 90 menit.



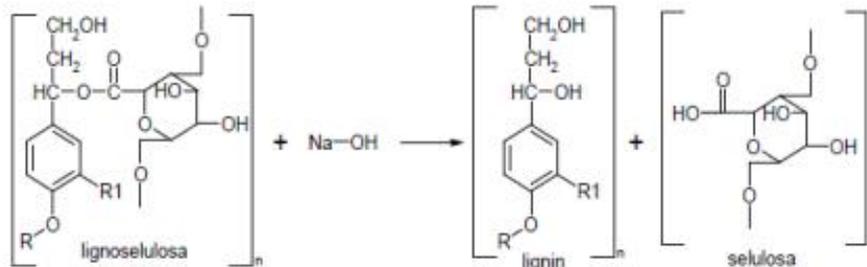
Gambar 1. Skema Proses Pemecahan Struktur Lignin (Kumar et.al, 2009)

Penggunaan larutan NaOH dapat merusak struktur lignin yang kristalin dan *amorf* serta memisahkan struktur hemiselulosa yang *amorf*. Skema proses perusakan struktur lignin dan

hemiselulosa dapat dilihat pada Gambar 1.

Ion OH^- dari NaOH akan memutuskan ikatan-ikatan dari struktur dasar lignin, sedangkan ion Na^+ akan

berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat. Natrium fenolat ini memiliki sifat mudah larut sehingga akan terlihat warna hitam pada larutan yang disebut dengan lindi hitam (*black liquor*).



Gambar 2. Mekanisme Pemutusan Ikatan antara Lignin dan Selulosa Menggunakan NaOH (Zhang et.al, 2016)

Proses delignifikasi dapat dibuktikan dengan melihat penurunan kadar lignin pada serat daun nanas melalui Analisis Chesson Datta. Hasil analisis menggunakan metode ini diperoleh kadar

lignin, hemiselulosa, dan selulosa sebelum dan sesudah proses delignifikasi. Hasil Analisis Chesson Datta dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Chesson Datta untuk Kadar Selulosa, Hemiselulosa dan Lignin

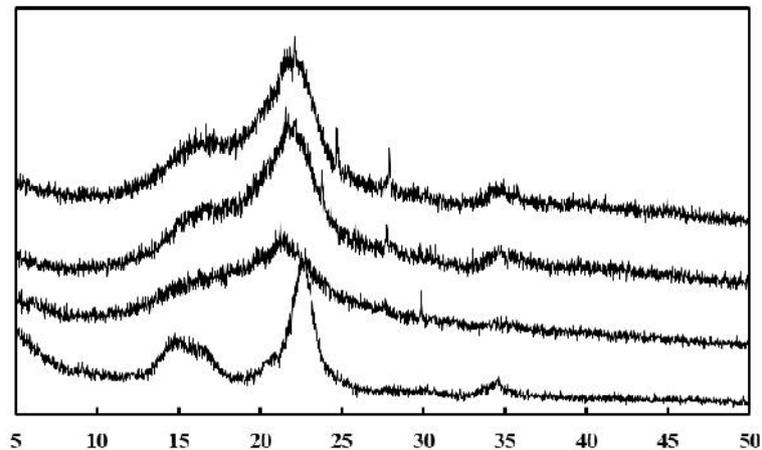
Komponen	Serat Nanas	Serat Nanas Setelah	
	Sebelum Proses Delignifikasi (%)	Delignifikasi (%)	
		70 menit	90 menit
Selulosa	25,33	59,12	55,10
Hemiselulosa	0,08	18,79	25,06
Lignin	12,81	10,78	8,74

Tabel 1 menunjukkan kadar selulosa sebelum proses delignifikasi yakni sebesar 25,33%. Setelah dilakukan proses delignifikasi, kadar selulosa meningkat hingga mencapai 59,12% (delignifikasi 70 menit) dan 55,10% (delignifikasi 90 menit).

Peningkatan kadar selulosa diiringi dengan penurunan kadar lignin karena dipengaruhi oleh penggunaan NaOH . Sedangkan dengan semakin lamanya waktu proses delignifikasi, kadar selulosa mengalami penurunan. Penurunan kadar selulosa dikarenakan senyawa-senyawa

dalam serat daun nanas yang larut dalam NaOH semakin banyak (Handayani, 2010).

Karakterisasi selulosa dari serat daun nanas dilakukan dengan Analisis XRD. Analisis XRD bertujuan untuk mengidentifikasi keberadaan selulosa dan mengetahui derajat kristalinitas dari selulosa sebelum dan sesudah proses delignifikasi. Hasil Analisis XRD selulosa dari serat daun nanas juga dibandingkan dengan selulosa murni. Difaktogram hasil Analisis Uji XRD dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Difaktogram Hasil Analisa XRD (a) Selulosa Murni, (b) Daun Nanas Sebelum Delignifikasi, (c) Daun Nanas dengan Delignifikasi 70 menit, dan (d) Daun Nanas dengan Delignifikasi 90 menit

Berdasarkan hasil Difaktogram XRD, seluruh difaktogram daun nanas sebelum dan setelah proses delignifikasi memiliki puncak pada sudut 2θ sekitar 22° dan 16° , dimana pada sudut puncak tersebut menunjukkan bahwa terdapat peak selulosa. Hal ini juga dibuktikan dengan hasil Difaktogram XRD pada selulosa

murni. *Peak* pada hasil difaktogram tersebut tidak mengalami perubahan tetapi hanya mengalami perubahan intensitas saja. Dari hasil Analisis XRD juga dapat dihitung nilai derajat kristalinitasnya dengan menggunakan Persamaan 3. Hasil perhitungan derajat kristalinitas dapat dilihat pada Tabel 2.

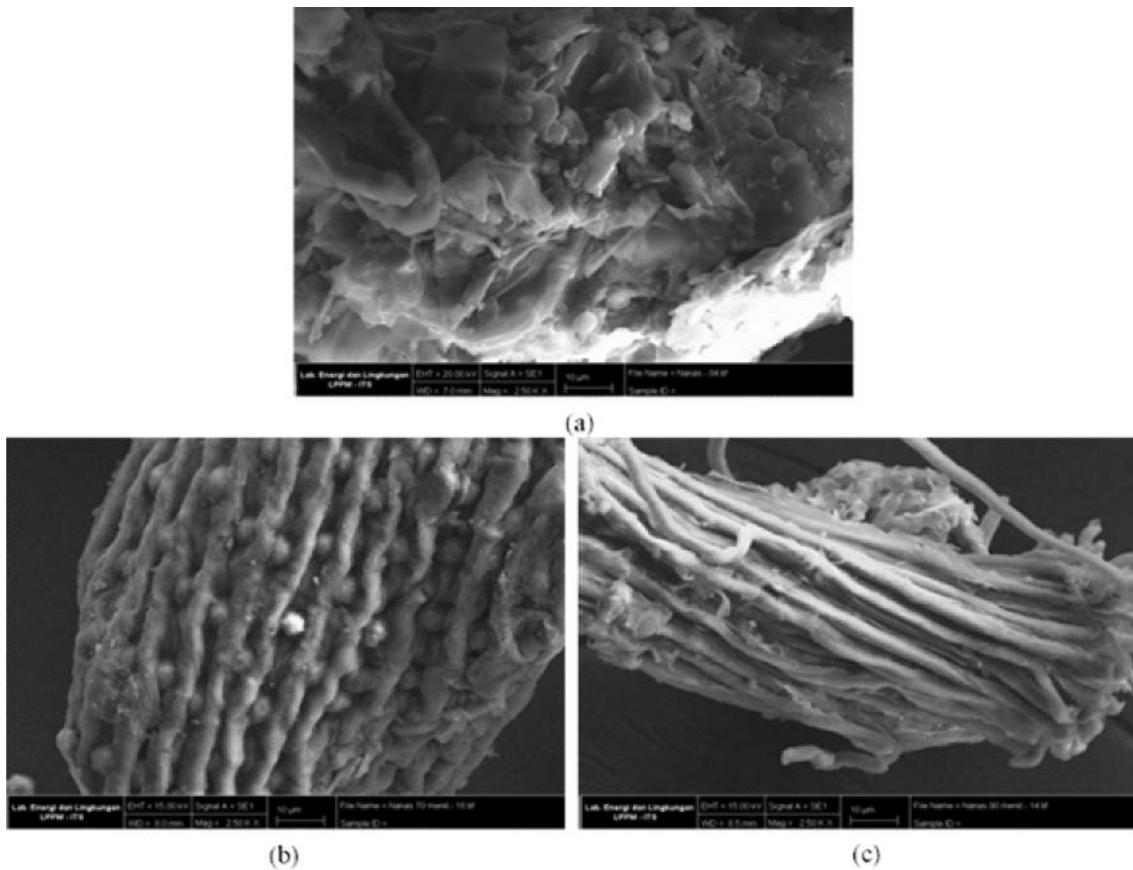
Tabel 2. Hasil Perhitungan Derajat Kristalinitas Daun Nanas Sebelum dan Sesudah Delignifikasi

Sampel	Derajat Kristalinitas (%)
Daun nanas sebelum delignifikasi	51,33
Daun nanas setelah delignifikasi 70 menit	53,58
Daun nanas setelah delignifikasi 90 menit	65,98

Hasil perhitungan derajat kristalinitas menunjukkan daun nanas sebelum delignifikasi sebesar 51,33%. Setelah proses delignifikasi dengan semakin lama waktu proses delignifikasi, derajat kristalinitas dari daun nanas mengalami kenaikan. Kenaikan derajat kristalinitas ini dikarenakan lignin yang memiliki struktur *amorf* nanas telah rusak saat berikatan dengan NaOH, sehingga hanya

tersisa selulosa yang memiliki struktur kristalin. Selain Analisis Chesson dan XRD, juga dilakukan Analisis SEM. Analisis SEM bertujuan untuk mengetahui perubahan morfologi dari permukaan daun nanas sebelum dan setelah proses delignifikasi. Daun nanas memiliki sifat non konduktif sehingga akan mudah terbakar ketika terkena energi sangat tinggi, sehingga diperlukan

pelapisan logam. Pelapisan logam menggunakan emas dengan lapisan yang sangat tipis. Hasil Analisis SEM dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Analisa SEM Perbesaran 2500x (a) Daun Nanas Sebelum Delignifikasi, (b) Daun Nanas dengan Delignifikasi 70 menit, dan (c) Daun Nanas dengan Delignifikasi 90 menit

Gambar 4 menunjukkan hasil Analisis SEM, terlihat bahwa permukaan daun nanas sebelum proses delignifikasi (Gambar 4 a) terlihat rapat, halus, serta tidak berongga. Permukaan daun nanas yang seperti ini mengindikasikan sebagai lignin yang memiliki fungsi sebagai pengisi dinding sel tanaman yang berikatan kuat dengan senyawa lignoselulosa sehingga menyebabkan dinding sel tanaman menjadi keras dan kaku (Rimbani, 2013). Setelah mengalami proses delignifikasi dengan semakin lama waktu, terlihat permukaan daun nanas menjadi terkoyak dan hancur, yang

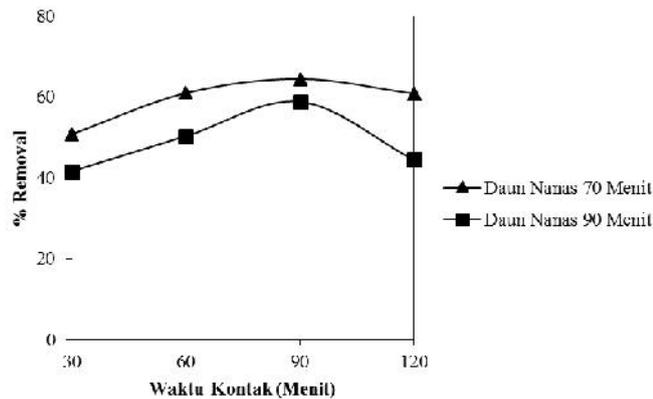
menyebabkan permukaan daun nanas lebih kasar, bersekat, serta terlihat berongga.

Hal ini menunjukkan semakin lama waktu delignifikasi menyebabkan semakin banyak ikatan antara lignin dan selulosa yang rusak, serta menunjukkan bahwa NaOH berfungsi sebagai delignifikator dengan cara mendegradasi dan merusak struktur lignin, bagian kristalin, dan *amorf*, memisahkan sebagian lignin, dan hemiselulosa serta dapat menyebabkan pengembangan struktur dari selulosa (Gunam, 2010).

3.2 Pengaruh Waktu Kontak terhadap Adsorpsi Logam Cu

Proses adsorpsi dilakukan dengan variasi waktu kontak, yang bertujuan untuk melihat pengaruh waktu kontak

terhadap kenaikan persen *removal* logam Cu. Waktu kontak merupakan waktu yang dibutuhkan adsorben selulosa daun nanas untuk mengadsorb logam Cu.



Gambar 5. Pengaruh Waktu Kontak terhadap *Removal* Logam Cu

Gambar 5 menunjukkan bahwa persen *removal* logam Cu cenderung naik pada saat waktu kontak 30 menit hingga 90 menit. Semakin lama waktu kontak, maka akan semakin tinggi persen *removal* logamnya. Hal ini dikarenakan interaksi antara gugus hidroksil (-OH) dengan logam semakin banyak (Safrianti dkk, 2012). Menurut penelitian oleh Zian dkk (2016) dengan bertambahnya waktu kontak, maka jumlah adsorbat yang terserap pada permukaan adsorben akan semakin meningkat hingga tercapai titik jenuh. Sisi aktif dari selulosa masih cukup banyak sehingga frekuensi terjadinya ikatan dengan molekul adsorbat cukup tinggi. Pada waktu kontak 90 menit, gugus aktif selulosa yang berikatan dengan adsorbat dalam kondisi optimum, sehingga dapat meremoval logam Cu dengan maksimal (Handayani, 2010). Pada waktu kontak 90 menit ke 120 menit, persen *removal* logam Cu mengalami penurunan, hal ini

dikarenakan ion logam Cu yang sehingga menyebabkan proses adsorpsi menjadi berkurang (Purnama dkk, 2016). Mencapai kondisi maksimum (Safrianti dkk, 2012) dimana permukaan adsorben menjadi teradsorpsi oleh gugus aktif (-OH) telah jenuh yang mengakibatkan terjadinya proses desorpsi atau pelepasan adsorbat kembali, sehingga menyebabkan proses adsorpsi menjadi berkurang (Purnama dkk, 2016).

4. KESIMPULAN

Proses delignifikasi selulosa dari daun nanas dapat dilakukan dengan larutan alkali NaOH 9%. Kandungan selulosa mengalami kenaikan setelah proses delignifikasi sebesar 59,12% pada waktu delignifikasi 70 menit dan 55,10% setelah waktu delignifikasi 90 menit. Serta nilai derajat kristalinitas mengalami kenaikan hingga 65,98%. Sedangkan dari hasil Analisis SEM menunjukkan terjadi perubahan morfologi menjadi lebih kasar

daun berongga setelah proses delignifikasi dengan semakin lama waktu. Sedangkan untuk proses adsorpsi, kondisi optimum untuk persen *removal* dicapai saat menggunakan adsorben selulosa daun nanas dengan proses delignifikasi selama 70 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- Effendi, H. 2000. Telaahan Kualitas Air. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Handayani dan Aries Wiwit. 2010. Penggunaan Selulosa Daun Nanas Sebagai Adsorben Logam Berat Cd (II). Skripsi, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta.
- Hidayat, P. dan Santoso, E. 2008. Teknologi Pemanfaatan Serat Daun Nanas sebagai Alternatif Bahan Baku Tekstil, Teknoin, Vol 13, 31-35.
- Kumar, P., Barret, D. M., Delwiche, M. J., dan Stroeve, P. 2009. Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 48. pp. 3713-3729.
- Mahyati, A.R., Patong, M.N., Djide, dan P. Taba. 2013. Biodegradation of Lignin from Corn Cob by Using a Mixture of *Phanerochaete Chrysosporium*, *Lentinus Edodes*, and *Pleurotus Ostreatus*. *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol.2, Issue11, pp.79-82.
- Perdanawati U. dan Dewi K. 2010. Pemakaian Reaktor Adsorpsi Menggunakan Adsorben Limbah Las Karbid untuk Mengolah CO₂. *Jurnal Teknik Lingkungan*, Vol. 6 (2), Hal. 210-221.
- Purnama, Ningsih, Ningsih, D.A., dan Said, I. 2016. Adsorpsi Logam Timbal (Pb) dari Larutannya Dengan Menggunakan Adsorben dari Tongkol Jagung. *J. Akad. Kim.* 5. Palu.
- Rimbani, Majid. 2013. Optimasi Bio-Pretreatment Jerami Padi Secara Fermentasi Fase Padat oleh Isolat *Actinomyces AcP-1* dan *AcP-7*. Skripsi. Universitas Lampung.
- Safrianti, Iin, Wahyuni, N., dan Anita, T. 2017. Adsorpsi Timbal (II) oleh Selulosa Limbah Jerami Padi Teraktivasi Asam Nitrat: Pengaruh pH dan Waktu Kontak. *JKK Vol 1(1)* Halaman 1-7.
- Said, Nusa Idaman. 2010. Metoda Penghilangan Logam Merkuri di Dalam Air Limbah Industri. Pusat Teknologi Lingkungan. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Jakarta Pusat.
- Trisanti, Novarita, P., Setiawan, S., Elysa, N., dan Sumarno. 2015. Ekstraksi Selulosa dari Serbuk Gergaji Kayu Sengon Melalui Proses Delignifikasi Alkali Ultrasonik. *Jurnal Sains Materi Indonesia*. Vol 19 No. 3.
- Wenten, I. G., P.T.P Aryanti., dan Khoiruddin 2014. Teknologi Membran dalam Pengolahan Limbah. *Diktat Teknik Kimia*. Institut Teknologi Bandung.
- Yulianto, Bambang, Ario, R., dan Triono, A. 2006. Daya Serap Rumput Laut (*Gracilaria* sp) Terhadap Logam Berat Tembaga (Cu) sebagai Biofilter. *Jurnal Ilmu Kelautan*, Vol 11 (2): 71:78. Universitas Diponegoro Semarang.
- Zhang, M.F., Qin, Y.H., Ma, J.Y., Yang, L., Wu, Z. K., Wang, T. L., Wang, W. G., dan Wang, C. W. 2016. Depolymerization of Microcrystalline Cellulose by the Combination of

Ultrasound and Fenton Reagent.
Ultrasonics Sonochemistry, vol. 31,
pp.404-408.
Zian, Ita Ulfin, dan Harmani. 2016.
Pengaruh Waktu Kontak pada

Adsorpsi Remazol Violet 5R
Menggunakan Adsorben Nata de
Coco. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. Vol
5.