

BAB VI. MODIFIKASI SELULOSA KULIT DURIAN MENGUNAKAN GLUTARALDEHID SEBAGAI KOAGULAN UNTUK PEMULIHAN LIMBAH CAIR TEPUNG PATI AREN

Sigit Priatmoko*, Alfian Nur Rohman

Jurusan Kimia, FMIPA Universitas Negeri Semarang

sigitwarsono65@unnes.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.15294/ka.v1i2.141>

ABSTRAK

Selulosa kulit durian dapat dimodifikasi menjadi koagulan dengan melakukan beberapa proses modifikasi kimia. Salah satu metode modifikasi yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan glutaraldehid. Proses ini akan menghasilkan selulosa terkoneksi gugus glutaraldehid yang memiliki kemampuan sebagai koagulan. Industri tepung pati aren di Kabupaten Klaten, Jawa Tengah merupakan industri yang menghasilkan limbah cair dan limbah padat yang selain mengganggu estetika, juga mengganggu kualitas air di lingkungan sekitarnya. Pada bagian lain limbah kulit durian merupakan sumber selulosa yang dapat digunakan sebagai precursor koagulan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektifitas koagulan dari preparasi selulosa kulit durian (SKD) dan glutaraldehida dalam proses pemulihan limbah cair tepung pati aren sebelum dialirkan ke sungai. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk mencari solusi penanganan limbah cair tepung pati aren maupun limbah kulit durian. Hasil penelitian menunjukkan kandungan BOD₅ dan COD pada limbah cair masing-masing mencapai 570,4 dan 1840 mg/L, selanjutnya proses koagulasi dan flokulasi dengan metode *jar test* didapatkan hasil penurunan kandungan BOD₅ dengan koagulan SKD 339.97 mg/L (dosis 2500 mg/L) sedangkan menggunakan koagulan SKD-glutaraldehida menghasilkan 346,16 mg/L (dosis 2500 mg/L).

Dalam penurunan kandungan COD dengan koagulan SKD diperoleh 1096,67 mg/L (dosis 2500 mg/L) sedangkan menggunakan koagulan SKD-glutaraldehyda diperoleh 1116,67 mg/L (dosis 2500 mg/L).

Kata Kunci: Koagulan, Selulosa, Kulit Durian, Glutaraldehyda

PENDAHULUAN

Proses pengolahan air yang memadai merupakan salah satu kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan. Dengan jumlah penduduk yang semakin besar, limbah cair yang dibuang ke lingkungan perairan juga semakin meningkat. Polutan utama pada air umumnya diakibatkan oleh pembuangan limbah rumah tangga, limbah industri, dan limbah pertanian. Polutan tersebut dapat mencemari lingkungan dalam bentuk larutan, koloid, maupun bentuk partikel lainnya. Mengingat besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka dibutuhkan metode yang tepat untuk mengolah air.

Pengolahan air dapat dilakukan dengan berbagai metode baik yang bersifat fisik, kimiawi maupun biologis. Pengolahan air secara fisis adalah pengolahan air di mana cara utama dilakukan adalah dengan menggunakan teknik filtrasi dan sedimentasi. Filtrasi adalah suatu langkah pemurnian untuk memisahkan padatan dari cairannya dengan menggunakan suatu media filter. Sedimentasi adalah langkah pemurnian untuk memisahkan padatan dari cairannya dengan menggunakan gaya gravitasi. Pengolahan air dengan metode kimiawi biasanya diartikan sebagai suatu proses pengolahan air untuk menghilangkan kontaminan-kontaminan yang terkandung dalam air, dengan cara penambahan bahan-bahan kimia atau dengan melakukan proses kimiawi. Termasuk cara kimiawi antara lain presipitasi, adsorpsi, dan koagulasi. Pengolahan air secara biologis dilakukan dengan tujuan untuk menghilangkan organisme-organisme yang berbahaya yang terdapat dalam air. Secara umum pengolahan air secara biologi dibagi menjadi 2 kategori yaitu: pengolahan secara aerob dan pengolahan anaerob.

Di antara metode-metode kimiawi yang ada, metode koagulasi merupakan salah satu metode yang cukup banyak diaplikasikan pada pengolahan air. Pada metode ini biasanya digunakan suatu koagulan polimer anorganik yakni garam-garam aluminium seperti aluminium sulfat dan PAC (*poly aluminum chloride*). Penggunaan garam-garam aluminium ini sangat berbahaya juga. Beberapa studi melaporkan bahwa aluminium, senyawa alum, dapat memicu penyakit Alzheimer (Campbell, 2002). Metode pengolahan air yang digunakan pada umumnya adalah pengolahan secara fisika-kimia, yakni koagulasi-flokulasi yang kemudian diikuti dengan sedimentasi. Koagulasi merupakan proses kimia, yang salah satunya digunakan dalam proses pengolahan air permukaan. Dalam metode ini bahan kimia (koagulan) dicampur dengan air baku sehingga membentuk campuran yang homogen. Tujuan utama koagulasi adalah pencampuran koagulan secara lebih merata atau homogen sehingga terbentuk flok. Flok adalah gumpalan lumpur yang dihasilkan dalam proses koagulasi-flokulasi. Sedangkan flokulasi adalah proses penyisihan kekeruhan air dengan cara penggumpalan partikel kecil menjadi partikel yang lebih besar. Pada proses flokulasi terjadi penggumpalan mikroflok menjadi makroflok yang sudah terbentuk pada proses koagulasi (Yuliastri, 2010). Dilaporkan juga bahwa monomer beberapa polimer organik sintetik seperti PAC dan Alum memiliki sifat neurotoksisitas. Alternatif lain dari penggunaan koagulan sintetik yaitu pemanfaatan biokoagulan yang berasal dari bahan-bahan yang tersedia di alam (Hendrawati *et al.*, 2013). Penggunaan koagulan bahan alam (biokoagulan) dilakukan sebisa mungkin untuk mengurangi penggunaan bahan sintetik yang menghasilkan efek samping dalam penggunaannya. Penggunaan koagulan bahan alam ini akan lebih murah dibandingkan dengan penggunaan koagulan sintetik yang biasa digunakan untuk pemurnian air (Idris *et al.*, 2012).

Telah dilakukan beberapa penelitian terhadap bahan alam yang memiliki potensi sebagai biokoagulan diantaranya biji kelor (*Moringa olifera*) (Yuliastri, 2010) yang menurunkan turbiditas

limbah cair sebesar 98,6%, konduktifitas sebesar 10,8%, BOD sebesar 11,7%, dan menghilangkan kadar logam (Cd, Cr dan Mn). Biji nirmali (*Strychnos potatorum*) (Babu dan Chaudhuri, 2005) dalam tes laboratorium, penyaringan langsung air permukaan keruh dengan kekeruhan 15-25 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*), bakteri heterotrofik 280-500 CFU (*Colony Forming Unit*) mL⁻¹, dan coliform tinja 280-500 MPN (*Most Probably Number*) 100 mL⁻¹, dengan biji *S. potatorum* atau *M. oleifera* sebagai koagulan, menghasilkan substansial peningkatan kualitas estetika dan mikrobiologisnya dengan kekeruhan 0,3-1,5 NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*), bakteri heterotrofik 5-20 CFU (*Colony Forming Unit*) mL⁻¹, dan coliform fecal 5-10 MPN 100 mL⁻¹. Biji asam jawa (*Tamarindus indica L*) (Enrico, 2008) mampu menyisihkan turbiditas sebesar 87,88%, TSS (total suspended solid) sebesar 98,78% dan COD sebesar 22,40%. Tepung Jagung (Prihatinningtyas dan Effendi, 2013) hasil percobaan menunjukkan bahwa ekstrak jagung dan jagung ionik bersifat polielektrolit dan mengandung gugus karboksil, hidroksil dan amida yang berperan sebagai komponen aktif koagulasi. Jagung ionik memberikan efisiensi koagulasi yang lebih baik dibandingkan dengan ekstrak jagung. Tanaman lain yang diduga memiliki potensi sebagai koagulan yaitu durian.

KULIT BUAH DURIAN

Buah durian merupakan salah satu jenis buah yang banyak dikonsumsi oleh sebagian orang. Buah ini terdiri dari tiga komponen, yaitu buah, biji dan kulit, limbah paling besar yang dihasilkan dari buah ini yaitu bagian kulitnya. Kulit durian merupakan salah satu limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pakan alternatif, namun hingga saat ini masih terbatas sekali informasi mengenai pemanfaatannya sebagai pakan alternatif bagi ruminansia. Berdasarkan kebiasaan masyarakat di beberapa daerah, kulit durian biasanya dijadikan bahan bakar pengganti kayu bakar atau dikembalikan ke tanah sebagai kompos. Penggunaan kulit durian sebagai bahan koagulan masih sangat terbatas, padahal potensi kimia yang dimiliki sangat besar. Kulit

durian memiliki kandungan selulosa mencapai 60,45%, sedangkan kandungan lainnya berupa ekstraktif 11,09 %, hemiselulosa 13,01%, dan lignin 15,45%. Setiap butir durian dihasilkan lebih banyak kulit daripada buah dan biji, dengan kata lain limbah yang dihasilkan dari durian berupa kulit ini cukup tinggi. Bagian durian yang dapat dimakan atau buahnya adalah 22%, dan bagian bijinya adalah 8,84%, bahan kering rata-rata sampel durian adalah 15,93%. Dari data-data tersebut, maka potensi ketersediaan kulit durian dapat dihitung sebagai berikut: $1.130.000 \text{ ton/tahun (BPS, 2020)} \times 69,16\% \times 15,93\% = 124.494,22 \text{ ton/tahun}$. Jumlah tersebut menunjukkan betapa besarnya potensi kulit durian yang tersedia selama satu tahun dalam bahan kering. Dengan kandungan selulosa yang tinggi pada kulit durian sehingga kulit durian bisa dimanfaatkan sebagai biopolimer dalam bahan tambahan yang diformulasikan ke dalam koagulan (Tan *et al.*, 2017).

Di Indonesia, produksi tepung aren terdapat di beberapa daerah seperti Jawa Tengah (Banyumas, Klaten dan Magelang), Jawa Timur (Kediri), Bali (Gianyar), dan Lombok. Industri tepung aren di Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten merupakan sentra industri produksi tepung aren di wilayah Jawa Tengah. Dalam proses pengolahan aren tersebut banyak terdapat kendala, salah satunya yaitu pencemaran lingkungan akibat dari limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair berasal dari proses penyaringan dan pengendapan tepung aren. Nurcahyo *et.al* (2015) melaporkan bahwa limbah cair yang dihasilkan oleh pabrik tepung aren di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Klaten Jawa Tengah mengandung BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemycal Oxygen Demand*) yang cukup tinggi yaitu masing-masing 2222 mg/L dan 5722 mg/L dan menjadi pencemar bagi lingkungan sekitarnya. Kebanyakan dari industri tepung aren di daerah tersebut mengalirkan limbah cair aren langsung ke lingkungan tanpa diolah terlebih dahulu sehingga menyebabkan pencemaran air dan tanah yang ada di sekitar industri tepung aren, selain itu juga akan berdampak pada tanaman, hewan dan manusia yang ada disekitarnya.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya bahwa buah durian yang selama ini hanya dimanfaatkan buahnya, kulit dan bijinya dibuang begitu saja. Untuk mengurangi menumpuknya limbah kulit durian sekaligus untuk mengatasi limbah cair pati aren, maka potensi kulit durian sebagai koagulan alami perlu dipelajari. Penggunaan koagulan alami dari kulit durian juga dapat menekan penggunaan koagulan sintetik, sehingga potensi ekonomi dari pemanfaatan limbah durian menjadi optimal. Tanaman yang diduga memiliki potensi sebagai koagulan yaitu durian, buah durian terdiri dari tiga komponen, yaitu 20%-25% buah, 15%-20% biji dan 60%-75% kulit, limbah paling besar yang dihasilkan dari buah ini yaitu bagian kulitnya, dimana komposisi kimia di dalam kulit durian berupa ekstraktif 11,09 %, hemiselulosa 13,01%, selulosa 60,45% dan lignin 15,45%, dengan kandungan selulosa yang tinggi pada kulit durian sehingga kulit durian bisa dimanfaatkan sebagai biopolimer dalam bahan tambahan yang diformulasikan ke dalam koagulan (Tan *et al.*, 2017).

PROSEDUR PEMBUATAN KOAGULAN

Untuk membuat koagulan dari limbah kulit durian, diperlukan alat-alat antara lain: pisau, blender, ayakan 50 mesh, magnetic stirrer (Vision), termometer, peralatan gelas, buret 50 ml (pyrex), statif, klem, FTIR (Perkin Elmer), neraca analitik (Ohaus), kain saring, oven, pH meter universal, cawan petri, labu Kjeldahl, kertas saring, *Particle Size Analysis* (HORIBA), *Scanning Electron Microscope* (JEOL JSM-6510LA), alat destilasi, alat sokhletasi, alat refluks, furnace, cawan porselen, batu didih, *jar test* (Velp jlt 4), stopwatch, dirigen 5 liter (4 buah), dan botol 1 liter (15 buah). Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: limbah kulit durian, Limbah cair tepung pati aren, *Poly Aluminum Chloride* (PAC), Aquades, Aseton, Glutaraldehida (kadar = 6%), H_2SO_4 pekat (kadar = 95,0 - 97,0%), NaOH (kadar = 99,0 %), H_2O_2 10%, NaCl (kadar = 99,5%), Alkohol 95%, $CuSO_4$ (kadar=99,0-100,5%), Na_2SO_4 (kadar = 99%), HCl, Indikator mensel, dan *n*-Heksana.

Komponen aktif dari tepung kulit durian (TKD) yang berperan dalam proses koagulasi dapat diperoleh dengan cara

isolasi selulosa. Proses isolasi selulosa dilakukan dengan metode pemisahan zat pati, delignifikasi dan *bleaching*. Tepung kulit durian dipisahkan dari pati dengan cara merendam dalam air panas ($\pm 80-100^{\circ}\text{C}$) selama 15 menit (Hidayat, 2015). Delignifikasi dilakukan dengan merendam tepung kulit durian menggunakan larutan natrium hidroksida 10% (b/v) selama 24 jam dan dilanjutkan *bleaching* menggunakan larutan hidrogen peroksida 10% (v/v) selama 24 jam, kemudian di saring dan dicuci hingga bersih dan dikeringkan di dalam oven dengan suhu 60°C hingga berat konstan (Nur'ain *et al.*, 2017). Hasil isolasi selulosa tepung kulit durian dinamakan koagulan selulosa kulit durian (SKD).

Koagulan selulosa kulit durian (SKD) ditimbang 10 gr dicampurkan dengan 600 mL NaOH 0,07 N selama 30 menit. Kemudian ditambahkan 18 mL glutaraldehida dan 5 gr NaCl. Campuran diaduk selama 5 jam. Kemudian campuran dicuci dengan akuades hingga pH filtrat sama dengan pH aquades. Campuran dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C selama 30 menit. Hasil preparasi dinamakan SKD-glutaraldehida (Abdillah *et al.*, 2015). koagulan dari TKD, SKD dan SKD-Glutaraldehida dilakukan uji karakteristik FTIR dan zeta potensial.

Percobaan dilakukan dengan alat *jar test* sebanyak 1000 mL air limbah yang sudah diukur BOD_5 dan COD awal ditambahkan koagulan sintetik PAC dengan dosis 2000, 2500, 3000 dan 3500 mg/L, kemudian diputar pada kecepatan 300 rpm selama 2 menit dilanjutkan dengan 60 rpm selama 20 menit (Yusoff *et al.*, 2018). Pengambilan sampel dilakukan setelah pengendapan selama 30 menit kemudian diukur BOD_5 dengan standar SNI 6989.72:2009 dan COD dengan standar SNI 6989.2:2019, dari hasil tersebut kemudian ditentukan dosis PAC yang paling optimum. Mengulangi uji *jar test* terhadap limbah cair tepung pati aren dengan mengganti koagulan sintetik PAC dengan koagulan SKD dan SKD-Glutaraldehida. Flok yang terbentuk dari koagulan paling optimum selanjutnya dianalisa dengan *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mengetahui bentuk morfologinya, Komposisi dalam flok ditentukan dengan analisa EDX.

HASIL SINTESIS

Preparasi Limbah Kulit Durian

Kulit durian dipotong-potong, lalu dicuci bersih kemudian kemudian dijemur dengan sinar matahari sampai kering (selama 3 hari). Untuk mengecek kulit durian kering bisa dengan cara membelah kulit durian yang sudah dijemur. Jika pada bagian dalam atau tengah sudah kering maka proses penjemuran bisa dihentikan. Proses pengeringan ini bertujuan agar kulit durian tidak busuk dan tidak ditumbuhi jamur/kapang atau mikroorganisme lain. Kulit durian kering selanjutnya dihaluskan menggunakan blender, disaring menggunakan ayakan berukuran 50 mesh untuk mendapatkan hasil yang seragam. Metode pengecilan ukuran ini merupakan metode praperlakuan biomassa secara fisik. Metode praperlakuan biomassa secara fisik ini dipilih karena prosesnya yang mudah dan efektif dibandingkan dengan praperlakuan lainnya (Huijgen *et al.*, 2010). Praperlakuan fisik menyebabkan penurunan kristalinitas selulosa dan derajat polimerisasi selulosa, meningkatkan luas permukaan dan ukuran pori lignoselulosa, meningkatkan proses perpindahan massa dan perpindahan panas, memecah dan mengurangi kandungan lignin dan hemiselulosa serta meningkatkan porositas bahan. Reaksi isolasi selulosa berlangsung lebih cepat pada ukuran partikel kecil dibandingkan partikel yang lebih besar (Novia *et al.*, 2014). Pada Gambar 6.1 ditunjukkan hasil preparasi limbah kulit durian menjadi tepung kulit durian.



(a)

(b)

Gambar 6.1. (a) Limbah Kulit Durian Sebelum Preparasi (b) Limbah Kulit Durian Setelah Preparasi

Karakterisasi Kulit Durian

Karakterisasi kulit durian ini bertujuan untuk menguji kandungan proksimat kulit durian yang diambil dari Desa Ngijo, Kecamatan Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah. Ada 6 komponen yang perlu dikarakterisasi, diantaranya kadar air, kadar abu, kadar lemak, kadar protein, kadar serat, dan kadar karbohidrat. Hasil analisis kadar kadar air, protein, lemak, serat, abu dan karbohidrat kulit durian ditampilkan pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Kadar Proksimat Pada Kulit Durian Kering Gunungpati, Semarang, Jawa Tengah

Parameter	Kadar (%)
Air	10,24
Protein	11,2
Lemak	6,34
Serat	41,99
Abu	8,48
Karbohidrat	21,75

Kandungan air dalam sampel berpengaruh terhadap daya simpan sampel tersebut. Sampel kering apabila memiliki kandungan air tinggi, maka kemungkinan besar akan lebih cepat rusak dan ditumbuhi mikroba sehingga kualitasnya akan menurun (Retnani dkk., 2009). Oleh sebab itu diperlukan kadar air sebaiknya kurang dari 12% pada sampel kering untuk menghindari pertumbuhan mikroba. Berdasarkan hasil proksimat, kulit durian mengandung kadar air sebesar 10,24%. Nilai tersebut diperbolehkan karena masih dibawah 12% (Fauziah, 2015). Kadar lemak, kadar protein dan kadar abu juga digunakan untuk menilai kandungan nutrisi dari kulit durian, untuk kadar lemak dan protein berturut-turut sebesar 6,34 dan 11,20%. Kadar abu dalam bahan menggambarkan kandungan mineral-mineral anorganik sisa pembakaran pada suhu 500°C. Kadar abu dari kulit durian sebesar 8,48 %. Nilai ini lebih besar dari kadar abu kulit durian yang

dilakukan oleh (Ana *et al.*, 2015) yaitu 4,35%, sedangkan komponen penting lain yang perlu diperhatikan dari kulit durian adalah kadar serat. Kadar serat merupakan komponen yang paling penting untuk menilai berapa banyak selulosa yang dapat dihasilkan dari proses hidrolisis, karena semakin banyak serat yang dikandung, maka semakin banyak selulosa yang terkandung didalamnya. Nilai kadar serat dari kulit durian yaitu 41,99%, komponen kadar serat dalam tepung kulit durian ini paling tertinggi dari pada komponen yang lain. Nilai ini menunjukkan bahwa kulit durian memiliki sumber serat yang dapat diisolasi sebagai sumber selulosa.

Isolasi Selulosa

Pemisahan Zat Pati/Amilum

Isolasi selulosa ini bertujuan untuk memisahkan kulit durian dari zat pati dan lignin sehingga diperoleh selulosa murni dari tepung kulit durian. Langkah yang pertama yaitu proses pemisahan zat pati atau amilum dari serbuk kulit durian proses ini dilakukan dengan memanaskan serbuk kulit durian yang direndam dengan air panas bersuhu 80 - 100°C selama 15 menit, kemudian dibilas dengan air bersih sehingga zat pati atau amilum yang menempel pada serbuk kulit durian sudah bersih. Tujuan dari perendaman dan pemanasan ini yaitu serbuk kulit durian yang dipanaskan akan membentuk amilum, karena amilum tidak dapat larut dalam air dingin, sehingga perlu dipanaskan dengan air dan akan menjadi larutan yang mengental. Proses hidrolisis ini ditunjukkan pada Gambar 6.2.



Gambar 6.2. Proses Pemanasan Tepung Kulit Durian
Dari sebanyak 30 gram tepung kulit durian setelah melalui proses pemanasan dihasilkan rendemen sebesar 24,0674 gram sehingga zat pati atau amilum yang terpisah sebesar 5,9326 gram atau 19,7753 % dari berat awal. Hasil pemisahan zat pati atau amilum ditunjukkan pada Gambar 6.3.



Gambar 6.3. Tepung Kulit Durian Hasil Penghilangan Amilum

Delignifikasi

Setelah pemisahan zat pati atau amilum dari serbuk kulit durian, kemudian dilanjutkan dengan proses delignifikasi. Delignifikasi merupakan proses yang bertujuan melarutkan komponen lain dari bahan baku selain selulosa, melalui delignifikasi diharapkan komponen seperti hemiselulosa, lignin, selulosa, dan komponen lain dapat larut sehingga diperoleh selulosa murni dari serbuk kulit durian. Delignifikasi menyebabkan terputusnya rantai polimer yang panjang menjadi menjadi rantai yang lebih pendek, meningkatkan daerah *amorf* atau menurunkan derajat kristalinitas dan memisahkan bagian lignin dari selulosa.

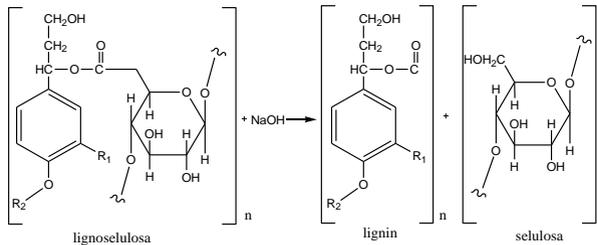
Proses delignifikasi dilakukan dengan merendam tepung kulit durian dengan larutan basa yaitu NaOH 10% selama 24 jam. Reaksi antara NaOH dengan lignoselulosa menghasilkan reaksi saponifikasi ikatan ester intermolekul yang menghubungkan lignin secara tautan silang. Reaksi saponifikasi ini menyebabkan putusnya ikatan kompleks antara lignin dan karbohidrat. Penggunaan NaOH tidak hanya mempengaruhi lignin, tetapi hemiselulosa dan selulosa yaitu terjadinya degradasi parsial dan hilangnya gugus asetil dan asam uronat pada hemiselulosa, sedangkan pada selulosa akan terjadi penggelembungan (*swelling*) dan berkurangnya kristalinitas serta bertambahnya ukuran pori (Septevani *et al.*, 2018). Pada Gambar 6.4 ditunjukkan proses delignifikasi tepung kulit durian menggunakan larutan NaOH.



Gambar 6.4. Proses Delignifikasi Tepung Kulit Durian

Ion OH^- dari NaOH akan memutuskan ikatan-ikatan dari struktur dasar lignin sedangkan ion Na^+ akan berikatan dengan lignin membentuk natrium fenolat. Garam fenolat ini bersifat mudah larut. Lignin yang terlarut ditandai dengan warna hitam pada larutan yang disebut lindi hitam (*black liquor*). Pada Gambar 6.5 ditunjukkan mekanisme reaksi pemutusan lignin dan selulosa menggunakan larutan NaOH. Lindi hitam merupakan hasil samping yang dihasilkan dari proses delignifikasi, di dalamnya mengandung lignin, hemiselulosa, dan sisa NaOH dari proses delignifikasi. Lindi hitam berbau tidak sedap karena mengandung senyawa kimia seperti metil merkaptan, dimetil sulfida ($(\text{CH}_3)_2\text{S}$) dan dimetil disulfida ($\text{CH}_3\text{-S-S-CH}_3$). Gas-gas ini terbentuk oleh reaksi

pemutusan ikatan metil aril eter pada salah satu unit penyusun lignin (Muryanto *et al.*, 2016), hasil delignifikasi ditunjukkan pada Gambar 6.6.



Gambar 6.5. Mekanisme Reaksi Pemutusan Lignoselulosa Menjadi Lignin dan Selulosa dengan Basa Natrium Hidroksida (NaOH)



Gambar 6.6. Hasil Delignifikasi dengan NaOH, (a) Sebelum Dihaluskan, (b) Setelah Dihaluskan

Rendemen yang dihasilkan dari proses delignifikasi masih berwarna hitam yang menandakan masih terdapat kandungan pengotor sisa delignifikasi didalamnya sehingga perlu diproses ke tahap *bleaching* untuk mendapatkan selulosa murni.

Bleaching

Proses *bleaching* dilakukan pada residu hasil dari proses delignifikasi. Tujuannya yaitu untuk menghilangkan sisa pengotor dari reaksi samping, meningkatkan kecerahan (*brightness*), dan meningkatkan kemurnian kadar selulosa. Endapan hasil proses delignifikasi berwarna coklat, warna coklat tersebut diakibatkan

oleh zat pengotor yang masih tersisa sehingga dibutuhkan proses *bleaching*/pemutihan untuk membersihkan dan memutihkan selulosa yang masih bewarna coklat. Proses pemutihan kali ini dilakukan dengan perendaman selulosa menggunakan hidrogen peroksida (H_2O_2) selama 24 jam. Hidrogen peroksida dipilih sebagai reagen pemutih karena mampu larut dalam air dengan baik, aman, dan ramah lingkungan. Hidrogen peroksida mempunyai kemampuan melepaskan oksigen yang cukup kuat dan mudah larut dalam air, proses *bleaching* ditunjukkan oleh Gambar 6.7.

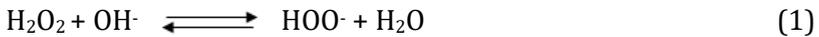


Gambar 6.7. Proses *Bleaching Crude* Selulosa dengan Larutan H_2O_2 10% Selama 24 Jam

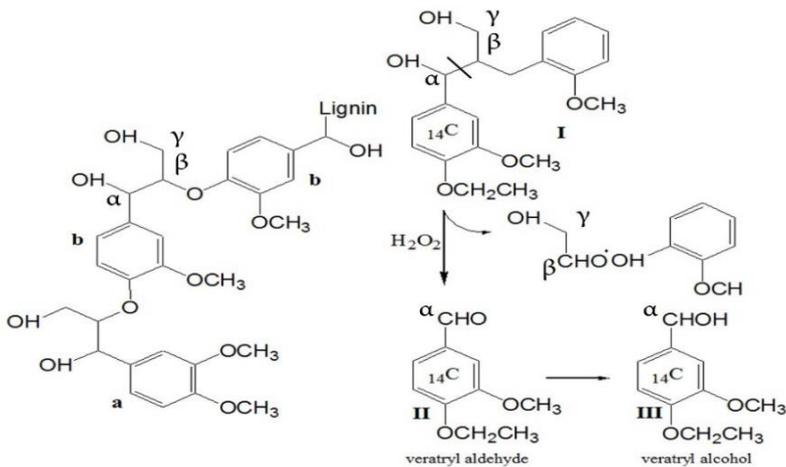
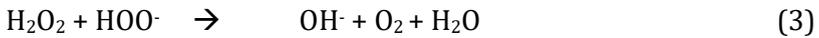
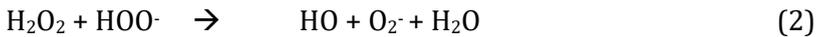
Pemutihan dengan hidrogen peroksida akan mengeliminasi gugus karbonil terkonjugasi dalam struktur lignin oleh anion *perhydroxyl* ($HOO\cdot$) dan penghilangan lignin total melalui degradasi/delignifikasi dan bleaching, melalui reaksi dengan HO dan $O_2\cdot$ radikal. Radikal bereaksi dengan cincin aromatik lignin dalam dekomposisi oksidatif, yang meningkatkan hidrofilitas molekuler dan kelarutan lignin. Faktor – faktor yang mempengaruhi *bleaching*/pemutihan antara lain: kondisi proses (dosis, waktu, pH, dan suhu), jenis kayu dan kandungan lignin. Reaksi pemutihan dengan hidrogen peroksida akan lebih efektif dalam suasana basa antara pH 8-12, semakin basa larutan maka jumlah gugus anion ($HOO\cdot$) yang terbentuk tiap waktu semakin banyak, sehingga reaksi yang terjadi antara gugus anion ($HOO\cdot$)

dengan gugus kromofor pada lignin semakin cepat (Syahroni, 2011), semakin besar konsentrasi larutan H_2O_2 maka semakin banyak ion perhidroksil (HOO^-) dalam larutan yang berperan sebagai oksidator dalam proses pemutihan. Anion perhidroksil (HOO^-) adalah bahan yang aktif bereaksi dengan struktur karbonil pada lignin sehingga lignin terpecah-pecah yang mengakibatkan warna *pulp* menjadi lebih putih. Dalam kondisi basa H_2O_2 terurai menurut persamaan 1 sampai 3.

Kesetimbangan antara H_2O_2 dan HOO^- dalam kondisi alkali :



Penguraian katalis basa dan pembentukan radikal :



Gambar 6.8. Proses Penguraian Lignin oleh H_2O_2 (Srebotnik *et al.*, 1994).

Hidrogen peroksida mengoksidasi unit non-fenolik lignin melalui pelepasan satu elektron dan membentuk radikal kation yang kemudian terurai secara kimiawi. Unit non-fenolik merupakan penyusun sekitar 90% struktur lignin. Pada Gambar 6.8 ditunjukkan proses penguraian lignin oleh H_2O_2 . Hidrogen peroksida dapat memutus ikatan $\text{C}_\alpha\text{-C}_\beta$ molekul lignin dan mampu membuka cincin lignin. Hidrogen peroksida mengkatalis suatu

oksidasi senyawa aromatik non-fenolik lignin membentuk radikal kation aril. Hidrogen mengkatalis oksidasi senyawa lignin non-fenolik dengan perubahan *veratryl alcohol* menjadi *veratryl aldehyde* (Jayanudin, 2009). Setelah melalui proses *bleaching* kemudian dimasukkan dalam oven sampai menjadi serbuk selulosa kulit durian (SKD). Hasil dari proses delignifikasi tepung kulit durian menjadi selulosa tepung kulit durian ditunjukkan pada Gambar 6.9.



Gambar 6.9. Hasil *Bleaching* dengan Larutan H_2O_2 10%

Hasil dari proses delignifikasi dan bleaching tepung kulit durian ini didapatkan koagulan selulosa kulit durian (SKD), rendemen yang berupa selulosa murni sebesar 15,7096 gram atau 52,365 % dari berat awal tepung kulit durian, sedangkan lignin dan hemiselulosa yang terpisahkan sebesar 8,3578 atau 27,85 % dari berat awal. Hasil proses hidrolisis tepung kulit durian ini ditunjukkan pada Tabel 6.2.

Tabel 6.2. Hasil Proses Delignifikasi Kulit Durian

Senyawa	Presentasi (%)
Amilum/Zat Pati	19.77
Hemiselulosa dan Lignin	27.86
Selulosa	52.37

Preparasi Selulosa Kulit Durian-Glutaraldehida

Preparasi selulosa kulit durian ini bertujuan untuk mengetahui keefektifan dari selulosa kulit durian (SKD) dengan

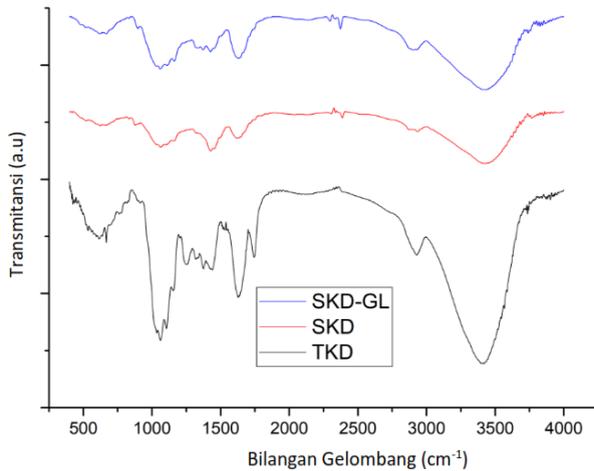
glutaraldehida sebagai koagulan alami. Preparasi dilakukan dengan mencampurkan selulosa kulit durian dengan NaOH, fungsi NaOH ini untuk memberikan suasana basa pada saat preparasi, kemudian ditambahkan glutaraldehida dan NaCl. Campuran tersebut kemudian diaduk selama 5 jam sampai homogen, setelah itu dikeringkan dalam oven. Dari hasil preparasi ini di hasilkan koagulan dari selulosa kulit durian yang ditunjukkan pada Gambar 6.10. Setelah itu dilakukan karakterisasi FTIR yang berfungsi untuk melihat puncak pada bilangan gelombang TKD, SKD, SKD-glutaraldehida dan karakterisasi *zeta potensial* untuk mengetahui muatan listrik di dalam TKD, SKD, SKD-glutaraldehida yang berpengaruh terhadap terjadinya proses flokulasi.



Gambar 6.10. Hasil Preparasi SKD dengan Glutaraldehida

Analisis FTIR (Fourier Transform Infrared)

Analisis FTIR (*Fourier Transform Infrared*) berfungsi untuk mengetahui adanya perubahan gugus fungsi yang terdapat pada tepung kulit durian, selulosa kulit durian dan preparasi selulosa kulit durian dilihat dari perubahan *peak-peak* yang muncul pada panjang gelombang tertentu. Hasil FTIR disajikan pada Gambar 6.11.



Gambar 6.11. Spektrum FTIR: Tepung Kulit Durian (TKD), Koagulan SKD dan Koagulan SKD-Glutaraldehida

Pada Tabel 6.3 ditunjukkan analisis gugus fungsi FTIR TKD, koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehida. Berdasarkan hasil analisis gugus fungsi pada Tabel 6.3 diketahui bahwa gugus hidroksil -OH yang terlihat pada bilangan gelombang 3200-3600 cm^{-1} pada TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida merupakan selulosa yang tidak tersubstitusi oleh gugus asetil. Gugus -OH pada kisaran bilangan tersebut juga menunjukkan adanya ikatan hidrogen intramolekular dan merupakan gugus utama pada selulosa karena selulosa merupakan rantai panjang dari β -glukosa (Lestari, 2014). Namun masih terlihat puncak serapan pada bilangan gelombang 1744,05 cm^{-1} pada tepung kulit durian yang menunjukkan masih terdapatnya kandungan lignin dan hemiselulosa di dalamnya, sedangkan pada spektrum FTIR SKD dan SKD-glutaraldehida tidak terlihat puncak vibrasi C=O sehingga bisa dipastikan bahwa lignin dan hemiselulosa sudah tidak ada pada sampel SKD dan SKD-glutaraldehida.

Tabel 6.3. Analisis Gugus Fungsi FTIR Tepung Kulit Durian (TKD), Selulosa Kulit Durian (SKD) dan SKD-Glutaraldehida

Daerah Serapan	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)				Gugus Fungsi
	Selulosa Komersil	TKD	SKD	SKD-GL	
3200-3600	3348,2	3421,23	3435,03	3434,63	vibrasi ulur -OH
2850-3000	2900,94	2929,58	2935,1	2910,7	vibrasi ulur -CH
1690-1760	-	1744,05	-	-	vibrasi ulur C=O
1620-1650	1635,64	1629,21	1621,2	1629,94	Vibrasi H-O-H
1210-1320	-	-	-	-	vibrasi C-O asetil
1033.85-1159.22	1033,85	1062,49	1064,3	1059,85	vibrasi C-O-C
800-950	894,97	-	878,7	893,35	Vibrasi β-glikosidik

Bilangan gelombang pada daerah 2850-3000 cm⁻¹ menunjukkan terdapatnya gugus fungsional -CH pada alkana yang merupakan kerangka dari selulosa. Gugus C-H ulur ini berasal dari gugus metil pada rantai selulosa. Area vibrasi uluran pada bilangan gelombang 1620-1649 cm⁻¹ menunjukkan ikatan H-O-H yang menyerap air. Bilangan gelombang 1033,85-1159,22 cm⁻¹ merupakan area vibrasi gugus C-O-C yang merupakan penyusun bahan lignoselulosa. Area penyerapan ikatan selulosa β-glikosidik akan tampak pada bilangan gelombang 800-950 cm⁻¹. Secara keseluruhan hasil spektrum infra merah pada koagulan SKD maupun koagulan SKD-glutaraldehida menunjukkan bahwa dalam proses isolasi selulosa kulit durian menghasilkan gugus hidroksil (-OH) dan karboksil (-CH) yang sudah sama dengan hasil dari spektrum selulosa komersiel. Proses isolasi selulosa juga telah berhasil ditandai dengan tidak munculnya gugus (C=O) pada SKD maupun SKD-glutaraldehida, kandungan lignin dan hemiselulosa berhasil dihidrolisis sehingga didapatkan selulosa murni.

Analisis Zeta Potensial

Pengukuran *zeta potensial* dilakukan setelah pembuatan tepung kulit durian (TKD) yang menjadi koagulan selulosa kulit durian (SKD) dan SKD-glutaraldehida. Tujuan pengukuran nilai *zeta potensial* pada koagulan SKD dan SKD-glutaraldehida untuk melihat kemampuan terjadinya flokulasi yang akan terjadi terhadap media limbah cair tepung pati aren nantinya. Hasil dari data yang didapatkan pada pengukuran *zeta potensial* dapat dilihat pada Tabel 6.4.

Tabel 6.4. Hasil Pengukuran *Zeta Potensial* pada TKD, SKD, SKD-Glutaraldehida

Komposisi	<i>Zeta Potensial</i> (mV)
TKD	-0.1
SKD	-1.3
SKD-glutaraldehida	0.2

Pengukuran komposisi *zeta potensial* dalam TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida dilakukan menggunakan alat *Particle Size Analyzer* (PSA), sampel harus dalam keadaan koloid, sehingga komposisi awal dari TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida yang berupa padatan perlu ditambahkan larutan NaOH 50% untuk menghasilkan bentuk koloid supaya bisa diukur menggunakan alat tersebut. Berdasarkan data yang didapatkan hasil uji *zeta potensial* memperlihatkan komposisi TKD sebesar -0,1 mV sedangkan dalam koagulan SKD sebesar -1,3 mV dan koagulan SKD-glutaraldehida sebesar 0.2 mV. Menurut pengertian teori *zeta potensial* dikatakan semakin tinggi nilai potensial zeta, makin semakin kecil terjadinya flokulasi atau peristiwa penggabungan koloid dari yang kecil menjadi besar (Khoshnevisan dan Barkhi, 2015). Pada sistem koloid, nilai potensial zeta yang tinggi akan memberikan stabilitas larutan untuk menolak agregasi. Sebaliknya, ketika nilai potensial zeta rendah maka daya tarik menarik muatan antar partikel dispersi melebihi daya tolak menolaknya hingga terjadi flokulasi. Koloid dengan dengan nilai potensial zeta tinggi adalah elektrik stabil, sedangkan koloid dengan nilai potensial rendah cenderung

akan mengental/flokulasi, bisa dikatakan bahwa koagulan SKD akan lebih besar proses flokulasi dibandingkan dengan SKD-glutaraldehida nantinya karena nilai potensial zeta dalam koagulan SKD lebih rendah dibandingkan dengan SKD-glutaraldehida sehingga menyebabkan gaya tarik menarik antara partikel dalam limbah yang bermuatan positif akan tertarik dengan koagulan yang bermuatan negatif dan akan membentuk flok yang kemudian akan mengendap.

Pengujian SKD dan SKD-glutaraldehida terhadap Air Limbah Parameter Awal Limbah

Pengambilan sampel limbah dilakukan di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, limbah yang diambil merupakan limbah cair pengolahan tepung pati aren yang biasanya langsung di buang di sungai. Pengamatan visual dari limbah cair tepung pati aren ditampilkan pada Gambar 6.12.



Gambar 6.12. Pengambilan Limbah Cair Tepung Pati Aren

Berdasarkan pengamatan awal yang dilakukan dari limbah cair tepung pati aren yang diambil di salah satu industri UMKM pembuatan tepung pati aren yang nantinya dijadikan sebagai bahan baku pembuatan mie soun di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten. Di dalam proses pembuatan tepung yang dihasilkan dari batang pohon aren menghasilkan 4 luaran antara lain: limbah padat kulit batang aren, ampas batang aren, limbah cair dan tepung pati aren. Selama ini belum maksimal dalam

pemanfaatan limbah yang dihasilkan dalam proses pembuatan tepung pati aren ini, limbah yang dihasilkan hanya dibuang begitu saja baik limbah padat maupun limbah cair sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Hasil pengukuran awal didapatkan nilai COD 1840 mg/L dan nilai BOD₅ 570,4 mg/L. Dari hasil yang didapatkan kandungan COD dan BOD₅ pada limbah cair tepung pati aren belum sesuai dengan ambang batas limbah cair yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah yaitu kandungan COD sebesar 300 mg/L dan BOD₅ sebesar 150 mg/L.

Jar Test

Aplikasi koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehida dengan limbah cair tepung pati aren adalah dengan proses *jar test*, koagulan sintetik PAC sebagai koagulan pembanding dari koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehida, *jar test* berfungsi untuk mengetahui dosis optimum koagulan dari limbah tepung kulit durian dengan proses koagulasi flokulasi terhadap limbah cair tepung pati aren. *Jar test* dilakukan dengan pengadukan cepat 200 rpm selama 2 menit dan pengadukan lambat 60 rpm selama 20 menit setelah itu dilakukan pengendapan selama 30 menit. Fungsi dari pengadukan cepat yaitu sebagai proses koagulasi agar diperoleh campuran yang merata distribusi koagulannya sehingga proses pembentukan gumpalan atau flok dapat terjadi secara merata pula. Proses flokulasi dilakukan setelah proses koagulasi pada proses koagulasi kekokohan partikel koloid ditiadakan sehingga terbentuk flok-flok lembut yang kemudian dapat disatukan melalui proses flokulasi. Setelah flokulasi kemudian dilakukan proses pengendapan, flok-flok yang terbentuk akan mengendap ke bawah. Variasi dosis PAC, SKD dan SKD-glutaraldehida yang ditambahkan dalam *jar test* adalah 2000, 2500, 3000, dan 3500 mg/L. Dosis optimum PAC, SKD dan SKD-glutaraldehida ditentukan dari hasil proses *jar test* dalam menurunkan konsentrasi COD dan BOD₅ pada limbah cair tepung pati aren. Proses *jar test* ditunjukkan pada Gambar 6.13. Setelah proses *jar test* dihasilkan hasil koagulasi-flokulasi menggunakan

PAC, SKD dan SKD-glutaraldehyda seperti dalam Gambar 6.14. Dilihat dari penampilan fisiknya perbandingan penurunan kekeruhan dari limbah awal tepung kulit durian menggunakan koagulan sintetik PAC masih baik dibandingkan dengan menggunakan koagulan SKD maupun SKD-glutaraldehyda.



Gambar 6.13. Proses *Jar Test*



(a)



(b)



(c)



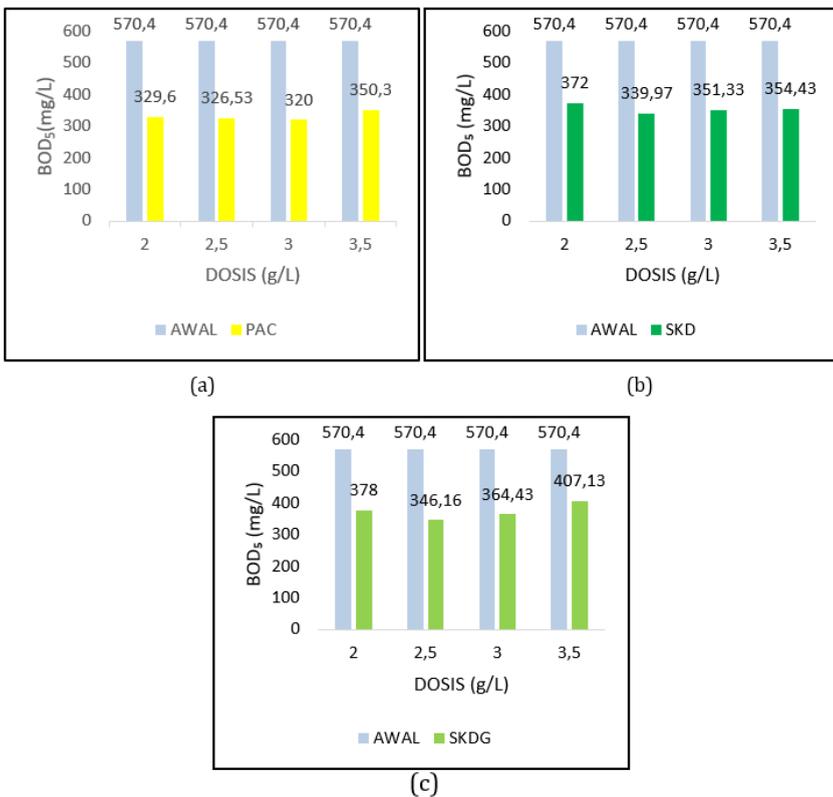
(d)

Gambar 6.14. Hasil *Jar Test* (a) Limbah Awal (b) Koagulan PAC
Koagulan SKD (d) Koagulan SKD-Glutaraldehyda

Analisis BOD₅

Hasil aplikasi *jar test* menggunakan koagulan PAC, koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehyda sebagai koagulan terhadap limbah cair tepung pati aren kemudian dilakukan analisis

kandungan BOD_5 dalam limbah cair tersebut sesuai dengan standar SNI 6989.72:2009. Berdasarkan hasil analisis BOD_5 pada Gambar 6.15 koagulan PAC, koagulan SKD dan SKD-glutaraldehida bahwa pemakaian dosis paling optimum pada PAC yaitu 3 gr/L, dari limbah awal 570,4 mg/L mampu menurunkan menjadi 320 mg/L atau sebesar 43,89%, pada SKD dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 339.97 mg/L dan dapat menurunkan nilai BOD_5 dari limbah awal sebesar 40,398% dan pada SKD-glutaraldehida dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 346,16 dan dapat menurunkan nilai BOD_5 dari limbah awal sebesar 39,313%.



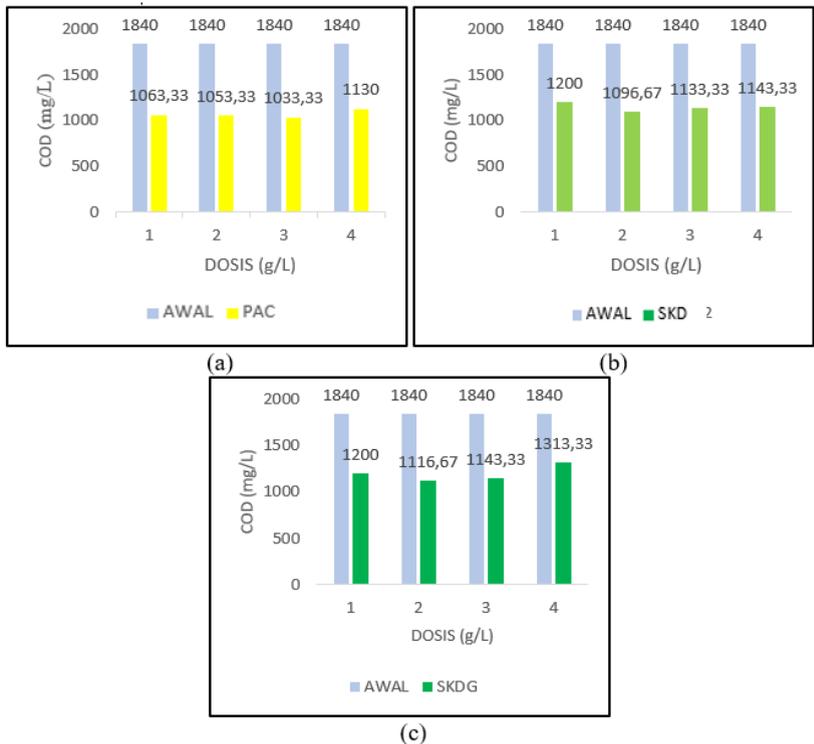
Gambar 6.15. Nilai BOD_5 (a) Koagulan PAC (b) Koagulan SKD; (c) Koagulan SKD-glutaraldehida

Berdasarkan hasil yang didapatkan untuk hasil dari efektifitas koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehida untuk menurunkan kadar BOD_5 pada limbah cair tepung pati aren tidak

terlalu jauh berbeda dengan penurunan dari koagulan sintetik dari PAC sebagai koagulan pembanding.

Analisis COD

Hasil aplikasi *jar test* dari koagulan PAC, koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehyda sebagai koagulan untuk penurunan kadar COD pada limbah cair tepung pati aren kemudian dilakukan analisis COD terhadap hasil *jar test* secara refluks tertutup menggunakan spektrofotometri sesuai dengan standar SNI 6989.2:2009.



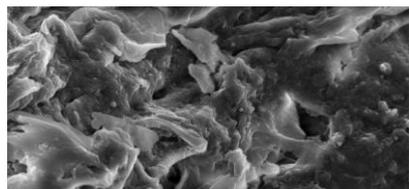
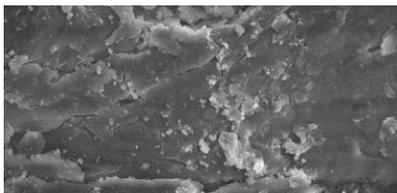
Gambar 6.16. Nilai COD (a) Koagulan PAC; (b) Koagulan SKD (c) Koagulan SKD-glutaraldehyda

Berdasarkan hasil analisis COD pada Gambar 6.16 koagulan PAC, koagulan SKD dan koagulan SKD-glutaraldehyda didapatkan bahwa pemakaian dosis paling optimum pada koagulan PAC yaitu

3 gr/L dengan nilai 1033,33 mg/L dari kandungan awal sebesar 1840 mg/L dan mampu menurunkan nilai COD dari limbah awal sebesar 43,84%, pada koagulan SKD dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 1096,67 mg/L dari kandungan awal sebesar 1840 mg/L dan dapat menurunkan nilai COD dari limbah awal sebesar 40,398% dan pada koagulan SKD-glutaraldehida dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 1116,67 mg/L dari kandungan awal sebesar 1840 mg/L dan dapat menurunkan nilai COD dari limbah awal sebesar 39,311%. Berdasarkan hasil yang didapatkan bahwa dari efektifitas koagulan SKD sebesar 40,398% dan SKD-glutaraldehida sebesar 39,311% dalam penurunan kadar COD pada limbah cair tepung pati aren, hasil ini tidak terlalu jauh berbeda dengan penurunan dari koagulan sintetik dari PAC sebesar 43,84% sebagai koagulan pembanding dalam aplikasinya terhadap penurunan kandungan COD dalam limbah cair tepung pati aren.

Morfologi Kulit Durian dan Flok

Setelah dilakukan uji koagulasi dan flokulasi koagulan SKD dan SKD-glutaraldehida terhadap limbah cair tepung pati aren, selanjutnya yaitu analisis SEM dari koagulan yang paling efektif dalam menurunkan kadar COD dan BOD₅ terhadap limbah cair tepung pati aren. Berdasarkan hasil uji didapatkan koagulan yang paling efektif dalam menurunkan kadar COD dan BOD₅ pada limbah cair tepung pati aren yaitu koagulan SKD dengan dosis 2500 mg/L. Tujuan dari analisis SEM yaitu untuk mengetahui morfologi koagulan dari tepung kulit durian dan flok yang terbentuk, selain itu dilakukan pula uji EDX untuk mengetahui komposisi dalam koagulan dan flok. Hasil uji SEM-EDX dapat dilihat pada Gambar 6.17.



(a) (b)

Gambar 6.17. Morfologi SEM (a) Tepung Kulit Durian (b) Flok

Sebelum koagulasi, bentuk morfologi dari tepung kulit durian cenderung kecil dan terpisah pisah, bentuk ini mengalami perubahan setelah proses koagulasi. Flok yang terbentuk mempunyai tekstur yang lebih kasar, tidak beraturan, dan mempunyai ukuran yang lebih besar. Perubahan ini terjadi karena partikel koloid dalam koagulan mampu mengikat partikel-partikel pada limbah cair tepung pati aren sehingga menjadikan perubahan morfologi menjadi lebih besar. Komposisi tepung kulit durian dan koloid yang terjebak dalam flok dapat dilihat pada Tabel 6.5.

Tabel 6.5. Komposisi Unsur Tepung Kulit Durian dan Flok

Senyawa	Tepung Kulit Durian (% berat)	Flok (% berat)
Karbon (C)	90,96	92,91
Aluminium (Al)	0,95	1,37
Kalsium (Ca)	8,09	2,90
Silika (Si)	-	2,83

Berdasarkan Tabel 6.5 dapat dilihat bahwa komposisi utama dalam tepung kulit durian adalah alumina, karbon dan kalsium oksida. Komposisi utama dalam flok didominasi oleh alumina, karbon dan silika dioksida. Meningkatnya kandungan unsur C pada flok yang dihasilkan yaitu dari tepung kulit durian awal 90,96% menjadi 92,91% menandakan bahwa koagulan tepung kulit durian mampu mengikat unsur C pada limbah sebesar

1,95 %. Meningkatnya kandungan unsur Al pada flok yang dihasilkan yaitu dari tepung kulit durian awal 0,95% menjadi 1,37% menandakan bahwa koagulan mampu mengikat unsur Al dalam limbah sebesar 0,42%, kemudian munculnya unsur Si dalam flok menandakan bahwa flok mampu mengikat unsur Si yang terdapat dalam limbah cair tepung pati aren. Hal ini menjelaskan bahwa koagulan tepung kulit durian mampu mengikat unsur C, unsur Al dan unsur Si sebagai komponen utama dalam limbah cair tepung pati aren.

SIMPULAN

1. Preparasi koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehida menghasilkan koagulan SKD dan SKD-Glutaraldehida
2. Hasil spektra infra merah (FTIR) dari TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida menunjukkan adanya gugus -OH (hidroksil), -CH (karboksil) sebagaimana spektra selulosa komersial. Hasil uji *zeta potensial* memperlihatkan komposisi TKD sebesar -0,1 mV sedangkan dalam koagulan SKD sebesar -1,3 mV dan koagulan SKD-glutaraldehida sebesar 0,2 mV. Berdasarkan bentuk morfologi SEM dari koagulan tepung kulit durian memperlihatkan ukuran yang kecil, sedangkan bentuk morfologi dari flok berukuran besar dan saling terikat. Sehingga bisa dikatakan bahwa koagulan mampu mengikat partikel-partikel dalam limbah cair tepung pati aren sehingga membentuk flok.
3. Koagulan selulosa kulit durian mampu menurunkan BOD₅ 40,398% sedangkan tingkat penurunan COD mencapai 40,398% pada dosis 2,5 g/L dari kandungan limbah awal. Untuk koagulan SKD-glutaraldehida mampu menurunkan BOD₅ 39,31% dan 39,31% dari kandungan limbah awal pada dosis yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Ana, D., Pampang, H., & Yunita, L., 2015. Potensi Limbah Kulit Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Energi Alternatif. *Senatek*, 2015, pp.843–850.
- Abdillah, A.I., Darjito., & Khunur, M.M., 2015. Pengaruh pH dan Waktu Kontak pada Adsorpsi Ion Logam Cd²⁺ Menggunakan Adsorben Kitin Terikat Silang Glutaraldehid. *Kimia Student*, 1(1), pp.826–832
- Firdayati, M., & Handajani, M., 2005. Jurnal Studi Karakteristik Dasar Limbah Industri Tepung Aren. *Infrastruktur dan Lingkungan Binaan*, 1(2), pp.22–29.
- Hendrawati, D.S.N., 2013. Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica L*) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus L*) Sebagai Koagulan Alami Dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah. *Valensi*, 3(1), pp.23-34.
- Hidayat, T.A., 2015. Pemanfaatan Limbah Selulosa Dalam Kulit Durian (*Durio Zibethinus*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol Melalui Proses Fermentasi *Saccharomyces cerevisiae*. *Skripsi*. Institut Agama Islam Negeri Palangka Raya.
- Huijgen, W., Harmsen, P., Bermudez, L., & Bakker, R., 2010. Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass. *ECN Biomass, Coal and Environmental Research*, 2010.
- Khoshnevisan, K., & Barkhi, M., 2015. Information about Zeta Potential. *Thesis*. Institute of Agricultural Biotechnology, Nano Departement, karaj, Tehran, Iran.
- Lestari, P., Titi, N.H., Siti, H.I.L., & Djagal, W.M., 2014. *Development Technology Creation Biopolymers High Economic Value of Waste Corn Plant (Zea mays) For Food Industry: CMC (Carboxy Methyl Cellulose)*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Muryanto, M., Sudiyani, Y., & Abimanyu, H., 2016. Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(01), pp.27–35.
- Novia, U.I., & Windiyati, L., 2014. Pembuatan Bioetanol Dari Sekam Padi Menggunakan Kombinasi Soaking in Aqueous Ammonia

- (SAA) Pretreatment–Acid Pretreatment–Hidrolisis–Fermentasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 20(1), pp.46–53.
- Nur'ain, N., & Ridhay, A., 2017. Optimasi Kondisi Reaksi Untuk Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Batang Jagung (*Zea Mays L*). *Kovalen*, 3(2), pp.112–121.
- Septevani, A. A., Burhani, D., & Sudiarmanto, S., 2018. Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2), pp.71–78.
- Srebotnik E., Jensen, K.A., & Hammel, K.E., 1994. Fungal Degradation of Recalcitrant Nonphenolic Lignin Structure without Lignin Peroxidase. *Proc Natl Acad Sci*, 91, pp.12794–12797
- Syahroni, A., 2011. Studi Proses Bleaching Serat Eceng Gondok Sebagai Reinforced Fiber. *Thesis*. Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
- Tan, Y.L., Abdullah, A.Z., & Hameed, B.H., 2017. Fast Pyrolysis of Durian (*Durio zibethinus L*) Shell in a Drop-Type Fixed Bed Reactor: Pyrolysis Behavior and Product Analyses. *Bioresource Technology*, 243, pp.85–92.
- Yusoff, M.S., Aziz, H.A., Zamri, M.F.M.A., Suja', F., Abdullah, A.Z., & Basri, N.E.A., 2018. Floc Behavior dan Removal Mechanisms of Cross-Linked Durio Zibethinus Seed Starch as a Natural Flocculant for Landfill Leachate Coagulation-Flocculation Treatment. *Waste Management*, 74, pp.362–372.