



**PREPARASI KOAGULAN BERBASIS SELULOSA KULIT
DURIAN DAN GLUTARALDEHIDA UNTUK PROSES
PEMULIHAN LIMBAH CAIR TEPUNG PATI AREN**

SKRIPSI

diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana Sains
Program Studi Kimia

oleh

Alfian Nur Rohman

4311415022

JURUSAN KIMIA

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**


2020

PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa Skripsi ini bebas plagiat, dan apabila dikemudian hari terbukti terdapat plagiat dalam Skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan perundang-undangan.

Semarang, 3 April 2020




Alfian Nur Rohman
4311415022

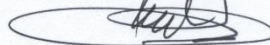
PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang berjudul Sintesis *Crosslink* Selulosa Kulit Durian Termodifikasi Glutaraldehid Sebagai Koagulan Untuk Proses Pemulihan Limbah Cair Tepung Pati Aren telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke Sidang Panitia Ujian Skripsi Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 11 Maret 2020

Semarang, 11 Maret 2020
Pembimbing Skripsi,



Dr. Sigit Priatmoko, M.Si
NIP. 196504291991031001

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul "Preparasi Koagulan Berbasis Selulosa Kulit Durian dan Glutaraldehida untuk Proses Pemulihan Limbah Cair Tepung Pati Aren" karya Alfian Nur Rohman 4311415022 ini telah dipertahankan dalam Ujian Skripsi FMIPA Universitas Negeri Semarang pada tanggal 3 April 2020 dan disahkan oleh Panitia Ujian.

Semarang, 3 April 2020

Panitia Ujian:



Penguji I

Dr. Triastuti Sulistyaningsih, M.Si
NIP. 197704112005012014

Sekretaris

Dr. Sigit Priatmoko, M.Si
NIP. 1965042919911031001

Penguji II

Dante Alighiri, S.Si, M.Sc.
NIP. 198506102015041003

Penguji III/Pembimbing

Dr. Sigit Priatmoko, M.Si
NIP. 1965042919911031001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Niatkan Semua Untuk Ibadah”

“Taqwa, Tanggap, Tanggon, Trengginas”

“Berpikir, Bertindak, Berhasil”

PERSEMBAHAN

Skripsi ini kupersembahkan kepada:

- ❖ Ibu tercinta yang tak pernah berhenti memberikan doa, kasih sayang, dan dukungan dalam semua hal.
- ❖ Alm. Bapak tercinta sebagai penyemangat setiap saat.
- ❖ Kakak dan Adik tercinta selalu memberikan semangat dan dukungan.
- ❖ Semua keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan, semangat dan doa.

PRAKATA

Alhamdulillah segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul Preparasi Koagulan Berbasis Selulosa Kulit Durian dan Glutaraldehida untuk Proses Pemulihan Limbah Cair Tepung Pati Aren.

Dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian dan penyusunan Skripsi. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Dr. Sugianto, M.Si selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Sigit Priatmoko, M.Si selaku dosen pembimbing di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang yang telah memberikan arahan dan dukungannya serta telah memberikan ilmu, petunjuk, dan bimbingan dengan penuh kesabaran sehingga Skripsi ini dapat selesai dengan baik.
3. Dr. Triastuti Sulistyaningsih, M.Si selaku Dosen Penguji I dan Dante Alighiri, S.Si, M.Sc. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan evaluasi, pengarahan, pengetahuan, dan bimbingan dalam penyusunan Skripsi.
4. Seluruh dosen, teknisi laboratorium dan karyawan di Jurusan Kimia FMIPA UNNES yang sudah memberikan ilmu kepada peneliti selama belajar di kampus FMIPA UNNES
5. Semua pihak yang telah membantu dan tidak bisa saya sebutkan semuanya

Penulis menyadari bahwa penyusunan Skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan oleh penulis di masa yang akan datang. Penulis berharap semoga Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis, seluruh mahasiswa Jurusan Kimia FMIPA Universitas Negeri Semarang khususnya dan memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

Semarang, 3 April 2020

Penulis

ABSTRAK

Rohman, A. N. (2020). *Preparasi Koagulan Berbasis Selulosa Kulit Durian dan Glutaraldehida untuk Proses Pemulihan Limbah Cair Tepung Pati Aren*. Skripsi, Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang. Pembimbing Dr. Sigit Priatmoko, M.Si.

Kata Kunci: koagulan, selulosa, kulit durian, glutaraldehida

Industri tepung pati aren di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah merupakan industri andalan penduduk daerah setempat. Dalam proses pembuatannya, industri ini menghasilkan limbah cair dan limbah padat. Adanya limbah tersebut selain mengganggu estetika, juga mengganggu kualitas air di lingkungan sekitarnya. Di sisi lain Kecamatan Gunungpati Kota Semarang terkenal dengan penghasil buah durian, tetapi selama ini buah durian hanya dimanfaatkan buahnya saja sedangkan biji dan kulitnya dibuang menjadi limbah yang menyebabkan pencemaran lingkungan sekitar. 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-glutaraldehida diperoleh 1116,67 mg/L (dosis 2500 mg/L).

ABSTRACT

Rohman, A. N. (2020). *Preparation of Durian and Glutaraldehyde Cellulose Based Coagulants for the Recovery Process of Aren Starch Flour Liquid Waste*. Skripsi, Chemistry Department Faculty of Mathematics and Natural Sciences Semarang State University. Supervisor Dr. Sigit Priatmoko, M.Sc.

Keywords: coagulant, cellulose, durian shell, glutaraldehyde

The industry of starch flour in Bendo Village, Tulung District, Klaten Regency, Central Java, Indonesia is an mainstay local industry. This industry proses produces liquid and solid wastes. Also, it could be interfered aesthetic. The main problem of waste is decreasing water quality in the surrounding environment. On the other side, in Gunungpati Subdistrict, Semarang City is famous for producing durian fruit, but so far the durian fruit only utilizes the fles fruit while the seeds and shell are thrown into waste which causes pollution of the surrounding environment. This work to study the effectiveness of the coagulant from the preparation of durian shell cellulose and glutaraldehyde for process recovery of waste liquid from flour of aren starch before flowing into the river. The result data can be used to find solutions for handling liquid waste of sugar palm starch and the problem of durian shell waste. The results showed that BOD₅ and COD content in wastewater reached 570.4 and 1840 mg / L, respectively, furthermore the coagulation and flocculation process with the jar test method was obtained a decrease in BOD₅ levels with SKD of 339.97 mg / L coagulant (dose of 2500 mg / L) whereas using SKD-glutaraldehyde coagulant produces 346.16 mg / L (dose of 2500 mg / L). In decreasing COD content with SKD coagulant was obtained 1096.67 mg / L (dose of 2500 mg / L) while using SKD-glutaraldehyde coagulant was obtained 1116.67 mg / L (dose of 2500 mg / L).

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
PRAKATA.....	vi
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Air	5
2.2 Baku Mutu Air Limbah Tepung Pati Aren.....	5
2.3 Produksi Pati Aren.....	7
2.4 Durian.....	9
2.5 Selulosa	10
2.6 Koagulasi Flokulasi.....	14
2.6.1 Koagulasi.....	15
2.6.2 Flokulasi	17

2.7	<i>Jar Test</i>	18
2.8	Karakterisasi Material	19
2.8.1	<i>Fourier Transform Infrared (FTIR)</i>	19
2.8.2	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM)</i>	19
2.8.3	<i>Zeta Potensial</i>	20
2.9	Parameter Uji.....	21
2.9.1	<i>Biological Oxygen Demand (BOD)</i>	21
2.9.2	<i>Chemical Oxygen Demand (COD)</i>	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1	Lokasi.....	23
3.2	Sampel.....	23
3.3	Variabel Penelitian	23
3.3.1	Variabel Bebas	23
3.3.2	Variabel Terikat	23
3.3.3	Variabel Kendali	23
3.4	Alat dan Bahan.....	24
3.4.1	Alat.....	24
3.4.2	Bahan	24
3.5	Proedur Penelitian	24
3.5.1	Preparasi Limbah Kulit Durian.....	24
3.5.2	Analisis Proksimat	24
3.5.3	Isolasi Selulosa	26
3.5.4	Preparasi Selulosa Kulit Durian-Glutaraldehida.....	27
3.5.5	Pengujian BOD ₅ Air Limbah.....	27
3.5.6	Pengujian COD Air Limbah	27
3.5.7	Uji <i>Jar Test</i>	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		29
4.1.	Preparasi Limbah Kulit Durian.....	29
4.2.	Karakterisasi Kulit Durian	30
4.3.	Isolasi Selulosa.....	31
4.3.1	Pemisahan Zat Pati atau amilum.....	31

4.3.2 Delignifikasi.....	32
4.3.3 <i>Bleaching</i>	35
4.4. Preparasi Seluosa Kulit Durian-Glutaraldehida.....	37
4.5. Analisis <i>Fourier Transform Infrared</i> (FTIR)	38
4.6. Analisis <i>Zeta Potensial</i>	40
4.7. Pengujian SKD dan SKD-glutaraldehida terhadap Air Limbah.....	41
4.7.1 Parameter Awal Limbah	41
4.7.2 <i>Jar Test</i>	42
4.7.3 Analisis BOD ₅	44
4.7.4 Analisis COD	45
4.8. Morfologi Flok.....	47
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	49
5.1. Simpulan	49
5.2. Saran	50
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Baku mutu air limbah industri tapioka.....	6
Tabel 2.2 Komposisi kulit durian.....	10
Tabel 4.1 Kadar proksimat tepung kulit durian kering	30
Tabel 4.2 Hasil proses delignifikasi kulit durian	37
Tabel 4.3 Analisis FTIR dari TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida	39
Tabel 4.4 Hasil pengukuran zeta potensial dari TKD, SKD dan SKD- glutaraldehida	40
Tabel 4.5 Komposisi tepung kulit durian dan flok.....	48

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Diagram alir pembuatan tepung pati aren	7
Gambar 2.2 Limbah cair tepung pati aren.....	9
Gambar 2.3 Struktur selulosa.....	11
Gambar 2.4 Proses delignifikasi	14
Gambar 2.5 Proses pengikatan partikel koloid oleh koagulan.....	15
Gambar 2.6 Proses pengikatan partikel koloid oleh flokulan	17
Gambar 2.7 <i>Jar test</i>	18
Gambar 4.1 Limbah kulit durian.....	30
Gambar 4.2 Proses pemanasan tepung kulit durian	32
Gambar 4.3 Tepung kulit durian hasil hasil penghilangan amilum	32
Gambar 4.4 Proses delignifikasi tepung kulit durian.....	33
Gambar 4.5 Mekanisme reaksi pemutusan lignin	34
Gambar 4.6 Hasil delignifikasi dengan NaOH	34
Gambar 4.7 Proses <i>bleaching</i> tepung kulit durian dengan H ₂ O ₂	35
Gambar 4.8 Proses penguraian lignin oleh H ₂ O ₂	36
Gambar 4.9 Hasil <i>bleaching</i>	37
Gambar 4.10 Hasil preparasi SKD dengan glutaraldehida	38
Gambar 4.11 Spektrum FTIR dari TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida	38
Gambar 4.12 Pengambilan limbah cair tepung pati aren	41
Gambar 4.13 Proses <i>jar test</i>	43
Gambar 4.14 Hasil <i>Jar Test</i>	43
Gambar 4.15 Nilai BOD ₅	44
Gambar 4.16 Nilai COD	45
Gambar 4.17 Morfologi SEM kulit durian dan flok	47

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Perhitungan.....	56
Lampiran 2. Diagram alir kerja.....	58
Lampiran 3. Dokumentasi penelitian	64
Lampiran 4. Pengambilan data penelitian.....	68

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Industri tepung aren di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa Tengah merupakan industri andalan penduduk daerah setempat, dalam proses pembuatannya, industri ini menghasilkan limbah cair dan limbah padat. Limbah cair berasal dari proses penyaringan dan pengendapan tepung aren, sedangkan limbah padat berupa ampas kulit batang aren berasal dari hasil pamarutan dan proses penyaringan pati. Limbah cair yang dikeluarkan oleh pabrik tepung aren di Dukuh Bendo, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten mengandung BOD (*Biological Oxygen Demand*) 2222 mg/liter dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) 5721,5 mg/liter dan menjadi masalah bagi lingkungan sekitarnya, karena pada umumnya industri tepung aren ini mengalirkan limbah cair aren langsung ke badan air tanpa diolah terlebih dahulu, pencemaran ini terus berlangsung karena pengolahan limbah membutuhkan biaya yang relatif besar. Hasil limbah cair mengandung bahan organik berupa pati atau serat baik terlarut maupun partikel tersuspensi. Apabila limbah cair industri ini dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu maka air limbah akan berubah warna menjadi coklat kehitaman dan berbau busuk (said dan Handajani, 2005).

Tanpa adanya proses pengolahan air yang memadai, air yang sudah tercemar dapat membebani bahkan melampaui kesanggupan alam untuk membersihkannya. Proses pengolahan air yang memadai merupakan salah satu kunci dalam memelihara kelestarian lingkungan, Pencemaran utama pada air diakibatkan oleh limbah rumah tangga, limbah industri, dan limbah pertanian. Cemaran tersebut dapat mencemari lingkungan dalam bentuk larutan, koloid, maupun bentuk partikel lainnya. Oleh karena itu, mengingat besarnya dampak yang ditimbulkan bagi lingkungan maka dibutuhkan metode yang tepat untuk mengolah air (Said dan Ruliasih, 2010).

Untuk mendapatkan air bersih, air harus diolah dengan berbagai cara baik secara fisika maupun kimia. Pengolahan air dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti presipitasi, adsorpsi, dan koagulasi. Di antara metode yang ada,

metode koagulasi merupakan salah satu metode yang cukup banyak diaplikasikan pada pengolahan air. Pada metode ini biasanya digunakan suatu koagulan sintetik. Koagulan yang umumnya dipakai adalah garam-garam aluminium seperti aluminium sulfat dan PAC (*poly aluminum chloride*). 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%, konduktivitas 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, buah durian merupakan salah satu jenis buah yang banyak dikonsumsi oleh sebagian orang. Buah durian terdiri dari tiga komponen, yaitu buah, biji dan kulit, limbah paling besar yang dihasilkan dari buah ini yaitu bagian kulitnya, 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).

Berdasarkan latar belakang mengenai limbah cair produksi tepung pati aren yang umumnya langsung dibuang ke sungai tanpa diolah terlebih dahulu sehingga menyebabkan pencemaran lingkungan. Pada bagian lain, 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. Selanjutnya dalam rangka optimalisasi pemanfaatan limbah kulit durian maka dilakukan penelitian dengan judul “Preparasi Koagulan Berbasis

Selulosa Kulit Durian dan Glutaraldehida untuk Proses Pemulihan Limbah Cair Tepung Pati Aren”.

1.1. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut muncul rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana preparasi koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehida?
- b. Bagaimana karakterisasi koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehida?
- c. Bagaimana efektifitas koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehida untuk pemulihan limbah cair tepung pati aren?

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengetahui proses preparasi koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehida
- b. Untuk mengkarakterisasi koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehid
- c. Untuk menentukan keefektifan koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehid dalam pemulihan limbah cair tepung pati aren

1.3. Manfaat

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut:

- a. Memanfaatkan limbah kulit durian yang selama ini di buang ke lingkungan dan menjadikan nilai ekonomis
- b. Mengurangi dampak pencemaran lingkungan akibat pembuangan limbah produksi pati aren dengan pengolahan terlebih dahulu sebelum dibuang ke lingkungan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Air

Air merupakan senyawa kimia yang sangat penting bagi kehidupan umat manusia dan makhluk hidup lainnya dan fungsinya bagi kehidupan tersebut tidak akan dapat digantikan oleh senyawa lainnya. Hampir semua kegiatan yang dilakukan manusia membutuhkan air, mulai dari membersihkan diri (mandi), membersihkan ruangan tempat tinggal, menyiapkan makanan dan minuman sampai dengan aktivitas-aktivitas lainnya.

Dalam jaringan hidup, air merupakan medium untuk berbagai reaksi dan proses ekskresi. Air merupakan komponen utama baik dalam tanaman maupun hewan termasuk manusia. Tubuh manusia terdiri dari 60-70% air. Transportasi zat-zat makanan dalam tubuh semuanya dalam bentuk larutan dengan pelarut air. Juga hara-hara dalam tanah hanya dapat diserap oleh akar dalam bentuk larutannya. Oleh karena itu kehidupan ini tidak mungkin dapat dipertahankan tanpa air.

Sebagian besar keperluan air sehari-hari berasal dari sumber air tanah dan sungai, air yang berasal dari PAM (air ledeng) juga bahan bakunya berasal dari sungai, oleh karena itu kuantitas dan kualitas sungai sebagai sumber air harus dipelihara (Achmad, 2004).

2.2. Baku Mutu Air Limbah Tepung Aren

Menurut peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah, sumber air adalah wadah air yang terdapat di atas dan di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini akuifer, mata air, sungai, rawa, danau, situ, waduk dan muara. Air limbah adalah sisa dari suatu usaha dan kegiatan yang berwujud cair, air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari usaha dan kegiatan pemukiman, rumah makan, perkantoran, perniagaan, apartemen dan asrama, sedangkan baku mutu air limbah adalah ukuran batas atau kadar unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam air limbah yang akan di buang atau dilepas ke dalam media air dari suatu

usaha dan kegiatan. Baku mutu air limbah bagi usaha dan kegiatan industri tapioka ditunjukkan pada Tabel 2.1.:

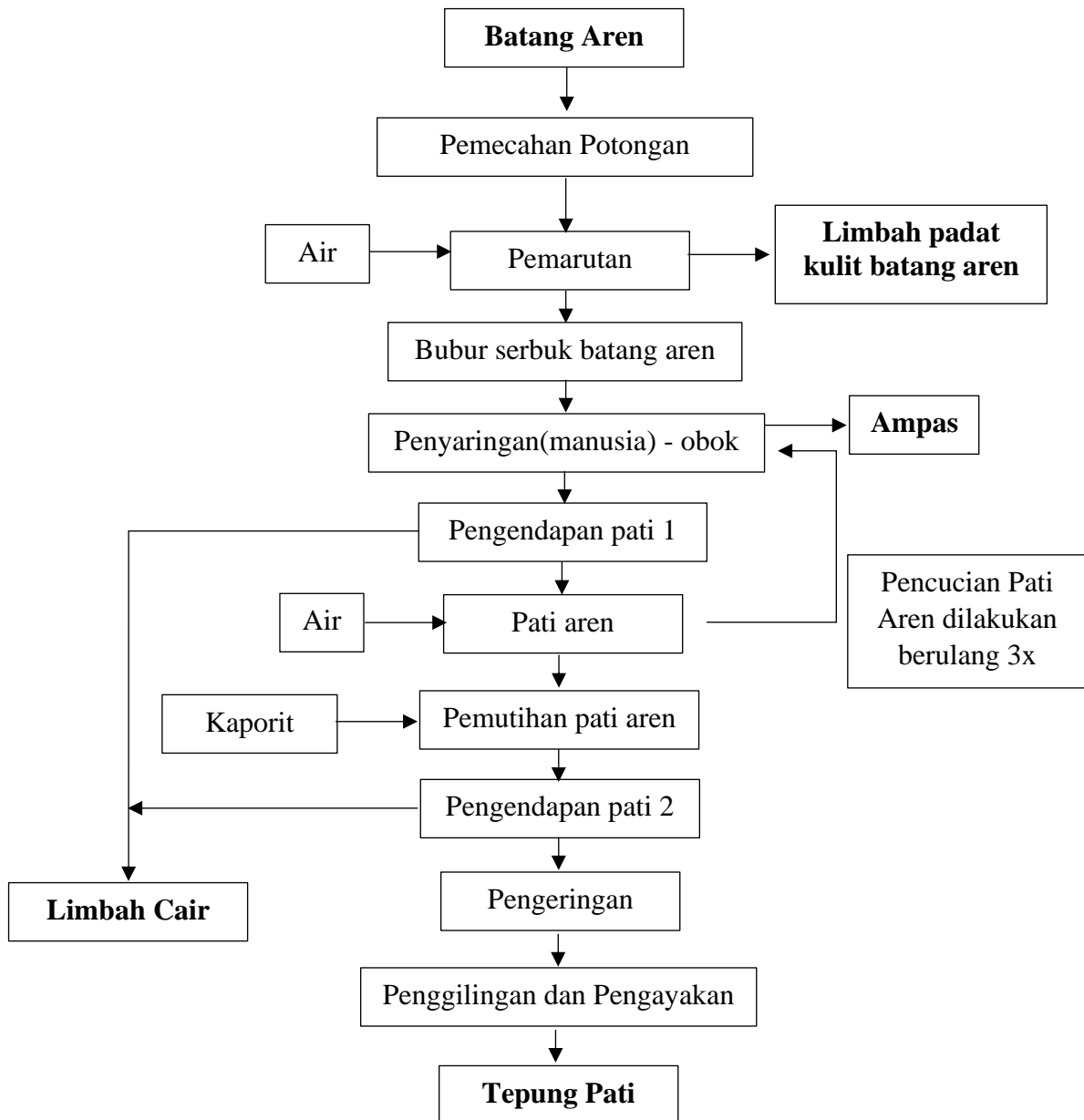
Tabel 2.1. Baku mutu air limbah industri tapioka

Parameter	Kadar Paling Tinggi (mg/L)	Beban Pencemaran Paling Tinggi (Kg/ton)
BOD ₅	150	4,5
COD	300	9
TSS	100	3
Sianida (CN)	0,3	0,009
pH	6,0 – 9,0	
Debit limbah paling tinggi	30 m ³ per ton produk	Tapioka

Limbah aren merupakan hasil sampingan dari proses pengolahan aren menjadi tepung aren. Pengolahan aren ini hanya mengambil 10% dari keseluruhan hasil proses pamarutan batang aren. Sisa pengolahan itu hanya menjadi limbah saja, baik limbah padat maupun limbah cair. Limbah padat yang dihasilkan yaitu berupa ampas atau serat dari parutan batang aren yang dimanfaatkan untuk pengolahan tepung aren. Limbah cair sendiri berasal dari pamarutan/pelepasan pati dari serat dan pengendapan tepung aren. Hasil limbah cair dipastikan mengandung bahan organik berupa pati atau serat baik terlarut maupun partikel tersuspensi. Tingginya bahan organik bergantung pada efisiensi proses pemisahan pati dari air.

Apabila limbah cair industri ini dibuang ke lingkungan tanpa pengolahan terlebih dahulu maka air limbah akan berubah warna menjadi coklat dan berbau busuk. Perubahan disebabkan terjadinya penguraian bahan organik pada kondisi septik dan kadar oksigen dalam genangan air tersebut menjadi nol. Air limbah dapat meresap ke dalam sumur maupun mengalir ke badan air (sungai) di sekitar tempat tersebut. Sebagai akibatnya sumur dan sungai tersebut akan mengalami penurunan kualitas dan tidak layak digunakan sebagai sumber air bersih (Firdayati dan Handajani, 2005).

2.3. Produksi Pati Aren



Gambar 2.1. Diagram Alir Pembuatan Tepung Pati Aren
(Firdayati dan Handajani, 2005)

Aren (*Arenga pinnata wurmb*) merupakan tumbuhan berbiji tertutup dengan biji buahnya terbungkus daging buah. Berdasarkan diagram alir proses pembuatan tepung pati aren yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 dan proses pembuatan tepung pati aren menghasilkan 4 luaran, yaitu limbah padat kulit batang aren, ampas,

limbah cair dan tepung pati aren. Tepung aren dapat digunakan untuk pembuatan aneka produk makanan, terutama produk yang sudah dikenal masyarakat luas, yaitu soun, cendol, bakmi, dan tepung hunk we. Sampai saat ini tepung dari pati batang aren belum dapat disubstitusi. Pembuatan tepung aren dilakukan melalui terlebih dahulu menebang batang pohon aren kemudian dipotong-potong sepanjang 1,25 – 2 meter. Pada industri tradisional, serat tadi dimasukkan ke bak yang dialiri air serta diaduk-aduk dengan cara menginjak-injak untuk memisahkan antara ampas aren dan tepungnya.

Industri tepung aren berada di Dukuh Bendo, Desa Daleman, Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten, Jawa tengah, sekitar 15-18 km ke arah utara kota Klaten. Luas Dukuh Bendo mencapai 61.190 m², dengan jumlah penduduk 1.164 jiwa. Mata pencaharian penduduk terutama adalah dari industri aren mencapai jumlah 35 buah. Industri yang kebanyakan rumahannya tersebut mendapatkan pasokan bahan baku batang pohon aren dari 3 pabrik yang juga berlokasi di dukuh tersebut.

Saat ini, industri tepung aren menghasilkan limbah cair dan limbah padat. Limbah cair berasal dari proses pamarutan/pelepasan pati dari serat dan pengendapan tepung aren. Limbah padat yang berupa serbuk serat aren semula dimanfaatkan oleh industri budidaya jamur di kota Yogyakarta. Namun pada dua tahun terakhir, industri tersebut tidak beroperasi lagi, akibatnya timbunan limbah padat memenuhi bantaran sungai dan daerah sekitar sawah. Lindi dari limbah padat ini mulai mencemari badan air dan sistem irigasi yang ada di daerah tersebut. Dampak yang dirasakan penduduk berupa timbulnya gangguan kulit setelah menggunakan sumber air yang sudah tercemar oleh lindi ampas aren dan juga matinya ikan-ikan pada kolam ikan milik penduduk dan menimbulkan bau yang menyengat khususnya setelah ampas terbasahi oleh hujan (Firdayati dan Handajani, 2005). Proses pengendapan dan limbah cair yang dihasilkan dalam proses pembuatan tepung pati aren ditunjukkan pada Gambar 2.2.



(a)

(b)

Gambar 2.2. Limbah Cair Tepung Pati Aren di Kecamatan Tulung, Kabupaten Klaten (a) Proses Pengendapan (b) Pemisahan Limbah Cair dengan Tepung Pati

2.4. Durian

Durian (*Durio zibethinus Murr*) merupakan salah satu buah tropis asli Indonesia yang jenisnya sangat beragam, termasuk buah Lai tumbuh di Kalimantan yang secara fisik karakternya berbeda dengan durian umumnya (Belgis *et al.*, 2016). Sebagian besar buah durian tidak dibudidayakan, tapi dikumpulkan dari hutan. Lahan pakarangan merupakan tempat budi daya yang paling banyak ditemukan untuk durian, tidak hanya di Indonesia tetapi juga di Negara-negara Asia lainnya, termasuk di Thailand dan Malaysia di mana perkebunan besar durian lazim ditemukan. Durian merupakan salah satu buah yang sangat digemari dan banyak tumbuh di berbagai daerah di Indonesia. Dari sekitar 30 spesies yang ada di dunia, 20 spesies ditemukan di Kalimantan dan 7 spesies di Sumatera. Di Indonesia, produksi durian menempati urutan ke-4 setelah pisang, jeruk dan mangga dengan total produksi berkisar 795.211 ton/tahun (Badan Pusat Statistik, 2017).

Banyak spesies yang sejenis dengan spesies yang dibudidayakan menjadi penting, misalnya *Durio lowianus*, *Durio mansoni*, dan *Durio spp*, yang digunakan untuk program pemuliaan atau sebagai batang bawah. Oleh karena itu, konservasi dan pemanfaatan spesies-spesies tersebut berperan penting dalam peningkatan produktivitas dan kualitas durian (Anupunt *et al.*, 2003). Komposisi dalam kulit durian ditunjukkan pada Tabel 2.2 (Tan *et al.*, 2017).

Tabel 2.2. Komposisi Kulit Durian (*Durio zibethinus Murr*)

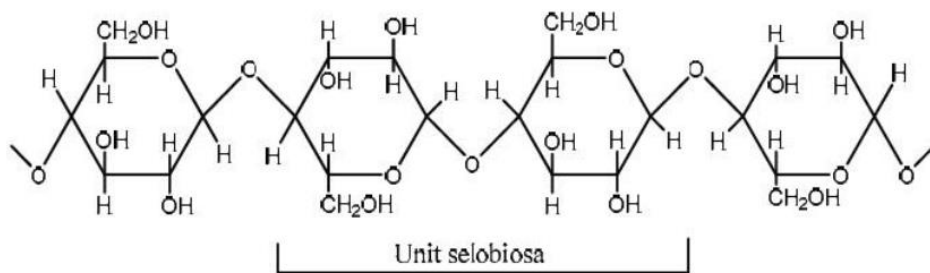
Komposisi dari kulit durian	
Analisis proksimat (% berat dalam keadaan kering)	
Kadar Air	4,96
Volatile Matters	70,28
Karbon tetap	21,65
Abu	3,11
Analisis Uptime (%berat secara kering dan bebas abu)	
Karbon	40,98
Hidrogen	4,44
Nitrogen	1,31
Belerang	0,34
Oksigen	52,93
H/rasio molar C	1,30
O/rasio molar C	0,97
HHV(mj/kg)	13,79
Komposisi kimia (% berat pada basis kering)	
Ekstraktif	11,09
Hemiselulosa	13,01
Selulosa	60,45
Lignin	15,45

Apabila dilihat dari karakteristik bentuk dan sifat-sifat kulitnya, sebenarnya banyak manfaat yang dapat dihasilkan dari kulit buahnya misalnya untuk bahan campuran papan partikel, papan semen, arang briket, arang aktif, filler, campuran untuk bahan baku obat nyamuk dan lain-lain (Hatta dalam Ardiansyah *et al.*, 2014). Selain itu 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).

2.5. Selulosa

Selulosa adalah salah satu komponen kerangka yang paling penting dalam biomassa lignoselulosa yang ketersediaannya di alam tidak pernah habis dan biasanya dimanfaatkan sebagai bahan ramah lingkungan (Huber *et al.*, 2012). Selulosa adalah salah satu sumber lignoselulosa yang paling melimpah dan tersebar

secara luas pada tanaman, beberapa hewan laut, jamur, bakteri, ganggang, invertebrata, dan bahkan amuba (Ohlrogge *et al.*, 2009; Habibi *et al.*, 2010). Selulosa adalah polimer glukosa yang berbentuk rantai linier dan dihubungkan oleh ikatan β -1,4 glikosidik. Struktur yang linier menyebabkan selulosa bersifat kristalin dan tidak mudah larut (Oliveira *et al.*, 2016). Struktur selulosa ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Struktur selulosa (Lehninger, 1993)

Sifat selulosa terdiri dari sifat fisika dan kimia. Selulosa dengan rantai panjang memiliki sifat fisik yang sangat kuat, tahan terhadap degradasi yang disebabkan oleh pengaruh panas, bahan kimia maupun pengaruh biologis. Sifat fisik dari selulosa yang penting ialah panjang, lebar, dan tebal molekulnya. Sifat fisik lain dari selulosa ialah (Fengel dan Wagener, 1995):

- Dapat terdegradasi oleh hidrolisis, oksidasi, fitokimia, maupun secara mekanis sehingga berat molekulnya menurun.
- Tidak larut dalam air maupun pelarut organik, tetapi sebagian larut pada larutan alkali.
- Dalam keadaan kering, selulosa bersifat higroskopis (baik menyerap air), keras, juga rapuh. Jika selulosa mengandung banyak air, maka akan bersifat lunak. Jadi fungsi air disini adalah sebagai pelunak.
- Selulosa dalam kristal memiliki kekuatan lebih baik dibandingkan dengan bentuk amorfnya.

Selulosa dapat diisolasi salah satunya yaitu dari tanaman. Untuk mengoptimalkan pengambilan selulosa dari tanaman perlu dilakukan tahapan untuk mendapatkan selulosa murni yang dipisahkan dari zat pengotornya seperti lignin

dan hemiselulosa. Pemisahan dilakukan pada kondisi optimum untuk mencegah terjadi degradasi terhadap selulosa. Kesulitan yang dihadapi dalam proses pemisahan ini disebabkan oleh:

- a. Berat molekul tinggi
- b. Keasaman sifat antar molekul impurities dengan selulosa itu sendiri
- c. Kristalinitas yang tinggi
- d. Ikatan fisik dan kimia yang kuat

Selama proses isolasi selulosa, peristiwa degradasi akan terjadi yang disebabkan oleh beberapa hal sebagai berikut:

- a. Degradasi oleh hidrolisa asam

Terjadi pada temperatur yang cukup tinggi dan berada pada media asam pada waktu cukup lama. Akibat dari degradasi ini adalah terjadinya reaksi yakni selulosa terhidrolisa menjadi selulosa dengan berat molekul rendah. Keaktifan asam pekat untuk mendegradasi selulosa berbeda-beda.

- b. Degradasi oleh oksidator

Senyawa oksidator sangat mudah mendegradasi selulosa menjadi molekul yang lebih kecil. Hal ini tergantung dari oksidator dan kondisinya. Macam-macam oksidator adalah sebagai berikut:

- Klorin mengoksidasi gugus karboksil dan aldehyd. Oksidasi karboksil menjadi CO_2 dan H_2O , sedangkan oksidasi aldehyd menjadi karboksil dan jika oksidasi diteruskan akan menjadi CO_2 dan H_2O .
- Hipoklorit akan menghasilkan oksidasi selulosa yang mengandung presentase gugus hidroksil tinggi pada kondisi netral/alkali.
- NO_2 mengoksidasi hidroksil primer dari selulosa menjadi karboksil. Oksidasi ini tidak akan memecah rantai selulosa kecuali jika terdapat alkali.

- c. Degradasi oleh panas

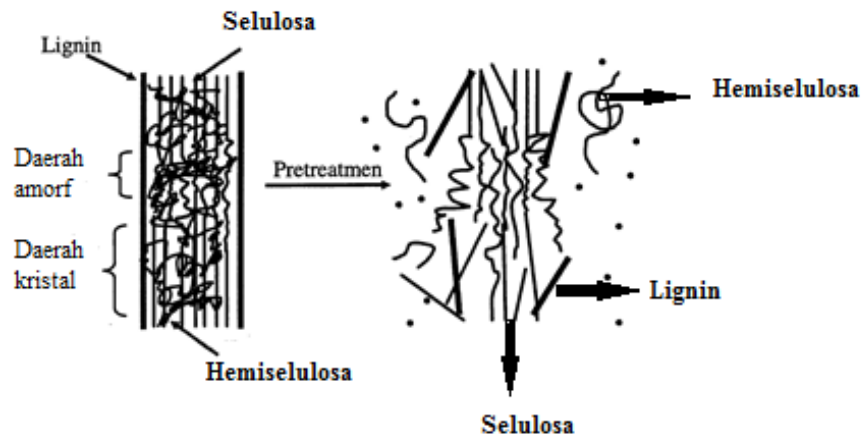
Pengaruh panas lebih besar jika dibandingkan dengan asam dan oksidator. Serat selulosa yang dikeringkan pada temperatur tinggi mengakibatkan hilangnya sebagian higroskopisitasnya (*swelling ability*). Hal ini dikarenakan ada beberapa faktor antara lain:

- Bertambahnya ikatan hidrogen antara molekul selulosa yang berdekatan
- Terbentuknya ikatan rantai kimia diantara molekul selulosa yang berdekatan
- Pemanasan serat pada temperatur sekitar 100°C akan menghilangkan kemampuan mengembang sekitar 50%

Berdasarkan derajat polimerisasi (DP) dan kelarutan dalam senyawa natrium hidroksida (NaOH) 17,5%, selulosa dapat dibagi atas tiga jenis, yaitu (Nuringtyas, 2010):

- a. *α* - selulosa (*alpha cellulose*) adalah selulosa berantai panjang, tidak larut dalam larutan NaOH 17,5% atau larutan basa kuat dengan DP (derajat polimerisasi) 600 – 15000. *α* selulosa dipakai sebagai penduga dan atau tingkat kemurnian selulosa. Selulosa dengan derajat kemurnian $\alpha > 92$ % memenuhi syarat untuk bahan baku utama pembuatan propelan atau bahan peledak. Sedangkan selulosa kualitas dibawahnya digunakan sebagai bahan baku pada industri kertas dan industri kain (serat rayon). Semakin tinggi kadar alfa selulosa, maka semakin baik mutu bahannya.
- b. *β* selulosa (*betha cellulose*) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP (derajat polimerisasi) 15 – 90, dapat mengendap bila dinetralkan.
- c. *γ* selulosa (*gamma cellulose*) adalah selulosa berantai pendek, larut dalam larutan NaOH 17,5% atau basa kuat dengan DP (derajat polimerisasi) kurang dari 15, kandungan utamanya adalah hemiselulosa.

Selulosa dapat dimurnikan melalui dua proses yaitu delignifikasi yang dilanjutkan dengan *bleaching*. Delignifikasi merupakan proses yang bertujuan melarutkan komponen lain dari bahan baku selain selulosa. Melalui delignifikasi diharapkan komponen seperti hemiselulosa, lignin, holoselulosa, dan komponen lain dapat larut sehingga diperoleh selulosa. Larutan NaOH dipilih pada proses delignifikasi karena lignin lebih larut dalam kondisi alkali dan selulosa tidak larut. Selulosa yang didapat dari proses delignifikasi masih berwarna coklat gelap karena masih ada pigmen dan sisa lignin yang masih bercampur dengan selulosa. Pada Gambar 2.4 ditunjukkan proses delignifikasi lignoselulosa.



Gambar 2.4. Proses delignifikasi (Mosier *et al.*, 2005)

Untuk menghilangkan pigmen dan sisa lignin, maka dilakukan proses lanjutan yaitu proses *bleaching*. Setelah proses *bleaching* akan didapatkan selulosa yang berwarna putih bersih dan cerah. Warna putih cerah tersebut menunjukkan bahwa pigmen serta lignin sudah larut sehingga didapatkan selulosa dengan kemurnian yang tinggi (Dewanti, 2018). Selulosa secara alami diikat oleh hemiselulosa dan dilindungi oleh lignin. Adanya senyawa pengikat lignin inilah yang menyebabkan bahan-bahan lignoselulosa sulit dihidrolisa (Badger, 2002).

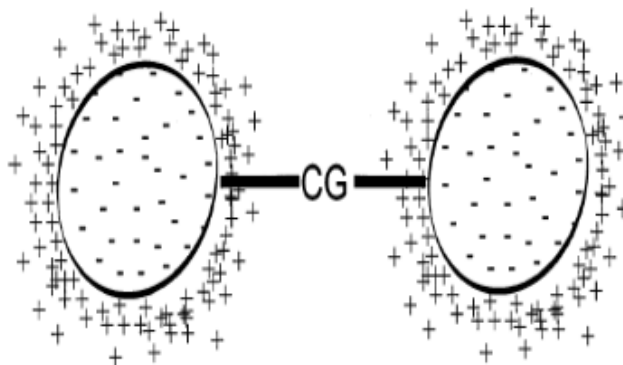
2.6. Koagulasi Flokulasi

Koagulasi flokulasi adalah salah satu proses kimia yang digunakan untuk menghilangkan bahan cemaran yang tersuspensi atau dalam bentuk koloid. partikel-partikel koloid ini tidak dapat mengendap sendiri dan sulit ditangani oleh perlakuan fisik. Pada proses koagulasi, koagulan dan air limbah yang akan diolah dicampurkan dalam suatu wadah atau tempat kemudian dilakukan pengadukan secara cepat agar diperoleh campuran yang merata distribusi koagulannya sehingga proses pembentukan gumpalan atau flok dapat terjadi secara merata pula. Proses flokulasi berlangsung setelah proses koagulasi, pada proses koagulasi kekokohan partikel koloid ditiadakan sehingga terbentuk flok-flok lembut yang kemudian dapat disatukan melalui proses flokulasi. (Eckenfelder, 2000 dalam Risdianto, 2007)

Penggoyahan partikel koloid ini akan terjadi apabila elektrolit yang ditambahkan dapat diserap oleh partikel koloid sehingga muatan partikel menjadi netral. Penetralkan muatan partikel oleh koagulan hanya mungkin terjadi jika muatan partikel mempunyai konsentrasi yang cukup kuat untuk mengadakan gaya tarik menarik antar partikel koloid. Proses flokulasi berlangsung dengan pengadukan lambat agar campuran dapat membentuk flok-flok yang berukuran lebih besar dan dapat mengendap dengan cepat. Keefektifan proses ini tergantung pada konsentrasi serta jenis koagulan dan flokulan, pH dan temperature.

2.6.1. Koagulasi

Koagulasi didefinisikan sebagai proses destabilisasi muatan koloid padatan tersuspensi termasuk bakteri dan virus, dengan suatu koagulan. sehingga akan terbentuk flok-flok halus yang dapat diendapkan, proses pengikatan partikel koloid dapat dilihat pada Gambar 2.5. Pengadukan cepat (*flash mixing*) merupakan bagian integral dari proses koagulasi. Tujuan pengadukan cepat adalah untuk mempercepat dan menyeragamkan penyebaran zat kimia melalui air yang diolah. Koagulan yang umum dipakai adalah aluminum sulfat, feri sulfat, fero sulfat dan PAC.



Gambar 2.5. Proses pengikatan partikel koloid oleh koagulan/CG (Risdianto, 2007).

Proses koagulasi (Gambar 2.7), koagulan dan air limbah akan dicampurkan dalam suatu wadah atau tempat kemudian dilakukan pengadukan secara cepat dalam beberapa saat agar diperoleh campuran yang merata distribusi koagulannya sehingga proses pembentukan gumpalan atau flok dapat terjadi secara merata pula (Sahu dan Chaudhari, 2013).

Faktor-faktor yang mempengaruhi proses koagulasi sebagai berikut:

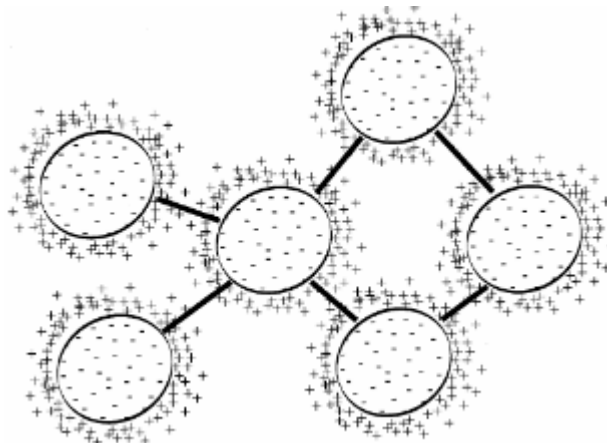
- a. Suhu air. Suhu air yang rendah mempunyai pengaruh terhadap efisiensi proses koagulasi. Bila suhu air diturunkan, maka besarnya daerah pH yang optimum pada proses koagulasi akan berubah dan merubah pembubuhan dosis koagulan.
- b. Derajat Keasaman (pH). Proses koagulasi akan berjalan dengan baik bila berada pada daerah pH yang optimum. Untuk tiap jenis koagulan mempunyai pH optimum yang berbeda satu sama lainnya.
- c. Jenis Koagulan. Pemilihan jenis koagulan didasarkan pada pertimbangan segi ekonomis dan daya efektivitas dari pada koagulan dalam pembentukan flok. Koagulan dalam bentuk larutan lebih efektif dibanding koagulan dalam bentuk serbuk atau butiran.
- d. Kadar ion terlarut. Pengaruh ion-ion yang terlarut dalam air terhadap proses koagulasi yaitu pengaruh anion lebih besar dari pada kation. Dengan demikian ion natrium, kalsium dan magnesium tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap proses koagulasi.
- e. Tingkat kekeruhan. Pada tingkat kekeruhan yang rendah proses destabilisasi akan sukar terjadi. Sebaliknya pada tingkat kekeruhan air yang tinggi maka proses destabilisasi akan berlangsung cepat, Tetapi apabila kondisi tersebut digunakan dosis koagulan yang rendah maka pembentukan flok kurang efektif.
- f. Dosis koagulan. Untuk menghasilkan inti flok yang lain dari proses koagulasi dan flokulasi sangat tergantung dari dosis koagulasi yang dibutuhkan. Bila pembubuhan koagulan sesuai dengan dosis yang dibutuhkan maka proses pembentukan inti flok akan berjalan dengan baik.
- g. Kecepatan pengadukan. Tujuan pengadukan adalah untuk mencampurkan koagulan ke dalam air. Dalam pengadukan hal-hal yang perlu diperhatikan adalah pengadukan harus benar-benar merata, sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat bereaksi dengan partikel-partikel atau ion-ion yang berada dalam air. Kecepatan pengadukan sangat berpengaruh terhadap pembentukan flok bila pengadukan terlalu lambat mengakibatkan lambatnya flok terbentuk

dan sebaliknya apabila pengadukan terlalu cepat berakibat pecahnya flok yang terbentuk.

- h. Alkalinitas. Alkalinitas dalam air ditentukan oleh kadar asam atau basa yang terjadi dalam air, alkalinitas dalam air dapat membentuk flok dengan menghasil ion hidroksida pada reaksi hidrolisa koagulan (Rahimah *et al.*, 2016).

2.6.2. Flokulasi

Flokulasi merupakan proses pembentukan flok, yang pada dasarnya merupakan pengelompokan atau aglomerasi antara partikel dengan koagulan (menggunakan proses pengadukan lambat atau *slow mixing*), Proses pengikatan partikel koloid oleh flokulan dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pada flokulasi terjadi proses penggabungan beberapa partikel menjadi flok yang berukuran besar. Partikel yang berukuran besar akan mudah diendapkan (Risdianto, 2007).



Gambar 2.6. Proses pengikatan partikel koloid oleh flokulan

Tujuan dilakukan flokulasi pada air limbah selain lanjutan dari proses koagulasi adalah (Risdianto, 2007):

- a. Meningkatkan penyisihan *Suspended Solid* (SS) dan BOD dari pengolahan fisik.
- b. Memperlancar proses *conditioning* air limbah, khususnya limbah industri.
- c. Meningkatkan kinerja *secondary clarifier* dan proses lumpur aktif.
- d. Sebagai *pretreatment* untuk proses pembentukan *secondary effluent* dalam filtrasi.

2.7. Jar Test

Untuk mengetahui tingkat kekeruhan suatu sampel air, bisa menggunakan peralatan laboratorium yang bernama *Jar Test*. *Jar test* ini juga dapat digunakan untuk mengetahui kinerja koagulasi dan flokulasi secara simulasi di laboratorium asalkan air yang dilakukan simulasi dengan *jar test* ini adalah air yang benar-benar akan dilakukan pengolahan di lapangan.

Standar ini menetapkan suatu metode pengujian koagulasi flokulasi, termasuk prosedur umum untuk mengevaluasi pengolahan dalam rangka mengurangi bahan-bahan terlarut, koloid, dan yang tidak dapat mengendap dalam air dengan menggunakan bahan kimia dalam proses koagulasi-flokulasi, yang dilanjutkan dengan pengendapan secara gravitasi. Uji koagulasi-flokulasi dilaksanakan untuk menentukan dosis bahan-bahan kimia, dan persyaratan yang digunakan untuk memperoleh hasil yang optimum. Variabel-variabel utama yang dikaji sesuai dengan yang disarankan, termasuk bahan kimia pembantu, pH, temperatur, dan kondisi campuran.

Metode uji ini digunakan untuk mengevaluasi berbagai jenis koagulan dan koagulan pembantu pada proses pengolahan air tanah dan air limbah. Pengaruh konsentrasi koagulan dan koagulan pembantu dapat juga dievaluasi dengan metode ini. Peralatan yang diperlukan terdiri dari batang pengaduk, gelas kimia, rak pereaksi bahan kimia dan bahan pembantu yang digunakan untuk larutan dan suspensi pengujian. Tersedia juga alat yang terintegrasi dan lebih modern yang diperuntukkan khusus pengujian dengan metode *jar test*. Alat *jar test* ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. *Jar Test* (Yuliastri, 2010)

Jar test secara subyektif masih merupakan uji yang paling banyak digunakan dalam mengontrol koagulasi dan tergantung semata-mata kepada penglihatan kita (secara visual) untuk mengevaluasi suatu interpretasi/tafsiran. Penambahan garam aluminium atau garam besi, akan menurunkan pH air, disebabkan oleh reaksi hidrolisis garam tersebut. Koagulasi optimum bagaimanapun juga akan berlangsung pada nilai pH tertentu (pH optimum), pH optimum harus ditetapkan dengan *jar test* (Yuliastri, 2010).

2.8. Karakterisasi Material

2.8.1. *Fourier Transform Infrared (FTIR)*

Spektroskopi FTIR (*Fourier Transform Infrared*) merupakan spektroskopi inframerah yang dilengkapi dengan transformasi Fourier untuk deteksi dan analisis hasil spektrumnya. Inti spektroskopi FTIR adalah interferometer Michelson yaitu alat untuk menganalisis frekuensi dalam sinyal gabungan. Spektrum inframerah tersebut dihasilkan dari pentransmisi cahaya yang melewati sampel, pengukuran intensitas cahaya dengan detektor dan dibandingkan dengan intensitas tanpa sampel sebagai fungsi panjang gelombang. Spektrum inframerah yang diperoleh kemudian diplot sebagai intensitas fungsi energi, panjang gelombang (μm) atau bilangan gelombang (cm^{-1}). Analisis gugus fungsi suatu sampel dilakukan dengan membandingkan pita absorpsi yang terbentuk pada spektrum infra merah menggunakan tabel korelasi dan menggunakan spektrum senyawa pembanding (yang sudah diketahui) (Anam *et al.*, 2007).

2.8.2. *Scanning Electron Microscopy (SEM)*

SEM terdiri dari sebuah senapan elektron yang memproduksi berkas elektron pada tegangan dipercepat sebesar 2 – 30 kV. Berkas elektron tersebut dilewatkan pada beberapa lensa elektromagnetik untuk menghasilkan gambar berukuran $< \sim 10\text{nm}$ pada sampel yang ditampilkan dalam bentuk film fotografi atau ke dalam tabung layar. SEM sangat cocok digunakan dalam situasi yang membutuhkan pengamatan permukaan kasar dengan pembesaran berkisar antara 20 kali sampai 500.000 kali. Sebelum melalui lensa elektromagnetik terakhir *scanning raster* mendeflesikan berkas elektron untuk membaca permukaan sampel. Hasil scan ini tersinkronisasi dengan tabung sinar katoda dan gambar sampel akan tampak

pada area yang dibaca. Tingkat kontras yang tampak pada tabung sinar katoda timbul karena hasil refleksi yang berbeda-beda dari sampel. Sewaktu berkas elektron menumbuk permukaan sampel sejumlah elektron direfleksikan sebagai *backscattered electron* (BSE) dan yang lain membebaskan energi rendah *secondary electron* (SE). Emisi radiasi elektromagnetik dari sampel timbul pada panjang gelombang yang bervariasi tapi pada dasarnya panjang gelombang yang lebih menarik untuk digunakan adalah daerah panjang gelombang cahaya tampak (*cathodoluminescence*) dan sinar-X. Elektron-elektron BSE dan SE yang direfleksikan dan dipancarkan sampel dikumpulkan oleh sebuah *scintillator* yang memancarkan sebuah pulsa cahaya pada elektron yang datang. Cahaya yang dipancarkan kemudian diubah menjadi sinyal listrik dan diperbesar oleh *photomultiplier*. Setelah melalui proses pembesaran sinyal tersebut dikirim ke bagian *grid* tabung sinar katoda. *Scintillator* biasanya memiliki potensial positif sebesar 5 – 10 kV untuk mempercepat energi rendah yang dipancarkan elektron agar cukup untuk mengemisikan cahaya tampak ketika menumbuk *scintillator*. *Scintillator* harus dilindungi agar tidak terkena defleksi berkas elektron utama yang memiliki potensial tinggi. Pelindung metal yang mengandung *metal gauze* terbuka yang menghadap sampel memungkinkan hampir seluruh elektron melalui permukaan *scintillat* (Anggraeni, 2008).

2.8.3. Zeta Potensial

Zeta Potensial adalah parameter muatan listrik antara partikel koloid. Makin tinggi nilai potensial zeta, makin kecil terjadinya flokulasi/ (peristiwa penggabungan koloid dari yang kecil menjadi besar). Dengan mengurangi nilai potensial zeta maka memungkinkan partikel untuk saling tarik menarik dan terjadi flokulasi. *Zeta potensial* adalah area yang menunjukkan adanya beda potensial antara *Stern Layer* dan *Difuse Layer* dari koloid. *Stern Layer* adalah lapisan kuat ion positif yang berdekatan dengan lapisan negatif dari koloid, sedang *Difuse Layer* adalah keseimbangan dinamik antara ion positif dan ion negatif tersebut. Kedua lapisan tersebut digunakan untuk menerangkan distribusi dari ion-ion di sekeliling partikel koloid. Secara teoritis konsep potensial zeta dijelaskan dalam teori DLVO. Teori ini dikembangkan oleh ilmuwan Derjaguin, Verwey, Landau dan Overbeek

bahwa stabilitas dispersi koloid tergantung pada potensial zeta. Potensial zeta menunjukkan tingkatan tolak menolak antara partikel yang bermuatan sama yang saling berdekatan. 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. Jadi koloid dengan dengan nilai potensial zeta tinggi memiliki kestabilan listrik yang tinggi. Sedangkan koloid dengan nilai potensial rendah cenderung akan mengental/ flokulasi (Khoshnevisan dan Barkhi, 2015).

2.9. Parameter Uji

2.9.1. *Biological Oxygen Demand (BOD₅)*

Biological Oxygen Demand atau kebutuhan oksigen biologis adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme di dalam air lingkungan untuk memecah (mendegradasi) bahan buangan organik yang ada di dalam air lingkungan tersebut (Wardhana, 2004).

Konsumsi oksigen dapat diketahui dengan mengoksidasi air pada suhu 20°C selama 5 hari, dan nilai BOD₅ yang menunjukkan jumlah oksigen yang dikonsumsi dapat diketahui dengan menghitung selisih konsentrasi oksigen terlarut sebelum dan setelah inkubasi. Pengukuran 5 hari pada suhu 20°C ini hanya menghitung sebanyak 68% bahan organik yang teroksidasi, tetapi suhu dan waktu yang digunakan tersebut merupakan standar uji karena diperlukan waktu yang lebih lama yaitu mungkin 20 hari, sehingga dianggap tidak efisien. Nilai BOD₅ digunakan untuk memonitor kualitas air dan biodegradasi senyawa organik dalam limbah cair. Jika nilai BOD₅ tinggi berarti konsentrasi oksigen terlarut dalam limbah cair kecil dibawah ambang batas yang diizinkan sehingga mikroorganisme akan mati (Suharto, 2010).

Dampak negatif apabila kandungan oksigen dalam air lingkungan menurun maka kemampuan bakteri untuk memecah bahan buangan organik juga akan menurun. Jika oksigen yang terlarut sudah habis maka bakteri aerobik akan mati semua. Dalam keadaan seperti ini bakteri anaerobik akan mengambil alih tugas untuk memecah bahan buangan yang ada di dalam air lingkungan. Hasil pemecahan

pada kondisi anaerobik pada umumnya berbau tidak enak. Sebagai contoh, amin berbau amis dan anyir, sedangkan H₂S dan komponen fosfor akan berbau busuk. Mengingat akan hal ini air lingkungan yang aerobik jangan sampai berubah menjadi anaerobik (Wardhana, 2004).

2.9.2. Chemical Oxygen Demand (COD)

Chemical Oxygen Demand adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada didalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia (Wardhana, 2004). COD menggambarkan jumlah total oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik secara kimiawi, baik yang dapat didegradasi secara biologis (*biodegradable*) maupun yang sukar didegradasi secara biologi (*non biodegradable*) menjadi CO₂ dan H₂O (Effendi, 2003). Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikroorganisme dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut di dalam air. Nilai COD yang tinggi menunjukkan adanya pencemaran air oleh zat-zat organik yang berasal dari berbagai sumber seperti limbah pabrik, limbah rumah tangga dan sebagainya.

COD jika pada perairan terdapat bahan organik yang resisten terhadap degradasi biologis, misalnya selulosa, tannin, lignin, fenol, polisakarida, benzene dan sebagainya, maka lebih cocok dilakukan pengukuran nilai COD dibandingkan nilai BOD. Penentuan total zat organik dalam air dapat dengan cara tidak langsung yaitu menentukan COD, disebut tidak langsung karena yang ditentukan adalah kebutuhan oksigen untuk mencerna zat organik secara kimiawi. Cara ini masih cukup relevan dan banyak digunakan pada berbagai kepentingan. Dasar penentuan total zat organik adalah dengan mengoksidasi menggunakan oksidator (KMnO₄ atau K₂Cr₂O₇). Banyaknya KMnO₄ atau K₂Cr₂O₇ yang digunakan untuk oksidasi ekuivalen dengan banyaknya total zat organik.

BAB V

KESIMPULAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan diperoleh beberapa simpulan, antara lain:

1. Preparasi koagulan berbasis selulosa kulit durian dan glutaraldehida menghasilkan koagulan SKD dan SKD-Glutaraldehida
2. Karakterisasi koagulan dari limbah kulit durian meliputi: karakterisasi FTIR, *Zeta Potensial* dan Morfologi SEM. Hasil spektrum infra merah (FTIR) dari TKD, SKD dan SKD-glutaraldehida menunjukkan adanya gugus -OH (hidroksil), -CH (karboksil) yang sudah sama dengan hasil dari spektrum 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. Efektifitas koagulan selulosa kulit durian untuk proses pemulihan limbah tepung pati aren yaitu pada penurunan BOD₅ didapatkan dosis paling optimum yaitu dosis 2.5 gr/L dengan nilai 339,97 atau 40,398% dari kandungan limbah awal, sedangkan untuk penurunan COD didapatkan dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 1096,67 atau 40,398% dari kandungan limbah awal. Efektifitas koagulan SKD-glutaraldehida untuk proses pemulihan limbah tepung pati aren yaitu pada penurunan BOD₅ didapatkan dosis paling optimum yaitu dosis 2.5 gr/L dengan nilai 346,16 atau 39,31% dari kandungan limbah awal, sedangkan untuk penurunan COD didapatkan dosis paling optimum yaitu 2.5 gr/L dengan nilai 1116,67 atau 39,31% dari kandungan limbah awal.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil dan simpulan yang diperoleh maka saran yang dapat diberikan sebagai berikut:

1. Menambahkan katalis asam atau basa untuk menguatkan preparasi antara selulosa dan glutaraldehida
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai koagulan bisa digunakan dalam penurunan kekeruhan limbah dan mampu menurunkan kandungan logam yang terdapat dalam limbah.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, R. (2004). *Kimia Lingkungan*. Edisi 1. Yogyakarta: Andi Offset. pp. 15-16
- A, Dwi. A., Pampang, H dan Yunita, L. (2015). Potensi Limbah Kulit Durian Sebagai Bahan Baku Pembuatan Energi Alternatif. *Senatek*, pp. 843–850.
- Abdillah, A.I., Darjito dan Khunur, M.M. (2015). Pengaruh pH dan Waktu Kontak pada Adsorpsi Ion Logam Cd²⁺ Menggunakan Adsorben Kitin Terikat Silang Glutaraldehyd. *Kimia Student*, 1(1), pp. 826–832.
- Anam, C., Sirojudin dan Firdausi, S. (2007). Analisis Gugus Fungsi pada Sampel Uji Bensin dan Spiritus Menggunakan Metode Spektroskopi FTIR. *Berkala Fisika*, 10(1), pp. 79–85.
- Anggraeni, N. D. (2008). Analisa SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dalam Pemantauan Proses Oksidasi Magnetite Menjadi Hematite. Seminar Nasional - VII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin di Industri Kampus ITENAS - Bandung.
- Aniriani, G. W dan Apriliani, N. F. (2017). Perbandingan Yield Neraca Massa Hasil Pretreatment Tiga Jenis Limbah Lignoselulosa Dalam Memproduksi Polisakarida Menggunakan Teknik Kimiawi. *Jurnal Ilmiah Sains*, 17(2), pp. 136–142.
- Anupunt, P., Somsri, S., Chaikiattiyos, S dan Kumcha, U. (2003). Native tropical asian fruits. *Acta Horticulturae*, 620, pp. 151–159. doi:10.17660/ActaHortic.2003.620.15.
- AOAC. (1995). *official methods of analysis of the association of official analytical chemist*. washington. doi: 10.1016/b0-12-765490-9/00006-9.
- Ardiansyah, G., Hamzah, F. dan Efendi, R. (2014). Variasi Tingkat Keasaman Dalam Ekstraksi Pektin Kulit Buah Durian. *Jom Faperta*, 1(2), pp. 1–7.
- Babu, R. dan Chaudhuri, M. (2005). Home water treatment by direct filtration with natural coagulant. *Journal of Water and Health*, pp. 27–30.
- Badan Pusat Statistik. (2017). *Statistik Tanaman Buah-Buahan dan Sayuran Tahunan Indonesia*. Badan Pusat Statistik/BPS-Statistics Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional. (2009). Air dan air limbah - bagian 72 : Cara uji kebutuhan oksigen biokimia (*Biochemical Oxygen Demand*). in *SNI 6968.72:2009*, pp. 1–28.
- Badan Standardisasi Nasional. (2019). Air dan air limbah – Bagian 2: Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dengan refluks tertutup secara spektrofotometri. in *SNI 6989.2:2019*, pp. 1–15.
- Badger, P. C. (2002). *Ethanol from cellulose: A general review*. Trends in new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA, pp. 17–21.

- Backman, L dan Gellerstedt, G. 1993. Reactions of Kraft Pulp with Alkaline Hydrogen Peroxide. In: *Proceedings 7th International Symposium Wood and Pulping Chem*, vol. 1. p. 223.
- Belgis, M., Wijaya, C. H., Apriyantono, A., Kusbiantoro, B dan Yuliana, N. D. (2016). Physicochemical differences and sensory profiling of six lai (*Durio kutejensis*) and four durian (*Durio zibethinus*) cultivars indigenous Indonesia. *International Food Research Journal*, 23(4), pp. 1466–1473.
- Campbell A. (2002). The potential role of aluminium in Alzheimer's disease. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 17, pp. 17–20. doi: 10.1093/ndt/17.suppl_2.17.
- Dewanti, D. P. (2018). Potensi Selulosa dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk Bahan Baku Bioplastik Ramah Lingkungan. *Teknologi Lingkungan*, 19(1), pp. 81–88.
- Effendi, H. 2003. *Telaah Kualitas Air: Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan*. Penerbit: Kanisius. Yogyakarta
- Enrico, B. (2008). Pemanfaatan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) Sebagai Koagulan Alternatif Dalam Proses Penjernihan Limbah Cair Industri tahu. *Thesis*. Universitas Sumatera Utara Medan.
- Fauziah, V. (2015). Pengaruh variasi konsentrasi asam dan waktu hidrolisis terhadap produksi bioetanol dari limbah kulit pisang kepok kuning (*Musa balbisiana* BBB). UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Fengel, D dan Wegener, G. 1995. *Kayu: Kimia, Ultrastruktur, Reaksi-Reaksi*. Terjemahan Hardjono Sastrohamidjojo. Yogyakarta: UGM Press.
- Firdayati, M dan Handajani, M. (2005). Jurnal Studi Karakteristik Dasar Limbah Industri Tepung Aren. *Infrastruktur dan Lingkungan Binaan*, 1(2), pp. 22–29.
- Habibi, Y., Lucia, L. A dan Rojas, O. J. (2010). Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. *Chemical Reviews*, 110(6), pp. 3479–3500. doi: 10.1021/cr900339w.
- 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*. Vol. 3 No. 1, Mei 2013 (23–34), 3(1), p. 34.
- Hidayat, T. A. (2015). Pemanfaatan Limbah Selulosa Dalam Kulit Durian (*Durio Zibethinus*) Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol Melalui Proses Fermentasi *Saccharomyces cerevisiae*. Institut Agama Islam Negeri Palangka Raya.

- Huber, T., Mussig, J., Curnow, O., Pang, S., Bickerton, S dan Staiger, M. P. (2012). A critical review of all-cellulose composites. *Journal Mater Science*, 47, pp. 1171–1186. doi: 10.1007/s10853-011-5774-3.
- Huijgen, W., Harmsen, P., Bermudez, L dan Bakker, R. (2010). Literature Review of Physical and Chemical Pretreatment Processes for Lignocellulosic Biomass. *ECN Biomass, Coal and Environmental Research*.
- Idris, J., Som, A., Musa, M., Halim, K dan Hamid, K. (2012). Dragon Fruit Foliage Plant-Based Coagulant for Treatment of Concentrated Latex Effluent: Comparison of Treatment with Ferric Sulfate. *Journal of Chemistry*, 2013, pp. 1–7.
- Jayanudin (2009). Pemutihan Daun Nanas Menggunakan Hidrogen Peroksida. *Rekayasa Proses*, 3(1), pp. 10–14. doi: 10.22146/jrekpros.560.
- Khoshnevisan, K. dan Barkhi, M. (2015). *Information about Zeta Potential*. Institute of Agricultural Biotechnology, Nano Departement, karaj, Tehran, Iran. doi: 10.13140/RG.2.1.4554.3844.
- Lehninger, A.L. 1993. *Dasar-Dasar Biokimia*. Edisi Ke 3. Terjemahan Maggy Thenawidjaja. Jakarta: Erlangga
- Lestari, P., Titi, N. H., Siti, H. I. L., dan 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.
- Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y. Y., Holtzapple, M dan Ladisch, M. (2005). Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource technology*, 96, pp. 673–86. doi: 10.1016/j.biortech.2004.06.025.
- Muryanto, M., Sudiyani, Y dan Abimanyu, H. (2016). Optimasi Proses Perlakuan Awal NaOH Tandan Kosong Kelapa Sawit untuk menjadi Bioetanol. *Jurnal Kimia Terapan Indonesia*, 18(01), pp. 27–35. doi: 10.14203/jkti.v18i01.37.
- Novia, Utami, I dan 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, Nurhaeni dan Ridhay, A. (2017). Optimasi Kondisi Reaksi Untuk Sintesis Karboksimetil Selulosa (CMC) dari Batang Jagung (*Zea Mays L*). *Kovalen*, 3(2), pp. 112–121.
- Nuringtyas, T. R. 2010. *Karbohidrat*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Ohlrogge, J., Allen, D., Berguson, B., Dellapenna, D., Shachar-hill, Y dan Stymne, S. (2009). Driving on Biomass. *science*, 324, pp. 1019–1020.

- Oliveira, F. B. de., Bras, J., Pimenta, M. T. B., Curvelo, A. A. da S., dan Belgacem, M. N. (2016). Production of cellulose nanocrystals from sugarcane bagasse fibers and pith. *Industrial Crops and Products*. Elsevier B.V., 93, pp. 48–57. doi: 10.1016/j.indcrop.2016.04.064.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup (2014). *Baku Mutu Air Limbah*. Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, 1815.
- Prihatinningtyas, E dan Effendi, A. J. (2013). Natural Coagulant Application from Corn Flour in Clean Water Treatment. *Jurnal Teknosains*, 2(2), pp. 93–102.
- Rahimah, Z., Heldawati, H dan Syauqiah, I. (2016). Pengolahan limbah deterjen dengan metode koagulasi - flokulasi menggunakan koagulan kapur dan PAC. *Konversi*, 5(2), pp. 13–19.
- Ramdja, A. F., Rima A. S dan Novaria S. (2010). Pengaruh Waktu, Temperatur dan Dosis H₂SO₄ Pada Hidrolisa Asam Terhadap Kadar Etanol Berbahan Baku Alang-Alang. *Teknik Kimia*, 17(2), pp. 42–54.
- Retnani, Y., Widiarti, W., Amiroh, I. Herawati, L dan Satoto, K.B. 2009. Daya simpan dan palatabilitas wafer ransum komplit pucuk dan ampas tebu untuk sapi pedet. *Prosiding Media Peternakan*. Bogor. Hlm 130-136.
- Risdianto, D. (2007). Optimisasi Proses Koagulasi Flokulasi untuk Pengolahan Air Limbah Industri Jamu (Studi Kasus PT. Sido Muncul). *Thesis*, Universitas Diponegoro.
- Sahu, O dan Chaudhari, P. (2013). Review on Chemical treatment of Industrial Waste Water. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 17(2), pp. 241–257. doi: 10.4314/jasem.v17i2.8.
- Said, N. I dan Ruliasih (2010). *Pengolahan Air Sungai Skala Rumah Tangga Secara Kontinyu*. Jakarta: BPPT.
- Septevani, A. A., Burhani, D dan Sudiyarmanto, S. (2018). Pengaruh Proses Pemutihan Multi Tahap Serat Selulosa Dari Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Kimia dan Kemasan*, 40(2), pp. 71–78. doi: 10.24817/jkk.v40i2.3508.
- Srebotnik E., K.A. Jensen dan K.E. Hammel. 1994. Fungal degradation of recalcitrant nonphenolic lignin structure without lignin peroxidase. *Proc Natl Acad Sci* 91:12794- 12797
- Suharto, A. (2010). *Limbah Kimia dalam Pencemaran Udara dan Air*. Yogyakarta: Andi offset
- Syahroni, Ahmad. 2011. Studi Proses Bleaching Serat Eceng Gondok Sebagai *Reinforced Fiber*. Pascasarjana, Universitas Diponegoro.
- Tan, Y. L., Abdullah, A. Z dan 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*. Elsevier Ltd, 243, pp. 85–92.
doi: 10.1016/j.biortech.2017.06.015.

Wardhana, W. A. (2004). *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta: Andi offset

Yuliasri, I.R. (2010). Penggunaan Serbuk Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) Sebagai Koagulan dan Flokulan Dalam Perbaikan Kualitas Air Limbah dan Air Tanah. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah.

Yusoff, M. S., Aziz, H. A., Zamri, M. F. M. A., Suja', F., Abdullah, A. Z dan 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.
doi: 10.1016/j.wasman.2018.01.016.