

Biokoagulan berbasis Kulit Pisang Kepok untuk Mereduksi TSS dan COD

Tarikh Azis Ramadani^{1*}, Shinta Dewingga Setiawan², Ulvi Pri Astuti²,
Novi Eka Mayangsari²

¹Program Studi Teknik Bangunan Kapal, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

²Program Studi Teknik Pengolahan Limbah, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

Jalan Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60112, Indonesia

Email: tarikh@ppns.ac.id

Abstrak

Pisang kepok merupakan salah satu makanan yang populer di Indonesia. Pisang kepok memiliki kecenderungan untuk menghasilkan limbah padat yang berdampak negatif terhadap lingkungan. Pemanfaatan kulit pisang kepok sangat penting untuk mengurangi dampak negatifnya dan memberikan nilai tambah untuk memastikan kehidupan yang berkelanjutan dan ekonomi sirkular. Salah satu cara pemanfaatannya adalah dengan mengembangkan koagulan pektin alami dari kulit pisang kepok. Koagulan alami memiliki keunggulan seperti dapat terurai secara hayati, tidak beracun, tidak korosif, menghasilkan lebih sedikit lumpur namun memiliki nilai gizi yang tinggi dan biaya pengolahan lumpur yang minimal jika dibandingkan dengan koagulan kimia. Pektin digunakan sebagai koagulan alami untuk mengontrol total padatan tersuspensi dan *chemical oxygen demand* dalam industri laundry skala kecil. Pektin diekstraksi menggunakan asam klorida dan dikarakterisasi. Karakterisasi pektin menggunakan Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, kandungan pektin, berat ekuivalen, kandungan metoksi, kandungan asam galakturonat, kandungan air, dan derajat esterifikasi. Proses koagulasi dan flokulasi dilakukan dengan memvariasikan dosis koagulan-flokulan dan waktu pengendapan. Kulit pisang kepok telah berhasil dimanfaatkan untuk mendapatkan pektin sebagai koagulan alami. Pektin terbukti efektif dalam menurunkan *chemical oxygen demand* dan *total suspended solid* dalam air limbah industri laundry skala kecil. Meningkatkan dosis pektin dan waktu pengendapan meningkatkan efisiensi penyisihan parameter polutan.

Kata kunci : Flokulasi, Industri laundry, Koagulasi, Kulit pisang kepok, Pektin

Abstract

Kepok Banana Peel-based Biocoagulant for TSS and COD Reduction

Kepok banana is one of the popular foods in Indonesia. It has tendency to create solid waste that hurts the environment. It is crucial to utilize kepok banana peel to mitigate its negative impact and add value to a circular economy. One way of utilization is by developing a natural pectin coagulant from kepok banana peel. Natural coagulants have advantages such as being biodegradable, non-toxic, non-corrosive, producing less sludge but high nutritional value and minimal sludge treatment costs when compared to chemical coagulants. Pectin is used as a natural coagulant to control total suspended solids and chemical oxygen demand in the small-scale laundry industry. Pectin was extracted using hydrochloric acid. Characterization of pectin using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, pectin content, equivalent weight, methoxy content, galacturonic acid content, water content, and degree of esterification. The coagulation and flocculation process were performed by varying the coagulant-flocculant dosage and settling time. Banana kepok peel has been successfully utilized to achieve pectin as a natural coagulant. Pectin proved to be effective in lowering chemical oxygen demand and total suspended solid pollutant characteristics in small-scale laundry industry wastewater. Increasing pectin dosage and settling time enhanced the removal efficiency of pollutant parameters.

Keywords: Coagulation, Flocculation, Kepok banana peel, Laundry industry, Pectin

*)Correponding author

DOI : 10.14710/metana.v21i1.67447

Diterima: 14-10-2024

Disetujui: 28-04-2025

PENDAHULUAN

Pisang merupakan salah satu sumber pangan dan telah dipanen sebanyak 135 juta ton pada tahun 2022 (FAO, 2024). Indonesia merupakan negara tropis dan salah satu negara yang memiliki beragam jenis pisang. Indonesia memiliki sumber daya pisang yang melimpah dimana terdapat 12 spesies liar dan 325 kultivar (Nasution and Yamada, 2001). Salah satu jenis pisang yang ada di Indonesia adalah pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.). Pisang kepok merupakan salah satu bahan pangan yang mudah diolah dan banyak dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Masyarakat Indonesia mengkonsumsi pisang kepok sebesar 24,71 gram per kapita/hari pada tahun 2021 yang diprediksi akan terus meningkat setiap tahunnya (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia., 2022). Sebagian besar pisang kepok hanya dikonsumsi pada bagian mesokarp dan endokarpnya saja, sedangkan kulitnya dibuang dan berakhir sebagai sampah organik. Porsi kulit pisang sekitar dua pertiga dari total berat pisang (Rivadeneira *et al.*, 2020). Hal ini mengakibatkan peningkatan limbah padat organik dan memiliki konsekuensi negatif terhadap lingkungan. Kulit pisang perlu dimanfaatkan untuk mendukung kehidupan yang berkelanjutan dan ekonomi sirkular.

Kulit pisang dapat diolah menjadi beberapa produk yang memiliki nilai jual yang lebih tinggi daripada dibuang ke tempat pembuangan akhir. Produk olahan dari kulit pisang adalah polisakarida, polifenol, minyak atsiri, dan resin (Marić *et al.*, 2018). Pektin merupakan salah satu polimer dari polisakarida yang memiliki nilai gizi dan nilai ekonomi yang tinggi pada kulit pisang kepok. Pektin terdiri dari homogalakturon (HG), rhamnosa-lakturonan I (R-I) dan rhamnogalakturon II (RG-II) serta gula netral (Robledo and Vázquez, 2019). Pektin umumnya ditemukan di lamela tengah dinding sel tanaman dan mengandung 17 monosakarida pada rantai sampingnya (Cui *et al.*, 2020). Pektin ditemukan sebanyak 5-21% pada kulit pisang (Emaga *et al.*, 2008).

Pektin dapat diekstraksi dari limbah kulit pisang kepok dengan metode ekstraksi asam konvensional, yang bergantung pada suhu, pH, sifat pelarut, karakteristik sumber, dan durasi

ekstraksi (Kumar *et al.*, 2023). Proses ekstraksi ini menggunakan suhu antara 50-100 C selama 1-2 jam (Marić *et al.*, 2018). Proses ekstraksi dengan pelarut asam dipengaruhi oleh kemampuannya dalam melarutkan pektin, selektivitas, stabilitas, dan viskositas (Dranca and Oroian, 2018). Kamble *et al.*, (2017) meneliti pengaruh waktu ekstraksi pektin dari serbuk kulit pisang mentah dengan HCL pada suhu 90°C dan pH 2. Pada penelitian tersebut, suhu ekstraksi 90°C, pH 2, dan waktu ekstraksi 4 jam menghasilkan 13% pektin (Kamble, Gawande and Patil, 2017). Khamsucharit *et al.*, (2018) melakukan proses ekstraksi pektin dari kulit pisang dengan 5 varietas yang berbeda dengan menggunakan larutan asam sitrat. Penelitian ini menghasilkan pektin hingga 24,08% (Khamsucharit *et al.*, 2018). Tanaid dan Lauzon, (2018) melakukan proses ekstraksi pektin dari kulit pisang kepok dengan melihat variasi waktu ekstraksi, suhu, dan rasio pelarut terhadap kulit pisang kepok. Pektin yang dihasilkan sebesar 13,25% pada waktu ekstraksi 88 menit, suhu 95 C, dan rasio pelarut terhadap kulit pisang kepok sebesar 28:1 (Tanaid and Lauzon, 2018). Picauly & Tetelepta (2021) meneliti pengaruh suhu proses ekstraksi untuk mengekstrak pektin dari kulit pisang tongka langit. Penelitian ini menghasilkan 9,2% pektin pada suhu 90 C selama 2 jam dengan menggunakan 0,1 N HCl (Picauly & Tetelepta, 2021).

Pektin biasanya digunakan dalam industri makanan, kosmetik, farmasi, dan tekstil. Selain itu, pektin juga dapat diaplikasikan sebagai koagulan alami dalam proses pengolahan air (Cui *et al.*, 2020). Koagulan alami merupakan alternatif dari koagulan berbasis kimia seperti tawas, besi klorida, dan poli aluminium klorida. Koagulan berbasis kimia memiliki kemampuan yang efektif untuk mengurangi parameter polutan, tetapi hal ini dikompensasi oleh produk lumpur yang berlebih dan tidak dapat terurai secara hayati (Carvalho *et al.*, 2016). Koagulan berbasis kimia juga tidak berkelanjutan. Koagulan alami memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan koagulan berbasis kimia seperti dapat terurai secara hayati, tidak beracun, tidak korosif, menghasilkan lebih sedikit lumpur namun memiliki nilai gizi yang tinggi dan biaya pengolahan lumpur yang minimal (Choy *et al.*, 2014).

Industri laundry menghasilkan polutan seperti *total suspended solid* dan *chemical oxygen demand* yang membahayakan lingkungan. Parameter pencemar dapat direduksi dengan berbagai macam teknologi salah satunya adalah proses koagulasi-flokulasi. Proses koagulasi-flokulasi biasanya menggunakan koagulan berbasis kimia. Penggunaan koagulan alami dalam teknologi koagulasi dapat meningkatkan proses pengolahan air, sehingga menghasilkan lumpur yang lebih aman bagi lingkungan dan berkelanjutan. Alwi *et al.*, (2013) menggunakan koagulan alami dari batang pisang dalam koagulasi air limbah pendingin. Penelitian ini memvariasikan pH dan dosis koagulan. Penelitian ini menurunkan parameter kekeruhan, padatan tersuspensi, dan *chemical oxygen demand* sebesar 98,5%, 88,6%, dan 80,1% pada pH 7 dan dosis 90 mL (Alwi *et al.*, 2013). Kakoi *et al.*, (2016) mengevaluasi penggunaan koagulan alami yang terbuat dari bonggol pisang untuk menurunkan kekeruhan, total padatan tersuspensi, dan *chemical oxygen demand* di sungai yang tercemar. Koagulan alami tersebut disimpulkan memiliki potensi sebagai pengganti koagulan berbasis logam konvensional (Kakoi *et al.*, 2016). Maurya dan Daverey, (2018) menyelidiki pengaruh koagulan alami dari bubuk kulit pisang dalam proses koagulasi. Penelitian ini memvariasikan dosis untuk meminimalkan parameter kekeruhan, total padatan tersuspensi, dan *chemical oxygen demand*. Penelitian ini menunjukkan dosis koagulan terbaik pada 0,4 mg/L (Maurya and Daverey, 2018). Chitra dan Muruganandam, (2019) meneliti tentang penggunaan kulit pisang sebagai koagulan alami untuk mengolah air limbah. Pada penelitian ini, pengaruh pH, kecepatan pengadukan, waktu pengadukan, dan dosis koagulan divariasikan. Koagulan dari kulit pisang terbukti efektif dalam mengurangi kekeruhan dan *chemical oxygen demand*. Koagulan kulit pisang digunakan sebagai pengganti koagulan kimia (Chitra and Muruganandam, 2019).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pektin yang terkandung dalam pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) dapat diaplikasikan sebagai koagulan alami untuk menurunkan parameter pencemar dalam air limbah. Penelitian ini memiliki tujuan untuk memanfaatkan pektin dari kulit pisang kepok sebagai koagulan alami untuk

mengolah parameter total padatan tersuspensi dan *chemical oxygen demand* pada air limbah industri laundry skala kecil. Pektin dikarakterisasi menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR), kandungan pektin, berat ekuivalen, kandungan metoksi, kandungan asam galakturonat, kadar air, dan derajat esterifikasi. Proses koagulasi akan dilakukan dengan variasi dosis dan waktu pencampuran.

METODOLOGI

Bahan utama yang digunakan sebagai koagulan alami adalah kulit pisang kepok (*Musa paradisiaca* L.) yang diperoleh dari limbah pasar lokal di Surabaya, Jawa Timur, Indonesia. Kulit pisang dibersihkan, dijemur di bawah sinar matahari selama 2 hari, dan dikeringkan dengan oven selama 1 jam pada suhu 100°C. Kulit pisang dihaluskan dan diayak dengan ayakan 100 mesh.

Serbuk kulit pisang kepok dimasukkan ke dalam rangkaian alat ekstraksi dengan larutan asam klorida dengan perbandingan 1:20 (b/v). Proses ekstraksi diatur pada kondisi pH 1,5 dan suhu 80 °C selama 80 menit. Hasil ekstraksi disaring menggunakan kertas saring dan cairan hasil ekstraksi diuapkan hingga menjadi setengah dari volume awal. Larutan hasil evaporasi ditambahkan etanol 96% dengan perbandingan 1:1, diaduk hingga terbentuk endapan dan diendapkan selama 21 jam. Endapan disaring menggunakan kertas saring dan dicuci hingga bebas asam. Endapan pektin dikeringkan dalam oven pada suhu 80°C selama 1 jam (Husnawati, Astutik and Ambarsari, 2020).

Koagulan pektin dikarakterisasi menggunakan *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) untuk menentukan gugus fungsi pektin. Kadar pektin, berat ekuivalen, kadar metoksi, kadar asam galakturonat, kadar air, dan derajat esterifikasi dilakukan untuk menentukan kualitas koagulan alami.

Proses koagulasi dan flokulasi dilakukan di dalam alat *jar test* pada suhu kamar. Mekanisme proses koagulasi-flokulasi diilustrasikan pada Gambar 2. Air limbah industri laundry yang digunakan sebanyak 1000 mL. Sampel air limbah diambil dari sebuah industri laundry kecil di Surabaya. Teknik pengambilan sampel mengacu pada SNI 6989.59:2008 yang dilakukan secara grab sampling. Proses pengambilan sampel

menggunakan wadah HDPE. Sampel ditempatkan di dalam freezer yang suhu kerjanya dikontrol pada suhu 4°C. Dosis koagulan pektin yang digunakan adalah 5-7 mg/L. Proses dilakukan dengan pengadukan cepat dengan kecepatan 150 rpm selama 1 menit, dilanjutkan dengan pengadukan lambat dengan kecepatan 30 rpm selama 15 menit, dan proses sedimentasi selama 15 dan 30 menit. Hasil dari proses koagulasi kemudian dianalisis kandungan *total suspended solid* dan *chemical oxygen demand* (Sari, 2018).

Parameter polutan dalam air limbah industri laundry dianalisis sebanyak dua kali, yaitu sebelum dan sesudah proses koagulasi dan flokulasi. Parameter *chemical oxygen demand* dianalisis berdasarkan SNI 06-6989.2-2019 dengan refluks tertutup secara spektrofotometri, sedangkan *total suspended solid* dianalisis berdasarkan SNI 06-6989.3-2019 dengan metode gravimetri. Efisiensi proses digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan proses koagulasi dan flokulasi. Efisiensi proses koagulasi dan flokulasi dihitung berdasarkan

$$\text{Efisiensi Penyisihan (\%)} = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

C_0 adalah konsentrasi awal dari parameter polutan, sedangkan C_t adalah konsentrasi akhir dari parameter polutan setelah proses koagulasi-flokulasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses koagulasi-flokulasi digunakan untuk mengurangi parameter total padatan tersuspensi dan *chemical oxygen demand* dalam air limbah industri laundry. Dosis dan waktu pengendapan digunakan untuk menilai keefektifan proses

koagulasi-flokulasi. Konsentrasi awal air limbah industri laundry disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konsentrasi Awal Air Limbah

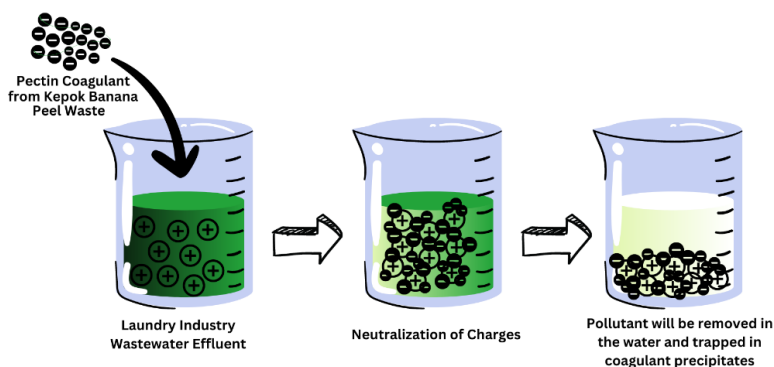
Parameter	Konsentrasi (mg/L)
<i>Total Suspended Solid</i>	179
<i>Chemical Oxygen Demand</i>	2427,2

Karakterisasi Bahan

Proses karakterisasi pektin dilakukan dengan mengamati karakteristik kimiawi yang akan mempengaruhi karakteristik pektin dan kualitas pektin. *International Pectin Producers Association* (IPPA) memberikan informasi mengenai standar mutu untuk mengevaluasi kualitas pektin (Susanti *et al.*, 2021). Tabel 2 menyajikan hasil kualitas pektin.

Pada penelitian ini, rendemen yang dihasilkan adalah 10,13%. Proses ekstraksi yang berjalan pada pH rendah menyebabkan terganggunya ikatan hidrogen dan ester yang terdapat pada pektin dan dinding sel. Hal ini menyebabkan laju difusi pektin dan pelarut menjadi terbatas (Mamiru and Gonfa, 2023).

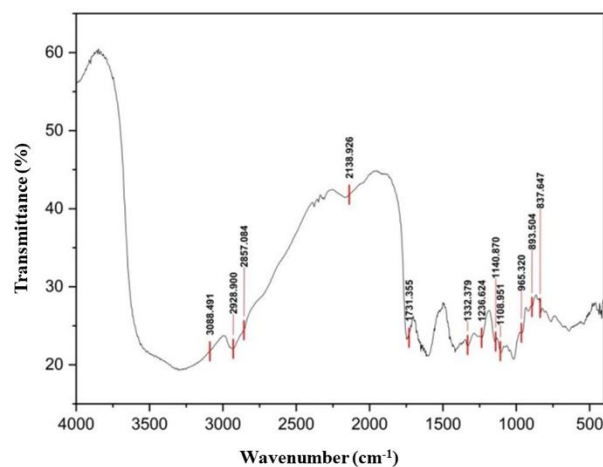
Kadar air pektin yang dihasilkan dari kulit pisang kepok adalah 6,773%. Nilai ini sesuai dengan standar mutu IPPA, yaitu maksimal 12%. Kadar air yang rendah meningkatkan waktu penyimpanan dan menurunkan tingkat kerentanan terhadap aktivitas mikrobiologi (Mamiru and Gonfa, 2023). Hasil serupa juga didapatkan oleh Khamsucharit *et al.*, 2018 dengan mendapatkan nilai 4,5-6,4% untuk sampel dari buah pisang (Khamsucharit *et al.*, 2018).



Gambar 1. Mekanisme Proses Koagulasi dan Flokulasi

Tabel 2. Kualitas Pektin

Parameter	Hasil	Standart Kualitas
<i>Rendemen</i>	10,13 %	-
Kadar air	6,773 %	Maksimal 12 %
Berat ekuivalen	5010 mg/mol	Minimum 400 mg/mol
Kandungan metoksil	1,238 %	Kandungan metoksi tinggi jika nilainya lebih dari 7,12% dan rendah jika nilainya antara 2,5% - 7,12%
Derajat asam galakturonat	42,156 %	Minimum 35 %
Tingkat esterifikasi	16,67 %	Pektin metoksi tinggi jika nilainya lebih dari 50% dan rendah jika nilainya kurang dari 50%

**Gambar 2.** Spektrum FTIR Pektin Kulit Pisang Kepok

Kadar air pektin yang dihasilkan dari kulit pisang kepok adalah 6,773%. Nilai ini sesuai dengan standar mutu IPPA, yaitu maksimal 12%. Kadar air yang rendah meningkatkan waktu penyimpanan dan menurunkan tingkat kerentanan terhadap aktivitas mikrobiologi (Mamiru and Gonfa, 2023). Hasil serupa juga didapatkan oleh Khamsucharit *et al*, 2018 dengan mendapatkan nilai 4,5-6,4% untuk sampel dari buah pisang (Khamsucharit *et al*, 2018).

Berat ekuivalen mengacu pada jumlah asam galakturonat bebas yang ada dalam pektin. Berat ekuivalen pektin yang diekstrak dari kulit pisang kepok adalah 5010 mg/mol yang berada di atas standar IPPA yaitu 400 mg/mol. Berat ekuivalen dipengaruhi oleh kondisi selama proses ekstraksi pektin dan jumlah asam bebas yang ada di dalam kulit pisang kepok. Berat ekuivalen yang lebih tinggi berkontribusi pada sifat pembentuk gel yang lebih tinggi pada pektin (Mamiru and Gonfa, 2023). Nilai berat ekuivalen pada penelitian ini

adalah 5 g/mol, lebih rendah jika dibandingkan dengan Khamsucharit *et al*, (2018), yang memiliki kandungan pektin pada pisang sebesar 43-1456 g/mol (Khamsucharit *et al*, 2018).

Kandungan metoksi mengacu pada jumlah metanol yang terkandung dalam pektin. Asam metoksi memainkan peran sentral dalam struktur dan tekstur pektin yang seperti gel. Pektin dibagi menjadi dua kelompok yaitu pektin dengan kandungan metoksi tinggi yang memiliki nilai lebih dari 7,12% dan pektin dengan kandungan metoksi rendah dengan nilai 2,5% - 7,12%. Pektin dengan kandungan metoksi yang lebih tinggi meningkatkan kemampuannya untuk mengental dalam suatu media (Susanti *et al*, 2021). Ekstrak dengan kandungan metoksi yang tinggi merupakan ekstrak yang termetilasi tinggi, sehingga memiliki muatan yang rendah sedangkan jika ekstrak memiliki kandungan metoksi yang rendah maka ekstrak tersebut kurang termetilasi, sehingga memiliki muatan

yang lebih tinggi (Mamiru and Gonfa, 2023). Kandungan metoksi yang dihasilkan dari limbah kulit pisang kepok memiliki nilai 1,238% dan tidak sesuai dengan standar IPPA. Nilai tersebut memiliki kadar yang lebih rendah jika dibandingkan dengan Khamsucharit *et al.*, 2018 yang memiliki kadar metoksi pada pisang sebesar 3,86-5,97% (Khamsucharit *et al.*, 2018).

Tingkat asam galakturonat berkorelasi dengan kemurnian pektin (Paasikallio, Huuskonen and Wiebe, 2017). Kadar asam galakturonat yang tinggi mengakibatkan rendahnya kadar bahan anorganik dalam pektin. Pada penelitian ini, kadar asam galakturonat yang diperoleh sebesar 42,156%. Nilai yang diperoleh telah memenuhi kualitas yang ditetapkan oleh IPPA yaitu minimal 35%.

Derajat esterifikasi mengacu pada jumlah residu asam D-galakturonat dimana etanol teresterifikasi dengan gugus karboksil. Semakin tinggi derajat esterifikasi, semakin tinggi kemampuan pektin untuk menjadi gel. Derajat esterifikasi dibagi menjadi dua kelompok, yaitu derajat esterifikasi tinggi dan derajat esterifikasi rendah. Jika derajat esterifikasi lebih besar dari 50% disebut pektin metoksi tinggi, sedangkan kurang dari 50% disebut pektin metoksi rendah (Mamiru and Gonfa, 2023). Pektin dari kulit pisang kepok memiliki nilai derajat esterifikasi sebesar 16,67% dan tergolong pektin metoksi rendah. Nilai pektin pada penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian Khamsucharit *et al.* (2017) dengan nilai 63,15-72,03% (Khamsucharit *et al.*, 2018).

Fourier-Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) digunakan untuk menyelidiki gugus fungsi dalam pektin. *Fourier-Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) pektin kulit pisang kepok diilustrasikan pada Gambar 2. Pektin menunjukkan adanya regangan O-H dari molekul air pada panjang gelombang 3085,413 cm^{-1} . Puncak antara 3600 cm^{-1} hingga 3100 cm^{-1} berhubungan dengan peregangan O-H dari serapan ikatan hidrogen asam galakturonat (Dimopoulou *et al.*, 2019). Adanya vibrasi peregangan CH dari -CH, -CH₂, dan -CH₃, asam galakturonat yang mengandung metil ester pada komponen polisakarida ditunjukkan pada bilangan gelombang 2928,9 cm^{-1} (Liu *et al.*, 2010). Gugus karbonil teresterifikasi (-COOCH₃) dan gugus karboksilat bebas (-COOH) dari C=O

ditemukan pada puncak spektrum pada 1747,51 cm^{-1} dan 1625 cm^{-1} (Dimopoulou *et al.*, 2019). Pita vibrasi regangan C-O-H muncul pada puncak spektrum 1330,085 cm^{-1} . Pita vibrasi regangan asimetris gugus C-O-C dan gugus metoksi (-O-CH₃) ditemukan pada lokasi spektrum 1235,661 cm^{-1} (Liu *et al.*, 2010).

Pektin dari kulit pisang kepok dapat digunakan sebagai koagulan karena terbukti mengandung banyak gugus fungsi seperti hidroksil, karboksilat, dan eter serta tergolong polielektrolit anionik. Gugus karboksil (-COOH) dan gugus hidroksil (-OH) yang terkandung dalam pektin dapat meningkatkan efisiensi proses koagulasi-flokulasi. Gugus hidroksil (-OH) membantu proses adsorpsi pada permukaan partikel kontaminan dan menjembatani antar polutan dalam air limbah (Kenea *et al.*, 2023).

Pengaruh dosis pektin dan waktu pengendapan terhadap *Chemical Oxygen Demand*

Dosis koagulan dan waktu pengendapan merupakan faktor kunci dalam penghilangan *chemical oxygen demand*. Tabel 3 menunjukkan hasil pengurangan *chemical oxygen demand* dengan berbagai dosis dan waktu pengendapan. Hasil efisiensi penurunan *chemical oxygen demand* cenderung berfluktuasi pada hasil penyisihan. Efisiensi penyisihan tertinggi sebesar 44,89% diperoleh pada dosis 7 mg/L dengan waktu pengendapan 15 menit. Hal serupa juga terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Kenea *et al.*, (2023) dimana terjadi penurunan penyisihan *chemical oxygen demand* seiring dengan bertambahnya waktu pengendapan (Kenea *et al.*, 2023). Peningkatan dosis koagulan berpengaruh pada proses koagulasi-flokulasi dalam penyisihan *chemical oxygen demand*. Namun, jika kita meningkatkan dosis dan lama waktu pengendapan, hal ini akan memberikan efek yang berlawanan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan bahan organik di dalam air dan waktu interaksi antara bahan organik dan mikroorganisme. Bahan-bahan organik ini mengalami proses degradasi oleh organisme yang berdampak negatif pada efisiensi penyisihan *chemical oxygen demand* (Maurya and Daveray, 2018; Owodunni and Ismail, 2021; Susanti *et al.*, 2021).

Pengaruh dosis pektin dan waktu pengendapan terhadap *Total Suspended Solid*

Investigasi dilakukan untuk meminimalkan konsentrasi *total suspended solid* dengan memvariasikan dosis pektin dan waktu pengendapan. Tabel 4 menunjukkan hasil pengurangan *total suspended solid* untuk berbagai dosis dan waktu pengendapan. Efisiensi pengurangan *total suspended solid* cenderung meningkat dengan meningkatnya dosis dan waktu pengendapan. Dosis 7 mg/L dan waktu pengendapan 15 menit menghasilkan efisiensi tertinggi untuk *total suspended solid* dengan efisiensi 90,45%. Hal yang sebaliknya terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Kakoi *et al.*, (2016) dan Maurya dan Daverey, (2018). Kakoi *et al.*, (2016) melaporkan adanya penurunan efisiensi dari 45,45% menjadi 8% ketika dosis ditingkatkan dari 1 gram/L menjadi 2 gram/L dengan menggunakan koagulan serbuk kulit pisang (Kakoi *et al.*, 2016). Maurya dan Daverey, (2018) menggunakan koagulan batang pisang untuk menurunkan efisiensi dari 98,5% menjadi 93%

ketika dosis ditingkatkan dari 0,1 kg / m³ menjadi 1 kg / m³ (Maurya and Daverey, 2018). Dosis merupakan salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses koagulasi-flokulasi. Parameter polutan dihilangkan dalam proses koagulasi dengan netralisasi muatan dan destabilisasi. Jika dosis koagulasi-flokulasi melebihi dosis yang dibutuhkan pada proses destabilisasi, maka akan terjadi destabilisasi sehingga efisiensi penyisihan menurun (Daud *et al.*, 2023).

Mekanisme Koagulasi-Flokulasi

Proses koagulasi-flokulasi digunakan untuk menghilangkan partikel-partikel yang tidak stabil di dalam air melalui netralisasi muatan saat konsentrasi padatan meningkat sebanding dengan laju agregasi. *Bridging*, netralisasi muatan, *sweep coagulation*, dan kompresi lapisan ganda elektrik partikel koloid bermuatan adalah beberapa proses yang terjadi ketika menggunakan koagulan alami dalam proses koagulasi-flokulasi. Pektin yang tergolong dalam polielektrolit anionik memiliki kemampuan yang lebih rendah

Tabel 3. Penurunan Konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* terhadap Variasi Dosis Pektin dan Waktu Pengendapan

Dosis	Waktu	Hasil	
		Konsentrasi akhir	Efisiensi
5 mg/L	15 menit	2106,7 mg/L	13,2 %
6 mg/L	15 menit	1839,2 mg/L	24,23 %
7 mg/L	15 menit	1337,6 mg/L	44,89 %
5 mg/L	30 menit	1705,4 mg/L	29,74 %
6 mg/L	30 menit	2073,3 mg/L	14,58 %
7 mg/L	30 menit	2290,2 mg/L	5,74 %

Tabel 4. Penurunan Konsentrasi *Total Suspended Solid* terhadap Variasi Dosis Pektin dan Waktu Pengendapan

Dosis	Waktu	Hasil	
		Konsentrasi akhir	Efisiensi
5 mg/L	15 menit	21 mg/L	88,27 %
6 mg/L	15 menit	17,3 mg/L	90,34 %
7 mg/L	15 menit	17,1 mg/L	90,45 %
5 mg/L	30 menit	17,5 mg/L	90,22 %
6 mg/L	30 menit	17,4 mg/L	90,28 %
7 mg/L	30 menit	17,2 mg/L	90,39 %

dibandingkan dengan polielektrolit kationik. Muatan yang terdapat pada polimer dan partikel polutan akan menghasilkan tarikan elektrostatis, proses penyerapan yang kuat terhadap partikel polutan, dan kemudian proses pembalikan muatan melalui netralisasi pada permukaan partikel polutan. Partikel-partikel ini akan saling bertemu satu sama lain untuk membentuk flok dan dapat dihilangkan setelah proses netralisasi (Bolto and Gregory, 2007). Fenomena *sweep coagulation/flocculation* terjadi ketika pektin sebagai koagulan alami dicampurkan dalam air limbah sehingga koagulan akan mengendap dalam bentuk endapan hidroksil dan partikel-partikel koloid yang terlarut dalam air akan terangkat di dalam air dan terperangkap di dalam endapan koagulan. Efisiensi maksimum dapat diperoleh ketika kondisi optimum untuk masing-masing faktor yang mempengaruhi telah tercapai. Pada kondisi ini, perubahan faktor operasi tidak akan mempengaruhi proses koagulasi-flokulasi. koagulan yang tidak stabil dan berlebih sehingga tidak menarik partikel lain akan distabilkan kembali selama proses restabilisasi (Daud *et al.*, 2023).

KESIMPULAN

Pektin sebagai koagulan alami telah berhasil diekstrak dari kulit pisang kepok. Kondisi terbaik yang diperoleh adalah pada dosis 7 mg/L dengan waktu pengendapan 15 menit. Efisiensi tertinggi *total suspended solid* dan *chemical oxygen demand* tertinggi yaitu 90,45% dan 44,89%. Efisiensi tertinggi *total suspended solid* dan *chemical oxygen demand* tertinggi yaitu 90,45% dan 44,89%. Peningkatan dosis pektin dapat meningkatkan efisiensi penyisihan parameter pencemar. Pektin dapat digunakan sebagai alternatif bahan kimia yang ramah lingkungan untuk menurunkan parameter pencemar khususnya pada air limbah industri laundry.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwi, H., Idris, J., Musa, M. and Ku Hamid, K.H., 2013. A preliminary study of banana stem juice as a plant-based coagulant for treatment of spent coolant wastewater. *Journal of Chemistry*, 2013(1): p.165057. <https://doi.org/10.1155/2013/165057>.
- Bolto, B. & Gregory, J. 2007. Organic polyelectrolytes in water treatment. *Water Research*, 41(11): 2301–2324. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.03.012>.
- Carvalho, M.S., Alves, B.R.R., Silva, M.F., Bergamasco, R., Coral, L.A. & Bassetti, F.J., 2016. CaCl₂ applied to the extraction of Moringa oleifera seeds and the use for Microcystis aeruginosa removal. *Chemical Engineering Journal*, 304: 469–475. <https://doi.org/10.1016/J.CEJ.2016.06.101>.
- Chitra, D. & Muruganandam, L. 2019. Performance of Natural Coagulants on Greywater Treatment. *Recent Innovations in Chemical Engineering (Formerly Recent Patents on Chemical Engineering)*, 13(1): 81–92. <https://doi.org/10.2174/2405520412666190911142553>.
- Choy, S.Y., Prasad, K.M.N., Wu, T.Y., Raghunandan, M.E. & Ramanan, R.N., 2014. Utilization of plant-based natural coagulants as future alternatives towards sustainable water clarification. *Journal of environmental sciences*, 26(11): 2178–2189. <https://doi.org/10.1016/J.JES.2014.09.024>.
- Cui, H., Huang, X., Yu, Z., Chen, P. & Cao, X., 2020. Application progress of enhanced coagulation in water treatment. *RSC advances*, 10(34): 20231–20244. <https://doi.org/10.1039/D0RA02979C>.
- Daud, N.M., Abdullah, S.R.S., Hasan, H.A., Othman, A.R. & Ismail, N.I., 2023. Coagulation-flocculation treatment for batik effluent as a baseline study for the upcoming application of green coagulants/flocculants towards sustainable batik industry. *Heliyon*, 9(6): e17284–e17284. <https://doi.org/10.1016/J.HELİYON.2023.E17284>.
- Dimopoulou, M., Alba, K., Campbell, G. & Kontogiorgos, V., 2019. Pectin recovery and characterization from lemon juice waste streams. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(14): 6191–6198. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9891>.
- Dranca, F. & Oroian, M. 2018. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research*

- International*, 113: 327–350. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2018.06.065>.
- FAO 2024. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>.
- Emaga, T.H., Ronkart, S.N., Robert, C., Wathelet, B. and Paquot, M., 2008. Characterisation of pectins extracted from banana peels (*Musa AAA*) under different conditions using an experimental design. *Food chemistry*, 108(2): 463–471. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2007.10.078>.
- Husnawati, Astutik, I.Y. & Ambarsari, L. 2020. Characterization and Bioactivity Test of Pectin from *Musa balbisiana* Peel Extracted using Various Acid Solvents. *Current Biochemistry*, 6(1):1-10. <https://doi.org/10.29244/cb.6.1.1>.
- Kakoi, B., Kaluli, J.W., Ndiba, P. & Thiong'o, G., 2016. Banana pith as a natural coagulant for polluted river water. *Ecological engineering*, 95: 699–705. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.001>.
- Kamble, P.B., Gawande, S. & Patil, T.S. 2017. Extraction of Pectin from Unripe Banana Peel. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(7): 2259–2264.
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. 2022. Terus Dorong Peningkatan Konsumsi Buah Nusantara, Pemerintah Gelar Kembali Gelar Buah Nusantara (GBN) ke-7 Tahun 2022 - Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/4450/terus-dorong-peningkatan-konsumsi-buah-nusantara-pemerintah-gelar-kembali-gelar-buah-nusantara-gbn-ke-7-tahun-2022>.
- Kenea, D., Deneke, T., Bulti, R., Olani, B., Temesgen, D., Sefiw, D., Beyene, D., Ebba, M. & Mekonin, W., 2023. Investigation on surface water treatment using blended moringa oleifera seed and aloe vera plants as natural coagulants. *South African Journal of Chemical Engineering*, 45(1): 294–304. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.06.005>.
- Khamsucharit, P., Laohaphatanalert, K., Gavinlertvatana, P., Sriroth, K. & Sangseethong, K., 2018. Characterization of pectin extracted from banana peels of different varieties. *Food science and biotechnology*, 27: 623–629. <https://doi.org/10.1007/S10068-017-0302-0>.
- Kumar, S., Konwar, J., Purkayastha, M.D., Kalita, S., Mukherjee, A. & Dutta, J., 2023. Current progress in valorization of food processing waste and by-products for pectin extraction. *International Journal of Biological Macromolecules*, 239, p.124332. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124332>.
- Liu, L., Cao, J., Huang, J., Cai, Y. & Yao, J., 2010. Extraction of pectins with different degrees of esterification from mulberry branch bark. *Bioresource technology*, 101(9): 3268–3273. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.12.062>.
- Mamiru, D. & Gonfa, G. 2023. Extraction and characterization of pectin from watermelon rind using acetic acid. *Heliyon*, 9(2): e13525–e13525. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.E13525>.
- Marić, M., Grassino, A.N., Zhu, Z., Barba, F.J., Brnčić, M. & Brnčić, S.R., 2018. An overview of the traditional and innovative approaches for pectin extraction from plant food wastes and by-products: Ultrasound-, microwaves-, and enzyme-assisted extraction. *Trends in Food Science & Technology*, 76: 28–37. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2018.03.022>.
- Maurya, S. & Daverey, A. 2018. Evaluation of plant-based natural coagulants for municipal wastewater treatment. *3 Biotech*, 8(1): 77–77. <https://doi.org/10.1007/S13205-018-1103-8>.
- Nasution, R.E. & Yamada, I. 2001. Wild bananas in Indonesia. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Biologi LIPI.
- Owodunni, A.A. & Ismail, S. 2021. Revolutionary technique for sustainable plant-based green coagulants in industrial wastewater treatment—A review. *Journal of Water Process Engineering*, 42: 102096–102096. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2021.102096>.
- Paasikallio, T., Huuskonen, A. & Wiebe, M.G. 2017. Scaling up and scaling down the production of galactaric acid from pectin using *Trichoderma reesei*. *Microbial Cell Factories*, 16(1): 119–119. <https://doi.org/10.1186/s12934-017-0736-3>.
- Picauly, P. & Tetelepta, G., 2021, October. Characterization of pectin from tongka langit banana peels with various extraction temperature. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 883(1): p.012060. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/883/1/012060>.

- Rivadeneira, J.P., Wu, T., Ybanez, Q., Dorado, A.A., Migo, V.P., Nayve Jr, F.R.P. and Castillo-Israel, K.A.T., 2020. Microwave-assisted extraction of pectin from "Saba" banana peel waste: Optimization, characterization, and rheology study. *International Journal of Food Science*, 2020(1): p.8879425. <https://doi.org/10.1155/2020/8879425>.
- Robledo, V.R. & Vázquez, L.I.C. 2019. Pectin - Extraction, Purification, Characterization and Applications', *Pectins - Extraction, Purification, Characterization and Applications* [Preprint]. <https://doi.org/10.5772/INTECHOPEN.85588>.
- Sari, M. 2018. Optimalisasi Daya Koagulasi Serbuk Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) Pada Limbah Cair Industri Tahu. *AGRITEPA: Jurnal Ilmu dan Teknologi Pertanian*, 4(2): 25–37. <https://doi.org/10.37676/agritepa.v4i2.674>.
- Susanti, S., Legowo, A.M., Nuwantoro, N., Silviana, S., Arifan, F., 2021. Comparing the Chemical Characteristics of Pectin Isolated from Various Indonesian Fruit Peels. *Indonesian Journal of Chemistry*, 21(4): 1057–1062. <https://doi.org/10.22146/ijc.59799>.
- Tanaid, R.A.B. & Lauzon, R.D. 2018. Extraction Optimization of Pectin from Unripe Banana (*Musa acuminata* × *balbisiana* var. *Cardaba*) Peel. *ETP International Journal of Food Engineering*, pp. 308–315. <https://doi.org/10.18178/IJFE.4.4.308-315>.