

Pembuatan Bioflokulan Pati Biji Asam Jawa dan Aplikasinya pada Penurunan Kadar COD serta BOD Limbah Cair Industri Tahu

Hildhan Reicky Saputra*, Gefira Anelia Fauzi, Ketut Sumada

Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: hildhansaputra@gmail.com

Diterima: 20 April 2026

Disetujui: 27 April 2026

Abstract

The development of natural-based flocculants is required as an alternative to synthetic flocculants that may cause environmental pollution. This study aimed to produce a bioflocculant from tamarind seed starch and to investigate the effects of NaOH concentration and soaking time on the starch content obtained. The bioflocculant was subsequently applied to tofu industry wastewater to evaluate its effectiveness in reducing pollutant parameters. The research method involved starch isolation from tamarind seeds and a flocculation process in wastewater treatment. Starch isolation was conducted through deproteinization using NaOH solutions with concentrations of 0.04, 0.1, 0.16, 0.22, and 0.28% and soaking times of 1, 1.5, 2, 2.5, and 3 h, followed by demineralization using 0.04% HCl for 1 h. The results showed that the optimum condition was achieved at 0.04% NaOH concentration and a soaking time of 3 h, yielding the highest starch content of 21.3135%. The application of the bioflocculant reduced pH by 20.86%, BOD by 6.97%, COD by 57.77%, and TSS by 11.05%. The conclusion showed that increasing the NaOH concentration tended to decrease the starch content, while increasing the soaking time tended to increase the starch content obtained.

Keywords: *bioflocculant, deproteination, tamarind seeds, tofu industry wastewater*

Abstrak

Pengembangan flokulan berbasis bahan alami diperlukan sebagai alternatif flokulan sintetis yang berpotensi mencemari lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat bioflokulan dari pati biji asam jawa serta mengkaji pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu perendaman terhadap kadar pati yang dihasilkan. Bioflokulan kemudian diaplikasikan pada limbah cair industri tahu untuk mengevaluasi efektivitasnya dalam menurunkan parameter pencemar. Metode penelitian meliputi isolasi pati biji asam jawa dan proses flokulasi dalam pengolahan limbah. Isolasi pati dilakukan melalui tahap deproteinasi menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi 0,04; 0,1; 0,16; 0,22; dan 0,28% serta variasi waktu perendaman 1; 1,5; 2; 2,5; dan 3 jam, dilanjutkan dengan tahap demineralisasi menggunakan larutan HCl 0,04% selama 1 jam. Hasil penelitian menunjukkan kondisi optimum diperoleh pada konsentrasi NaOH 0,04% dan waktu perendaman 3 jam dengan kadar pati tertinggi sebesar 21,3135%. Aplikasi bioflokulan mampu menurunkan parameter pencemar limbah cair industri tahu, yaitu pH sebesar 20,86%, BOD 6,97%, COD 57,77%, dan TSS 11,05%. Kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH cenderung menurunkan kadar pati, sedangkan peningkatan waktu perendaman cenderung meningkatkan kadar pati yang diperoleh.

Kata Kunci: *biji asam jawa, bioflokulan, deproteinasi, limbah cair industri tahu*

1. Pendahuluan

Bioflokulan merupakan salah satu inovasi dalam teknologi pengolahan limbah yang dikembangkan sebagai alternatif ramah lingkungan pengganti flokulan sintetis dan anorganik. Bioflokulan umumnya berasal dari bahan alami seperti polisakarida yang memiliki kemampuan mengagregasi partikel tersuspensi melalui mekanisme adsorpsi dan pembentukan jembatan antar partikel (*polymer bridging*) [1]. Keunggulan bioflokulan terletak pada sifatnya yang biodegradable, tidak toksik, serta berasal dari sumber daya terbarukan, sehingga lebih sesuai dengan konsep teknologi hijau dan keberlanjutan [2][1].

Meskipun memiliki keunggulan tersebut, efektivitas bioflokulan dalam pengolahan limbah cair sangat dipengaruhi oleh karakteristik limbah yang diolah. Salah satu limbah dengan tingkat pencemar tinggi adalah limbah cair industri tahu yang dihasilkan dari aktivitas agroindustri skala kecil–menengah [3]. Limbah ini mengandung bahan organik dalam jumlah besar yang ditunjukkan oleh tingginya nilai BOD dan COD yang umumnya melampaui baku mutu yang ditetapkan [4]. Berdasarkan hasil analisis pada penelitian ini, konsentrasi BOD dan COD limbah tahu masing-masing mencapai 3826 mg/L dan 4756 mg/L, jauh di atas ambang batas 150 mg/L dan 300 mg/L [4]. Tingginya beban pencemar ini disebabkan

oleh kandungan protein (40–60%), karbohidrat (25–50%), dan lemak (10%) yang meningkatkan kebutuhan oksigen dalam proses degradasi biologis [5].

Dalam pengolahan limbah cair, proses koagulasi–flokulasi merupakan metode yang umum digunakan untuk menurunkan kandungan bahan organik dan partikel tersuspensi [6]. Proses ini sangat bergantung pada kondisi operasional, terutama pH, karena pH memengaruhi muatan partikel dan kinerja flokulan dalam membentuk flok [7]. Limbah cair tahu yang cenderung memiliki pH asam dapat menghambat proses flokulasi, sehingga diperlukan penyesuaian pH menggunakan bahan kimia seperti basa (NaOH) agar proses berlangsung optimal. Namun, penggunaan bahan kimia tambahan ini dapat meningkatkan biaya operasional serta berpotensi menimbulkan dampak lingkungan berupa residu kimia [2].

Permasalahan tersebut mendorong perlunya pengembangan bioflokulan yang tidak hanya ramah lingkungan, tetapi juga memiliki kinerja optimal pada berbagai kondisi limbah, termasuk variasi pH. Salah satu bahan alami yang berpotensi digunakan adalah biji asam jawa (*Tamarindus indica*) yang mengandung pati dalam jumlah signifikan. Pada penelitian ini, kandungan pati awal biji asam jawa tercatat sebesar 28,2795% sebelum proses isolasi. Pati tersusun atas amilosa dan amilopektin yang memiliki gugus hidroksil aktif, sehingga memungkinkan terjadinya interaksi hidrogen dan mekanisme pembentukan jembatan antarpartikel dalam proses flokulasi [8].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa bioflokulan berbasis pati biji asam jawa mampu menurunkan COD limbah tahu hingga 83,36% pada kondisi optimum dosis 4,5 gram dan waktu pengadukan 10 menit [9]. Namun, efektivitas tersebut sangat dipengaruhi oleh rasio dosis terhadap volume limbah, di mana dosis yang terlalu tinggi dapat menyebabkan fenomena overdosing yang justru meningkatkan beban organik dalam fase cair [10]. Selain itu, penurunan BOD dan COD yang diperoleh masing-masing sebesar 42% dan 48% menunjukkan bahwa bioflokulan lebih efektif digunakan sebagai tahap pre-treatment sebelum proses lanjutan [10].

Di sisi lain, kualitas bioflokulan sangat ditentukan oleh proses isolasi pati. Tahap deproteinasi dan demineralisasi bertujuan untuk menghilangkan komponen non-pati yang dapat mengganggu kinerja flokulasi [8]. Variasi konsentrasi NaOH dalam proses isolasi diketahui memengaruhi kadar pati yang dihasilkan, di mana peningkatan konsentrasi alkali dapat menyebabkan penurunan kadar pati akibat pelarutan parsial fraksi amorf granula [11]. Kehilangan pati akibat perlakuan alkali dilaporkan berkisar antara 4,70–9,32% [11]. Meskipun demikian, penghilangan protein tetap diperlukan karena keberadaannya dapat menghambat mekanisme pembentukan jembatan antarpartikel [8].

Sejauh ini, penelitian lebih banyak berfokus pada variasi dosis flokulan dan kondisi proses flokulasi, sementara pengaruh kondisi isolasi pati terhadap kualitas bioflokulan dan efektivitasnya dalam menurunkan BOD dan COD belum dikaji secara mendalam. Padahal, karakteristik molekuler dan tingkat kemurnian pati sangat berperan dalam menentukan kemampuan adsorpsi dan pembentukan flok [7][11]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh konsentrasi NaOH dan waktu perendaman terhadap karakteristik pati biji asam jawa sebagai bioflokulan, serta mengevaluasi efektivitasnya dalam menurunkan kadar BOD dan COD limbah cair industri tahu. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan bioflokulan yang lebih optimal, efisien, dan mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan kimia dalam proses pengolahan limbah.

2. Metode Penelitian

Material

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji asam jawa (*Tamarindus indica L.*) yang diperoleh dari Mojokerto, Jawa Timur. Limbah cair industri tahu diambil dengan karakteristik awal COD sebesar 4756 mg/L, BOD sebesar 3826 mg/L, TSS sebesar 225,2 mg/L dan pH sebesar 3,69. Bahan kimia yang digunakan meliputi natrium hidroksida (NaOH), asam klorida (HCl) 37% dan aquadest. Peralatan utama meliputi *crusher* untuk pengecilan ukuran biji asam jawa, ayakan 60 mesh, beaker glass, erlenmeyer, hot plate dengan penangas air.

Metode

Proses isolasi pati diawali dengan pengeringan biji asam jawa menggunakan sinar matahari selama dua hari. Biji kemudian direndam dalam air selama 3 jam dan direbus pada suhu <math><55^{\circ}\text{C}</math> selama 30 menit untuk mempermudah pengupasan kulit. Biji yang telah dikupas diperkecil ukurannya menggunakan *crusher*.

Tahap deproteinasi dilakukan dengan merendam sampel dalam larutan NaOH (0.04; 0.1; 0.16; 0.22; dan 0.28% b/v) sebanyak 1000 mL selama 60, 90, 120, 150, dan 180 menit. Selanjutnya dilakukan

demineralisasi menggunakan larutan HCl 0.04% (1000 mL) selama 60 menit hingga pH netral (± 7). Sampel kemudian dicuci dengan aquadest hingga bersih lalu dikeringkan pada suhu 55°C selama 60 menit. Setelah itu biji dihancurkan menggunakan *crusher*, dan diayak hingga ukuran 60 mesh. Kemudian serbuk pati hasil isolasi dianalisis kadar patinya menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis.

Prosedur Penelitian

Proses flokulasi dilakukan dengan menambahkan 4.5 g pati biji asam jawa dengan kadar pati terbaik ke dalam 200 mL limbah cair industri tahu. Campuran diaduk menggunakan flokulator pada kecepatan 40 rpm selama 10 menit, kemudian didiamkan selama 30 menit untuk proses sedimentasi. Setelah itu dilakukan filtrasi untuk memisahkan flok yang terbentuk. Parameter yang dianalisis sebelum dan sesudah flokulasi meliputi COD, BOD, TSS, dan pH.

3. Results and Discussion

Bioflokulan Pati Biji Asam Jawa

Rekapitulasi hasil uji kadar pati bioflokulan biji asam jawa pada berbagai variasi konsentrasi NaOH dan waktu perendaman disajikan pada **Tabel 1**. Data tersebut menunjukkan adanya kecenderungan perubahan kadar pati sebagai respons terhadap peningkatan konsentrasi alkali (NaOH) dan lamanya waktu perendaman, yang selanjutnya dianalisis untuk menentukan kondisi isolasi paling optimum dalam menghasilkan pati dengan karakteristik yang mendukung proses flokulasi.

Tabel 1. Hasil Uji Kadar Pati (%) Bioflokulan Biji Asam Jawa

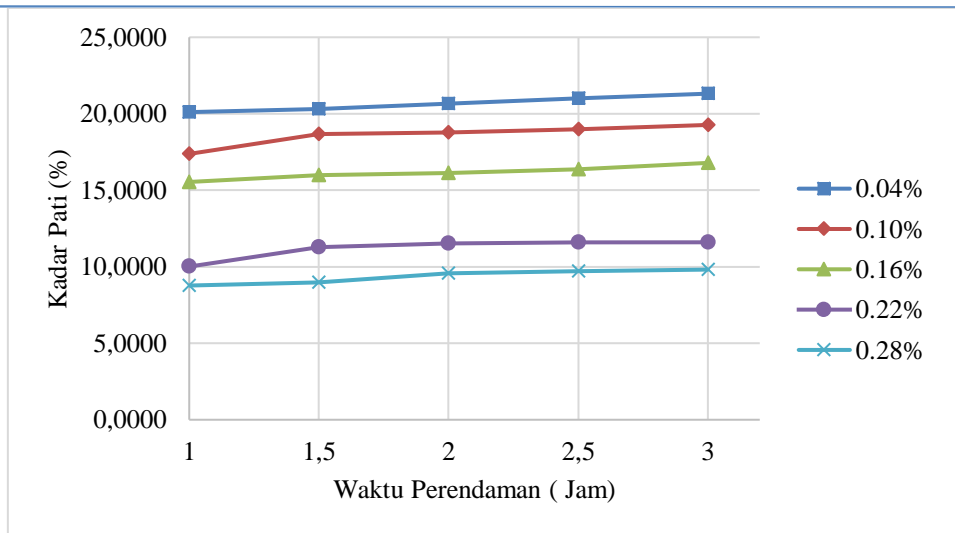
Waktu (jam)	Konsentrasi NaOH				
	0,04 %	0,1 %	0,16 %	0,22 %	0,28 %
1	20,1075	17,3765	15,5431	10,0129	8,7721
1,5	20,3078	18,6657	15,9731	11,2789	8,9870
2	20,6765	18,7780	16,1108	11,3390	9,5880
2,5	21,0175	18,9980	16,3670	11,5790	9,7078
3	21,3135	19,2710	16,7897	11,5991	9,8160

Pengaruh Perendaman NaOH Terhadap Kadar Pati

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh kadar pati awal pada biji asam jawa sebesar 28,2795%. Nilai ini menunjukkan bahwa biji asam jawa berpotensi sebagai sumber pati untuk bahan baku bioflokulan. Namun, pati tersebut tidak dapat digunakan secara langsung karena masih mengandung protein dan mineral yang dapat mengganggu kinerja flokulasi. Oleh karena itu, diperlukan proses isolasi melalui tahap deproteinasi dan demineralisasi untuk meningkatkan kemurnian pati.

Proses isolasi dalam penelitian ini menggunakan larutan NaOH dengan variasi konsentrasi serta lama waktu perendaman. Berdasarkan **Tabel 1**, kadar pati yang dihasilkan menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan peningkatan konsentrasi NaOH. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan NaOH tidak hanya berperan dalam menghilangkan komponen non-pati, tetapi juga memengaruhi jumlah pati yang diperoleh. Pati memiliki kecenderungan mengalami pelarutan parsial dalam kondisi basa, terutama pada fraksi amorf dan granula berukuran kecil, sehingga kehilangan pati selama perlakuan NaOH dapat terjadi. Meskipun terjadi penurunan kadar pati secara kuantitatif, perlakuan NaOH tetap efektif menghilangkan protein yang terikat pada granula pati. Penghilangan protein ini penting karena protein dapat mengganggu kinerja pati sebagai bioflokulan, khususnya dalam mekanisme pembentukan jembatan antarpartikel.

Sedangkan variasi waktu perendaman dapat memengaruhi jumlah pati yang terekstraksi. Namun demikian, peningkatan kadar pati akibat penambahan waktu perendaman bersifat bertahap dan tidak menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Kondisi ini menunjukkan bahwa waktu perendaman berfungsi sebagai faktor pendukung dalam proses ekstraksi pati, sedangkan besarnya kadar pati yang dihasilkan tetap dipengaruhi oleh kondisi perlakuan lainnya. Untuk melihat pengaruh konsentrasi NaOH secara lebih jelas, data disajikan dalam bentuk grafik dan dibahas lebih lanjut pada bagian berikutnya.



Gambar 1. Grafik Pengaruh NaOH Terhadap Kadar Pati Pada Proses Deproteinasi

Peningkatan konsentrasi NaOH dari 0,04% hingga 0,28% menunjukkan kecenderungan penurunan kadar pati pada seluruh variasi waktu perendaman. Pada konsentrasi 0,04%, kadar pati berada pada nilai tertinggi, yang menunjukkan bahwa pada kondisi alkali rendah, struktur granula pati masih relatif stabil sehingga kehilangan pati akibat pelarutan belum terjadi secara signifikan. Seiring dengan meningkatnya konsentrasi NaOH menjadi 0,10% dan 0,16%, kadar pati mulai mengalami penurunan secara bertahap. Hal ini mengindikasikan bahwa perlakuan alkali mulai memengaruhi struktur fisik dan kimia pati. Perlakuan alkali dapat menyebabkan granula pati mengalami pembengkakan (swelling) dan kerusakan struktur, sehingga pati menjadi lebih mudah terlarut dalam medium perendaman [12]. Penurunan kadar pati yang lebih tajam terlihat pada konsentrasi 0,22% dan 0,28%.

Kondisi ini menunjukkan bahwa interaksi antara pati dan larutan basa semakin kuat pada konsentrasi yang lebih tinggi. Perendaman dalam larutan basa dapat melemahkan ikatan hidrogen pada molekul pati akibat interaksi ion Na^+ dengan gugus hidroksil (-OH), sehingga terbentuk interaksi pati-basa yang menyebabkan pati lebih mudah mengalami leaching dan larut bersama pelarut. Akibatnya, semakin tinggi konsentrasi NaOH yang digunakan, semakin besar fraksi pati yang terlarut, sehingga kadar pati yang tersisa cenderung menurun [13]. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan konsentrasi NaOH pada proses ekstraksi pati dapat menurunkan kadar pati akibat kerusakan struktur granula selama perlakuan alkali [14]. Perlakuan alkali dapat menyebabkan kehilangan kadar pati berkisar antara 4,70–9,32%, yang menunjukkan bahwa sebagian fraksi pati memang berpotensi larut dalam kondisi basa [11].

Berdasarkan pada **Gambar 1** peningkatan waktu perendaman dari 1 hingga 3 jam cenderung meningkatkan kadar pati pada seluruh variasi konsentrasi NaOH. Pola ini menunjukkan bahwa lama waktu perendaman memiliki peranan dalam meningkatkan efisiensi proses ekstraksi pati. Waktu perendaman yang lebih lama memungkinkan larutan alkali melonggarkan struktur jaringan secara lebih efektif, sehingga pati lebih mudah terlepas dan terisolasi. Proses perendaman berfungsi untuk melonggarkan struktur endosperm sehingga pati dapat dilepaskan dengan lebih mudah [15]. Penurunan waktu perendaman menyebabkan yield pati menurun karena struktur jaringan masih melekat kuat, sehingga pelepasan pati belum berlangsung secara optimal. Selain itu, lama waktu perendaman memberikan pengaruh terhadap yield pati karena durasi kontak antara bahan dan larutan alkali menentukan sejauh mana struktur kompleks non-pati dapat terurai, sehingga pati lebih mudah diekstraksi [16]. Dengan demikian, grafik menunjukkan bahwa lama waktu perendaman merupakan parameter penting dalam proses ekstraksi pati, di mana peningkatan waktu perendaman hingga 3 jam memungkinkan proses pelepasan pati berlangsung lebih maksimal dan menghasilkan kadar pati yang lebih tinggi.

Analisis Limbah Cair Industri Tahu

Hasil analisis parameter kualitas limbah cair industri tahu sebelum dan setelah proses flokulasi menggunakan bioflokulan pati biji asam jawa pada dosis 4,5 gram dan kecepatan pengadukan 40 rpm ditampilkan pada **Tabel 2**. Perbandingan data tersebut digunakan untuk mengevaluasi efektivitas bioflokulan dalam menurunkan beban organik, khususnya pada parameter COD, BOD, TSS, dan pH, serta mengidentifikasi karakteristik perubahan yang terjadi akibat mekanisme koagulasi-flokulasi.

Tabel 2. Hasil Analisa Kadar Limbah Cair Industri Tahu

Parameter	Satuan	Sebelum perlakuan	Sesudah perlakuan
COD	mg/L	4756	2008
BOD	mg/L	3826	3559
TSS	mg/L	225,2	200,3
pH	-	3,69	2,92

Proses flokulasi menggunakan bioflokulan pati biji asam jawa dengan dosis 4,5 gram dan kecepatan pengadukan 40 rpm memberikan pengaruh terhadap karakteristik limbah cair industri tahu. Perubahan nilai parameter pH, BOD, COD, dan TSS menunjukkan bahwa kinerja proses flokulasi bergantung pada interaksi antara sifat kimia bioflokulan dan karakteristik masing-masing parameter pencemar. Nilai pH mengalami penurunan sebanyak 20,86% dari 3,69 menjadi 2,92 setelah proses flokulasi. Penurunan ini sejalan dengan penelitian yang melaporkan bahwa bioflokulan berbasis polisakarida alami umumnya tidak bersifat netralisasi, tetapi dapat memengaruhi pH sistem akibat keberadaan gugus hidroksil dan karboksil pada struktur polimer [7].

Parameter BOD (Biochemical Oxygen Demand) mengalami penurunan yang relatif kecil yakni sebanyak 6,97%, dari 3826 mg/L menjadi 3559 mg/L. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses flokulasi kurang efektif dalam menghilangkan senyawa organik biodegradable yang berada dalam fase terlarut. Senyawa penyumbang BOD umumnya berupa molekul organik terlarut dengan ukuran kecil, sehingga tidak mudah terikat dalam mekanisme flokulasi berbasis polymer bridging [17]. Oleh karena itu, proses flokulasi lebih berperan sebagai tahap pengolahan fisik-kimia awal dibandingkan sebagai proses utama dalam penurunan BOD.

Penurunan yang lebih signifikan terjadi pada parameter COD (Chemical Oxygen Demand), yaitu sebesar 57,77%, dari 4756 mg/L menjadi 2008 mg/L. Hasil ini menunjukkan bahwa bioflokulan pati biji asam jawa memiliki kemampuan dalam menurunkan senyawa organik oksidatif, khususnya yang terasosiasi dengan partikel tersuspensi dan koloid. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa bioflokulan berbasis pati bekerja melalui mekanisme polymer bridging, di mana rantai polimer menghubungkan partikel-partikel koloid sehingga membentuk flok yang dapat mengendap [18]. Senyawa organik yang melekat pada partikel tersebut ikut terendapkan, sehingga berkontribusi terhadap penurunan nilai COD.

Parameter TSS (Total Suspended Solids) mengalami penurunan sebesar 11,05%, dari 225,2 mg/L menjadi 200,3 mg/L. Penurunan ini menunjukkan bahwa proses flokulasi berjalan efektif dalam mengurangi padatan tersuspensi. Bioflokulan alami berbasis pati mampu membentuk flok yang cukup stabil pada kecepatan pengadukan rendah hingga sedang, sehingga partikel tersuspensi dapat teragregasi dan mengendap secara efektif [19].

Berdasarkan **Tabel 2** hasil uji kualitas limbah cair setelah proses flokulasi, nilai parameter pH, BOD, COD, dan TSS yang dihasilkan masih belum sepenuhnya memenuhi baku mutu limbah cair industri pengolahan kedelai sebagaimana ditetapkan dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2008. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses flokulasi menggunakan bioflokulan pati biji asam jawa belum mampu menurunkan seluruh parameter pencemar hingga batas yang dipersyaratkan. Efisiensi penurunan yang diperoleh berada pada kisaran 40–60%, yang merupakan karakteristik umum bioflokulan berbahan organik. Penggunaan biji asam jawa sebagai flokulan pada limbah industri tahu hanya mampu menurunkan BOD dan COD masing-masing sebesar 42% dan 48% [10]. Meskipun demikian, secara fungsional proses flokulasi tetap menunjukkan peran dalam menurunkan beban pencemar, sehingga bioflokulan pati biji asam jawa berpotensi digunakan sebagai tahap pengolahan awal (pre-treatment) sebelum diterapkan proses pengolahan lanjutan untuk mencapai baku mutu yang ditetapkan. Secara keseluruhan, hasil analisa menunjukkan bahwa proses flokulasi menggunakan bioflokulan pati biji asam jawa lebih efektif dalam menurunkan COD dan TSS dibandingkan BOD.

Apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu, terdapat perbedaan yang signifikan pada efisiensi penurunan COD meskipun bahan bioflokulan yang digunakan berasal dari sumber yang sama. Pada penelitian tersebut, dosis bioflokulan optimum sebesar 4,5 gram dalam 250 mL limbah mampu menurunkan kadar COD hingga 83,36% [9], sedangkan pada penelitian ini penggunaan dosis 4,5 gram dalam 200 mL limbah hanya menghasilkan penurunan COD sebesar 57,31%. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa efektivitas flokulasi tidak hanya ditentukan oleh jenis dan kadar pati bioflokulan, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh rasio dosis bioflokulan terhadap volume limbah. Meskipun secara nominal dosis bioflokulan yang digunakan tampak sama, konsentrasi efektif bioflokulan dalam sistem flokulasi berbeda secara signifikan. Pada penelitian ini, dosis 4,5 gram dalam 200 mL limbah setara dengan

22,5 g/L, yang jauh melebihi konsentrasi optimum bioflokulan alami yang direkomendasikan, yaitu tidak lebih dari 0,5 g/L) [24]. Kondisi ini berpotensi menyebabkan fenomena overdosing, di mana kelebihan rantai polimer pati tidak seluruhnya berperan dalam mekanisme polymer bridging, melainkan tetap terdispersi di dalam fase cair dan berkontribusi sebagai bahan organik tambahan. Akibatnya, efisiensi penurunan COD dan BOD menjadi tidak maksimal. Dengan demikian, perbedaan efisiensi antara penelitian ini dan penelitian terdahulu lebih disebabkan oleh perbedaan konsentrasi dan rasio dosis bioflokulan terhadap volume limbah, bukan oleh perbedaan kadar pati bioflokulan yang digunakan.

4. Kesimpulan

Variasi konsentrasi NaOH memberikan pengaruh terhadap kadar pati biji asam jawa, di mana peningkatan konsentrasi NaOH diikuti oleh penurunan kadar pati yang diperoleh. Kondisi terbaik diperoleh pada konsentrasi NaOH 0,04% yang menghasilkan kadar pati tertinggi sebesar 21,3135%. Variasi waktu perendaman memberikan pengaruh terhadap kadar pati biji asam jawa, di mana semakin lama waktu perendaman cenderung diikuti oleh peningkatan kadar pati yang diperoleh. Kondisi terbaik diperoleh pada waktu perendaman 3 jam yang menghasilkan kadar pati tertinggi sebesar 21,3135%. Pengaplikasian bioflokulan pada limbah cair industri tahu terbukti mampu menurunkan pH sebesar 20,86%, BOD sebesar 6,97%, COD sebesar 57,77% dan TSS sebesar 11,05%.

5. Ucapan Terima kasih

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Laboratorium Riset Teknik Kimia Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang telah menyediakan fasilitas serta dukungan teknis selama pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan akademisi dan seluruh pihak yang telah memberikan masukan, diskusi ilmiah, dan kontribusi pemikiran yang sangat membantu dalam penyempurnaan penelitian ini, meskipun tidak seluruhnya sependapat dengan interpretasi maupun kesimpulan yang disampaikan dalam artikel ini.

6. Singkatan

%	Persentase
COD	Chemical Oxygen Demand
BOD	Biochemical Oxygen Demand
TSS	Total Suspended Solids
UV-Vis	Ultraviolet-Visible

7. Referensi

- [1] V. Ajao, R. Fokkink, F. Leermakers, H. Bruning, H. Rijnaarts, And H. Temmink, “Biofloculants From Wastewater : Insights Into Adsorption Affinity , Flocculation Mechanisms And Mixed Particle Flocculation Based On Biopolymer Size-Fractionation Site Blocking Effect In Mixed Eps,” *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 581, No. 1, Pp. 533–544, 2021, Doi: 10.1016/J.Jcis.2020.07.146.
- [2] A. K. Badawi, R. S. Salama, And M. M. M. Mostafa, “Natural-Based Coagulants/Flocculants As Sustainable Market-Valued Products For Industrial Wastewater Treatment : A Review Of Recent Developments,” *Rsc Adv.*, Vol. 13, No. 1, Pp. 19335–19355, 2023, Doi: 10.1039/D3ra01999c.
- [3] B. P. Statistik, “Statistik Penyediaan Makanan Minuman,” *Food Beverage Serv. Act. Stat.*, Vol. 8, No. 2025, Pp. 1–126, 2024.
- [4] M. N. L. Hidup, “Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 15 Tahun 2008 Tentang Baku Mutu Air Limbah Bagi Usaha Dan/Atau Kegiatan Pengolahan Kedelai,” 2008
- [5] E. Kurnianto, I. Apriani, And S. Pramadita, “Pengolahan Limbah Cair Tahu Dengan Penambahan Kitosan Pada Reaktor Anaerob Dengan Variasi Waktu Tinggal 1),” *J. Teknol. Lingkung. Lahan Basah*, Vol. 5, No. 1, Pp. 1–11, 2017, Doi: 10.26418/Jtlb.V5i1.18405.
- [6] K. O. Iwuozor, “Prospects And Challenges Of Using Coagulation-Flocculation Method In The Treatment Of Effluents,” *Adv. J. Chem. A*, Vol. 2, No. 2, Pp. 105–127, 2019.
- [7] R. Afdal And F. Fadhilah, “Optimasi Penggunaan Koagulan Pc300 Dan Flokulan A100 Untuk Proses Pengolahan Air Limbah Tambang Di Wwtp 01 Pt Mitrabara Adiperdana, Tbk.,” *Journals Min. Eng. Bina Tambang*, Vol. 5, No. 1, Pp. 1–11, 2020.
- [8] D. Pal And S. Mukherjee, “Tamarind (Tamarindus Indica) Seeds In Health And Nutrition,” *Nuts Seeds Heal. Dis. Prev. (Second Ed.)*, Vol. 14, No. 1, Pp. 171–182, 2020.
- [9] A. S. A. Saputroh, M. V. Priscilla, And T. Susilowati, “Kajian Efektivitas Bioflokulan Pati Biji

- Asam Jawa Terhadap Penurunan Kadar Cod Limbah Cair Tahu,” *J. Chem. Process Eng.*, Vol. 01, No. 01, Pp. 22–28, 2020.
- [10] A. M. Z. P, D. Setiawan, And E. Ningsih, “Comparison Of The Effectiveness Of Natural Coagulant Performance On % Bod Removal And % Cod Removal In Pharmaceutical Industry Waste,” *Tibuana J. Appl. Ind. Eng. PGRI Adi Buana*, Vol. 04, No. 1, Pp. 55–60, 2027, Doi: Doi.Org/10.36456/Tibuana.4.01.3179.55-60.
- [11] Parwiyanti, N. Mahayati, E. Lidiasari, And T. Nurjannah, “Physico Characteristics Of Lesser Yam (*Dioscorea Esculenta L.*) And Taro (*Colocasia Esculenta L.*) Starch Modified By Alcoholic-Alkaline,” *Enviagro, J. Pertan. Dan Lingkungan.*, Vol. 10, No. 2, Pp. 35–45, 2024.
- [12] Y. Qin, H. Zhang, Y. Dai, H. Hou, And H. Dong, “Effect Of Alkali Treatment On Structure And Properties Of High Amylose Corn Starch Film,” *Materials (Basel).*, Vol. 12, No. 1705, Pp. 1–13, 2019, Doi: Doi:10.3390/Ma12101705.
- [13] F. E. D. Surawan, E. Harmayani, Nurliyani, And D. W. Marseno, “The Effect Of Isolation Method On Proximate Composition, Pasting, And Morphological Properties Of Bencoolen Foxtail Millet (*Setaria Italica (L)P. Bauv*) Starch,” *J. Ilmu Dan Teknol. Pertan.*, Vol. 5, No. 2, Pp. 114–123, 2021, Doi: Doi.Org/10.33019/Agrosainstek.V5i2.238.
- [14] Mojiono And D. N. Sholehah, “Optimasi Ekstraksi Pati Jagung Madura-3 Berdasarkan Lama Perendaman Dan Konsentrasi Naoh,” *Rekayasa J. Sci. Technol.*, Vol. 13, No. 23, Pp. 118–124, 2023, Doi: Doi.Org/10.21107/Rekayasa.V13i2.6429.
- [15] P. Yadav And J. D. Bosco, “Optimization Of Isolation Parameters For Starch Extraction From *Amaranthus Paniculatus* (*Rajgeera*) Using Response Surface Methodology,” *Int. J. Adv. Eng. Res. Sci.*, Vol. 6495, No. 9, Pp. 160–170, 2021, Doi: Dx.Doi.Org/10.22161/Ijaers.89.17.
- [16] L. Kuril, R. Tr, And S. Op, “Effect Of Different Process Parameters On Starch Extraction Yield,” *Int. J. Adv. Biochem. Res.*, Vol. 8, No. 5, Pp. 713–722, 2024, Doi: Doi.Org/10.33545/26174693.2024.V8.I5i.1199.
- [17] M. Sillanpää, M. C. Ncibi, A. Matilainen, And M. Vepsäläinen, “Removal Of Natural Organic Matter In Drinking Water Treatment By Coagulation: A Comprehensive Review,” *Chemosphere*, Vol. 190, No. 1, Pp. 54–71, 2018.
- [18] M. S. S. Abujazar, S. U. Karağaç, A. A. S. S, M. Y. D. Alazaiza, S. Fatihah, And M. J. K. Bashir, “Recent Advancements In Plant-Based Natural Coagulant Application In The Water And Wastewater Coagulation-Flocculation Process : Challenges And Future Perspectives,” *Glob. Nest J.*, Vol. 24, No. 4, Pp. 687–705, 2022, Doi: Doi.Org/10.30955/Gnj.004380.
- [19] K. Ho *Et Al.*, “Review Of Starch-Based Coagulants For Water Treatment : Mechanisms , Extraction And Surface Modification,” *Next Sustain.*, Vol. 5, No. 100083, Pp. 1–17, 2025, Doi: 10.1016/J.Nxsust.2024.100083.