Optimasi Dosis Biokoagulan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) dalam Penurunan Parameter TSS, BOD, dan COD pada Limbah Tahu

Rodu Dhuha Afrianisa[1)*], Yovansyach Arraficha Yasmine[1)]
[1)] Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, Jl. Arif Rahman Hakim No.100, Klampis Ngasem, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60117 Indonesia
*Email: rodu@itats.ac.id

Abstrak

Limbah cair yang dihasilkan oleh industri tahu mengandung bahan organik dalam kadar tinggi, seperti protein, karbohidrat, dan lemak yang berpotensi meningkatkan nilai Biological Oxygen Demand (BOD) dan Chemical Oxygen Demand (COD) apabila tidak ditangani secara optimal, sehingga diperlukan pengolahan sebelum air tersebut dapat dibuang ke badan air. Penelitian ini dilakukan menggunakan metode koagulasi-flokulasi dan menggunakan biji pepaya sebagai koagulan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui dosis optimum, dengan variasi kecepatan pada pengadukan lambat menggunakan biokoagulan biji pepaya serta efisiensinya untuk menurunkan kadar TSS, BOD, dan COD. Variasi dosis yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu 0,2 g/L; 0,4 g/L; 0,6 g/L; 0,8 g/L dan 1 g/L. Kecepatan pengadukan pada proses koagulasi yaitu 150 rpm selama 1 menit, dan variasi pengadukan lambat 40 rpm dan 30 rpm selama 15 menit. Dilanjutkan dengan sediemntasi selama 30 menit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis optimum biokoagulan biji pepaya dengan pengadukan cepat 150 rpm dengan variasi kecepatan lambat 40 rpm dan 30 rpm berada pada konsentrasi 0,4 g/L. Hasil persentase penurunan parameter TSS, BOD, dan COD pada kecepatan 150/40 rpm yaitu 41,15%, 55,94%, dan 46,60% sedangkan pada pengadukan 150/30rpm menghasilkan penurunan 65%, 61,78%, dan 51,78%.

Kata kunci: air limbah tahu, biokoagulan, biji pepaya

Abstract

The wastewater produced by tofu industries contains high concentrations of organic substances such as proteins, carbohydrates, and fats, which can significantly increase the Biological Oxygen Demand (BOD) and Chemical Oxygen Demand (COD) if not properly treated. Therefore, treatment is required before the water can be discharged into receiving water bodies. This study was conducted using the coagulation–flocculation method, with papaya seed powder used as a natural coagulant. The objective of the research was to determine the optimum dosage of papaya seed bio-coagulant and to evaluate its efficiencies in reducing TSS, BOD, and COD levels under different slow mixing speeds. The dosage variations used in this study were 0.2 g/L, 0.4 g/L, 0.6 g/L, 0.8 g/L, and 1 g/L. The rapid mixing was carried out at 150 rpm for 1 minute, followed by slow mixing at 40 rpm and 30 rpm for 15 minutes, and then sedimentation for 30 minutes. The results showed that the optimum dosage of papaya seed bio-coagulant was 0.4 g/L when using rapid mixing at 150 rpm combined with slow mixing at 40 rpm or 30 rpm. At 150/40 rpm mixing speed, the percentage reductions in TSS, BOD, and COD were 41.15%, 55.94%, and 46.60% respectively. Meanwhile, at 150/30 rpm mixing speed, the reductions were 65%, 61.78%, and 51.78% respectively.

Keywords: *tofu wastewater, bio-coagulant, papaya seed*

1. PENDAHULUAN

Industri tahu merupakan salah satu sektor agroindustri rumah tangga yang berkembang pesat di Indonesia. Proses produksinya yang sederhana dan berbasis kedelai menghasilkan limbah cair dalam jumlah besar, terutama dari tahapan perendaman, pencucian, dan

perebusan. Limbah cair tersebut mengandung bahan organik yang tinggi seperti protein, lemak, dan karbohidrat yang terlarut, sehingga berpotensi besar mencemari lingkungan apabila dibuang tanpa pengolahan terlebih dahulu. Penelitian menunjukkan bahwa karakteristik limbah cair tahu ditandai dengan nilai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) yang tinggi, berkisar antara 244 hingga lebih dari 2700 mg/L, *Chemical Oxygen Demand* (COD) mencapai 1128–4972 mg/L, serta *Total Suspended Solids* (TSS) sebesar 101–595 mg/L, yang semuanya melebihi baku mutu limbah cair domestik atau industri menurut Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 (Fadhilah & Sari, 2023; Khairunnisa & Hakim, 2023).

Dampak langsung dari pembuangan limbah tahu tanpa pengolahan terlihat pada penurunan kualitas air sungai, ditandai dengan perubahan warna, bau menyengat, penurunan kadar oksigen terlarut (DO), serta meningkatnya indeks pencemaran (Putra & Cahyono, 2023). Ekosistem akuatik turut terdampak, terutama pada ikan, yang menunjukkan perubahan perilaku, stres, dan bahkan kematian akibat penurunan kualitas perairan (Wahyuni & Rahman, 2022). Pencemaran ini juga dapat berdampak pada kesuburan tanah dan kualitas udara di sekitar lokasi industri tahu, khususnya dalam skala permukiman padat.

Desa Krembangan, Sidoarjo terdapat industri tahu yang mana pengolahan masih menggunakan proses pengendapan namun hasilnya langsung dibuang ke sungai. Berdasarkan hasil analisis kualitas air limbah proses pembuantan tahu memiliki konsentrasi TSS 407,5 mg/L, BOD 3227 mg/L, dan COD 8056 mg/L, nilai tersebut melebihi baku mutu Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 (TSS 100 mg/L, BOD 150 mg/L, COD 300 mg/L). Pengolahan konvensional sering menggunakan koagulan kimia seperti tawas, namun berpotensi menimbulkan residu berbahaya. Alternatif berkelanjutan, seperti biokoagulan alami, menjadi solusi menarik karena ramah lingkungan dan ekonomis.

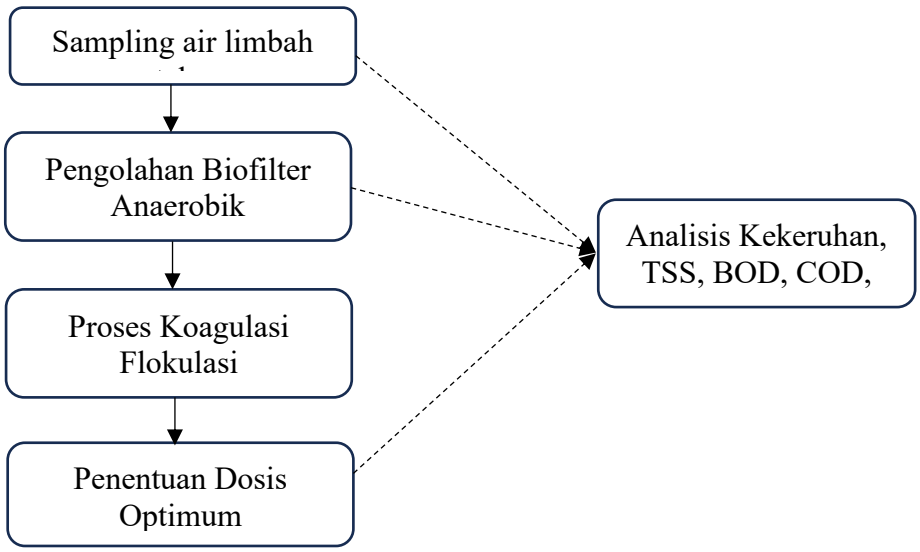
Koagulasi salah satu pengolahan air dan limbah dengan tujuan mengendapkan partikel koloid dan mencerahkan air. Pemanfaatan biokoagulan alami dari bahan tanaman menjadi alternatif untuk mengurangin bahan kimia dalam pengolahan air limbah. Salah satu biokoagulan unggul adalah biji pepaya (*Carica papaya L.*), yang kaya akan protein bermuatan positif serta senyawa seperti tanin dan flavonoid yang berperan sebagai koagulan alami. Cahyaningrum dkk. (2023) membandingkan koagulan biji pepaya dengan PAC pada pengolahan air tanah, menunjukkan penurunan kekeruhan hingga 96,5% dan TDS sebesar 44,9%, dengan biaya lebih ekonomis daripada PAC. Dalam penelitian industri tempe, penggunaan dosis 1500 mg/L biokoagulan biji pepaya dan waktu flokulasi optimal mampu

menurunkan kekeruhan hingga 82,9%, sekaligus meningkatkan pH mendekati netral. Selain itu, pada pengolahan limbah domestik atau laundry, biji pepaya berhasil menurunkan parameter pH, COD (54%) dan TSS (33%). Untuk air sungai, percobaan pada berat 1–5 g menunjukkan penurunan kekeruhan dari 74,2 NTU menjadi 39,1 NTU, serta pengurangan E. coli. Berdasarkan latar belakang tersebut maka diperlukan penelitian yang bertujuan untuk menganalisis kemampuan kombinasi biofilter anaerobik dan biji pepaya sebagai koagulan alami dalam menurunkan kadar TSS, BOD, dan COD pada limbah cair industri tahu.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan penelitian kuantitatif dengan desain eksperimental sangat efektif dalam mengukur dampak dari suatu perlakuan terhadap variabel tertentu, sehingga hasil yang diperoleh dapat diandalkan dan valid. Penelitian dilakukan skala laboratorium dengan mengolah air limbah tahu dengan proses pengolahan anaerobik biofilter dilanjutkan koagulasi dan flokulasi menggunakan bahan koagulan dari biji papaya. Parameter kualitas air limbah yang diuji yaitu TSS, BOD, COD dan pH.



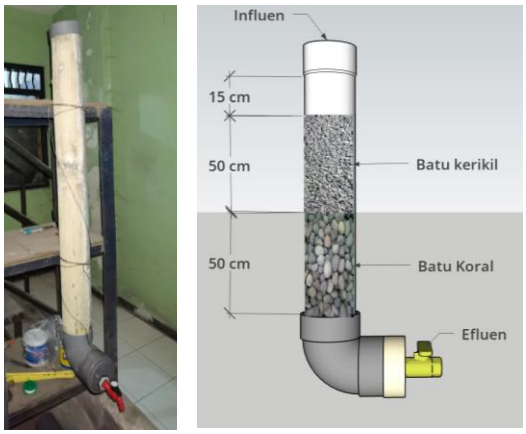
Gambar 1. Diagram proses pengolahan air limbah

Sumber Air Limbah Tahu

Limbah cair berasal dari Industri Tahu X di Desa Krembangan, Sidoarjo. Pretreatment dilakukan menggunakan biofilter anaerobik dengan media kerikil dan batu koral selama 24 jam untuk mengurangi polutan awal. Limbah tahun berwarna putih keruh.



Gambar 2. Limbah Produksi Tahu



Gambar 3. Biofilter Anaerobik

2.2 Pembuatan Biokoagulan

Biji pepaya dikeringkan pada 60°C selama 24 jam, digiling hingga menjadi serbuk, dan disaring (ukuran 60 mesh). Serbuk disimpan dalam wadah kedap udara sebelum digunakan.

2.3 Prosedur Koagulasi-Flokulasi

Uji jar test dilakukan pada limbah hasil biofilter (500 mL per reaktor). Dosis biokoagulan divariasikan (0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 g/L), dengan pengadukan cepat dengan kecepatan 150 rpm selama 1 menit dilanjutkan pengadukan lambat kecepatan 40 rpm dan 30rpm selama 15 menit kemudian pengendapan selama 30 menit.



Gambar 4. Proses Pengadukan Jar Test

2.4 Analisis Parameter

Konsentrasi TSS, BOD, dan COD diukur sebelum dan sesudah perlakuan sesuai metode standar (APHA, 2017), TSS (metode gravimetri), BOD_5 (metode titrasi *Winkler*), dan COD (metode refluks tertutup). Efisiensi penurunan dihitung dengan rumus:

$$\%P = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0}\right) \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

%P = Efisiensi penurunan

C_0 = Nilai tiap parameter dari limbah sebelum perlakukan (mg/L)

Ct = Nilai tiap parameter dari limbah sesudah perlakukan (mg/L)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

3.1.1 *Pretreatment* Biofilter

Proses biofilter anaerobik menurunkan TSS dari 407,5 mg/L menjadi 295 mg/L (27,6%), BOD dari 3227 mg/L menjadi 3121 mg/L (3,3%), dan COD dari 8056 mg/L menjadi 7779 mg/L (3,4%). Reduksi terbatas menunjukkan perlunya pengolahan lanjutan. Penurunan pada treatment biofilter terlihat lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Seperti halnya yang ditampilkan pada tabel sebagai berikut :

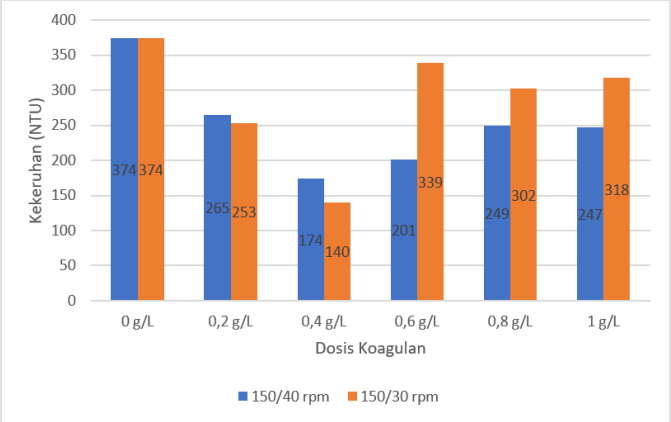
Tabel 1. Perbandingan Penurunan Biofilter

Sumber	Penurunan Menggunakan Biofilter (%)		
	TSS	BOD	COD
Data Primer	27,61	3,29	3,44
Anwar, 2020	86	82	83
Amri & Widayatno, 2023	92	60	60

Hal ini disebabkan oleh perbedaan durasi waktu *seeding* dan waktu pengolahan yang digunakan serta penambahan bakteri probiotik anaerob dan aerob guna membantu pertumbuhan biofilm dalam penelitian-penelitian tersebut. Dalam penelitian ini, waktu *seeding* dilakukan selama dua hari. Efisiensi penggunaan biofilter juga tercatat dalam penelitian Amri & Wesen (2022), yang menggunakan waktu seeding selama enam hari dan pengolahan selama tiga hari dalam kondisi anaerob dengan media bioball. Penurunan BOD mencapai 81,21% dan COD 80,97%. Durasi *seeding* dan pengolahan dalam penelitian tersebut berbeda dengan yang dilakukan oleh Anwar (2020) dan Amri & Widayatno (2023).

3.1.2 Koagulasi-Flokulasi

Pembubuhan biji papaya pada proses koagulasi flokulasi menunjukkan hasil nilai kekeruhan terendah yang menjadikan penentuan dosis optimum koagulan. Kondisi optimum pada pengadukan 150/40 rpm tercapai pada dosis 0,4 g/L efisensi penurunan kekeruhan 53,48% (174 NTU), nilai kekeruhan paling rendah pada variasi 150/30 rpm juga terjadi pada dosis 0,4 g/L efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 62,57% (140 NTU).



Gambar 5. Nilai kekeruhan setelah proses koagulasi flokulasi

3.2 Pembahasan

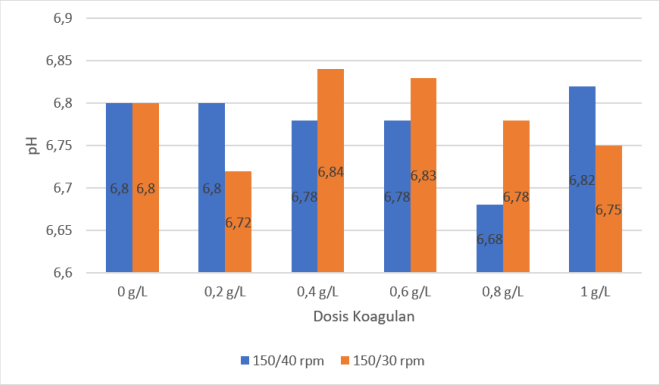
3.2.1 Dosis Optimum Biokogaulan

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, menunjukkan hubungan antara dosis biokoagulan dengan efisiensi penurunan kekeruhan. Efisiensi terbaik dicapai pada dosis 0,4 g/L baik pengadukan lambat 40 rpm dan 30 rpm, dengan nilai efisiensi sebesar 53,48% dan 62,57%. Hal ini menunjukkan bahwa pada dosis tersebut jumlah biokoagulan yang digunakan mampu membentuk flok yang optimal, sehingga menghasilkan pengendapan partikel koloid dan tersuspensi yang lebih efektif. Pada dosis yang lebih tinggi, seperti 0,2 g/L, masih lebih tinggi dari 0,4 g/L dan 0,6 g/L, 0,8 g/L, dan 1 g/L, tren data menunjukkan peningkatan nilai kekeruhan. Peningkatan ini kemungkinan besar disebabkan oleh fenomena overdosis biokoagulan, di mana jumlah biokoagulan yang berlebihan dapat menghasilkan pembentukan flok yang tidak stabil. Flok-flok yang terlalu besar atau berat menjadi mudah pecah dan menyebar kembali ke dalam larutan, sehingga meningkatkan tingkat kekeruhan air (Nurmalasari et al., 2019). Penurunan optimum pada dosis 0,4 g/L disebabkan oleh keseimbangan pembentukan flok. Protein dalam biji pepaya mengikat partikel tersuspensi, sedangkan pengadukan cepat 150 rpm mendispersikan biokoagulan secara merata, dan pengadukan lambat 40 rpm dan 30 rpm memfasilitasi flokulasi tanpa memecah flok (Ningsih,

2020). Dosis lebih tinggi (>0,4 g/L) menurunkan efisiensi karena overdosis menyebabkan flok tidak stabil. Berdasarkan kecepatan putaran pengadukan lambat pengadukan 30 rpm mendapatkan persentase penurunan yang lebih tinggi.

3.2.2 Perhitungan Nilai pH

Tingkat keasaman atau pH merupakan salah satu unsur terpenting yang memengaruhi keberhasilan proses koagulasi. Kualitas air dapat terpengaruh oleh proses yang dilakukan di luar kisaran pH ideal karena akan mengganggu pembentukan flok (Munar, 2022). Nilai pH sesuai dengan baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013.



Gambar 6. Grafik nilai pH

3.2.2 Nilai TSS, BOD , COD Air Limbah

***Total Suspended Solid* (TSS)**

TSS merupakan akumulasi partikel padat yang mengapung atau terlarut dalam air. Kenaikan kadar TSS dapat mencegah cahaya menembus air yang akan mengganggu fotosintesis (Munar, 2022). Kadar TSS setelah diolah di biofilter memiliki nilai sebesar 295 mg/L. Nilai tersebut belum sesuai dengan Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri, baku mutu TSS untuk air limbah tahu yaitu 100 mg/L. Hasil uji parameter TSS setelah dilakukan jar test tertera pada tabel berikut:

Tabel 2. Nilai TSS

Nilai In (mg/L)	Dosis Koagulan (g/L)	Pengadukan	Nilai Akhir (mg/L)	Penurunan (%)	Baku Mutu (mg/L)
295	0,4	150/40	173,6	41,15	100
	0,4	150/30	103,25	65	

Berdasarkan hasil analisis TSS dengan pengadukan 150 rpm dan 40 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L, terjadi penurunan. Konsentrasi akhir TSS yang terukur adalah 173,6

mg/L dengan efisiensi sebesar 41,15%, menunjukkan penurunan sebesar 121,4 mg/L dari konsentrasi awal. Dosis koagulan yang lebih tinggi memiliki dampak yang lebih besar dalam menurunkan konsentrasi TSS. Pengadukan 150 rpm dan 30 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L, terjadi penurunan konsentrasi TSS yang lebih lanjut. Konsentrasi akhir TSS yang terukur adalah 103,25 mg/L dengan efisiensi sebesar 65%, menunjukkan penurunan sebesar 191,75 mg/L dari konsentrasi awal. Dalam percobaan ini, dengan kecepatan pengadukan 150 rpm dan 30 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L merupakan kecepatan pengadukan serta dosis yang optimum untuk menghasilkan penurunan konsentrasi TSS.

***Biological Oxygen Demand* (BOD)**

BOD merupakan kemampuan limbah cair untuk menyerap jumlah oksigen yang diperlukan sehingga dapat diukur dan diketahui jumlah bahan organik dalam limbah tersebut (Tsanibillah, 2024). Kadar BOD, setelah diolah di biofilter, memiliki nilai sebesar 3.121 mg/L.

Tabel 3. Nilai BOD

Nilai In (mg/L)	Dosis Koagulan (g/L)	Pengadukan	Nilai Akhir (mg/L)	Penurunan (%)	Baku Mutu (mg/L)
3.121	0,4	150/40	1375	55,94	150
	0,4	150/30	1193	61,78	

Proses jar test dengan pengadukan 150 rpm dan 40 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L, terjadi penurunan konsentrasi BOD menjadi 1375 mg/L dengan efisiensi sebesar 55,94%. Percobaan jar test dengan pengadukan 150 rpm dan 30 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L, terjadi penurunan konsentrasi BOD menjadi 1193 mg/L dengan efisiensi sebesar 61,78%. Dalam percobaan ini, dengan kecepatan pengadukan 150 rpm dan 30 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L merupakan kecepatan pengadukan serta dosis yang optimum untuk menghasilkan penurunan konsentrasi BOD. Berdasarkan tabel di atas, kecepatan pengadukan yang paling optimum terjadi pada kecepatan 150 rpm dan 30 rpm. Hal ini karena pengadukan yang terlalu cepat dapat memecah flok yang terbentuk, sedangkan pengadukan yang terlalu lambat dapat memperlambat proses pembentukan flok dan mengurangi efektivitas koagulasi (Azizah *et al*., 2021).

***Chemical Oxygen Demand* (COD)**

COD (Chemical Oxygen Demand) adalah jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi bahan organik yang ada dalam air. Kadar COD, setelah diolah di biofilter, memiliki nilai sebesar 7.779 mg/L. Nilai tersebut jauh dari baku mutu yang ditetapkan dalam

Peraturan Gubernur Jawa Timur Nomor 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri, baku mutu COD untuk air limbah tahu yaitu 300 mg/L.

Tabel 4. Nilai COD

Nilai In (mg/L)	Dosis Koagulan (g/L)	Pengadukan	Nilai Akhir (mg/L)	Penurunan (%)	Baku Mutu (mg/L)
7.779	0,4	150/40	4.154	46,60	150
	0,4	150/30	3.751	51,78	

Proses jar test dengan pengadukan 150 rpm dan 40 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L, terjadi penurunan konsentrasi COD menjadi 4154 mg/L dengan efisiensi sebesar 46,60%. Peningkatan dosis koagulan berkontribusi pada efektivitas yang lebih tinggi dalam menurunkan konsentrasi COD. Serta percobaan running keempat jar test dengan pengadukan 150 rpm dan 30 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L, terjadi penurunan konsentrasi COD yang lebih lanjut. Konsentrasi akhir COD yang terukur adalah 3751 mg/L dengan efisiensi sebesar 51,78%. Pengadukan 150 rpm dan 30 rpm serta dosis koagulan 0,4 gram/L merupakan kecepatan pengadukan serta dosis yang optimum untuk menghasilkan penurunan konsentrasi COD.

Perbandingan dengan Biokoagulan

Perbedaan efektivitas antara biji pepaya dan tawas dalam menurunkan TSS, BOD, dan COD memberikan gambaran bahwa tawas lebih unggul dalam efisiensi teknis. Namun, penggunaan tawas dapat menghasilkan residu kimia yang berpotensi mencemari lingkungan. Di sisi lain, biji pepaya menawarkan solusi yang lebih ramah lingkungan meskipun dengan performa yang lebih rendah (Tabel 5).

Penurunan BOD oleh biji pepaya mencapai 55–61,78%, dimana *Moringa* (60–75%) dan chitosan (60–78%), serta setara dengan kulit pisang dan lumut spirogyra. Ini menunjukkan bahwa biji pepaya memiliki potensi kuat untuk menurunkan beban organik dalam air limbah dan layak digunakan pada sistem pengolahan sederhana tanpa bahan kimia sintetis. Penurunan COD oleh biji pepaya berada dalam kisaran 46–51%, lebih rendah dibandingkan biji kelor (60–75%) dan chitosan (60–78%), namun masih kompetitif dibandingkan kulit pisang (50–60%) dan ekstrak kacang koro (55–65%). Efisiensi penurunan TSS dengan biji pepaya berada di kisaran 41–65%, yang masih sebanding dengan efektivitas biokoagulan alami lainnya seperti kulit pisang (60–70%) dan ekstrak kacang koro (70–80%). Namun, biokoagulan seperti *Moringa oleifera* dan chitosan menunjukkan efektivitas yang jauh lebih tinggi (hingga 90–95%).

Tabel 5. Perbandingan biokoagulan dengan koagulan komersil

No	Biokoagulan	Efisiensi BOD (%)	Efisiensi COD (%)	Efisiensi TSS (%)	Efisiensi Kekeruhan (%)	Sumber
1	Biji Pepaya	55-61%	46-51%	41-65%	53-62%	Penelitian
2	Biji Moringa oleifera	65–80%	60–75%	70–90%	80–98%	Katayon *et al*. (2006), Okuda *et al*. (2001), Ndabigengesere *et al*. (1995)
3	Biji Kelor + Cangkang Telur	62%	70%	83%	92%	Wahyuni *et al*. (2022), Jurnal Rekayasa dan Manajemen Lingkungan
4	Biji Pepaya	56–70%	58–65%	60–75%	75–85%	Widiastuti *et al*. (2020), Jurnal Ilmu Lingkungan
5	Kulit Pisang	45–55%	50–60%	60–70%	70–80%	Riyadi *et al*. (2020), Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan
6	Lumut Spirogyra	70%	65%	85%	80%	Rahmawati *et al*. (2021), Jurnal Teknologi Lingkungan
7	Ekstrak Daun Kacang Koro Benguk	50–60%	55–65%	70–80%	75–90%	Damanik *et al*. (2019), Jurnal Teknik Kimia USU
8	Chitosan dari limbah udang	65–85%	60–78%	75–95%	85–98%	Divakaran & Pillai (2002), Huang *et al*. (2000)

Penurunan kekeruhan sebesar 53–62% termasuk cukup baik, namun memang lebih rendah dibandingkan kelor (80–98%) dan chitosan (85–98%). Perbedaan persentase penurunan paramter pencemar limbah dapat disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya: (1) Perbedaan karakteristik air limbah yang digunakan, (2) Metode ekstraksi koagulan yang mungkin memengaruhi kandungan zat aktif dalam biji pepaya, (3) pH dan suhu saat proses koagulasi-flokulasi yang memengaruhi efektivitas agregasi partikel, dan (4) dosis optimum yang digunakan dalam percobaan, yang bila kurang dari ideal dapat menurunkan efisiensi pengikatan partikel.

5. KESIMPULAN

Dosis optimum biokoagulan biji pepaya dengan pengadukan cepat 150 rpm dengan variasi kecepatan pengadukan lambat 40 rpm dan 30 rpm adalah 0,4 g/L. Persentase penurunan parameter TSS, BOD, dan COD pada kecepatan 150/40 rpm yaitu 41,15%, 55,94%, dan 46,60% sedangkan pada pengadukan 150/30rpm menghasilkan penurunan 65%, 61,78%, dan 51,78%.

DAFTAR PUSTAKA

Amri, A. A., & Widayatno, T. (2023). Penurunan kadar BOD, COD, TSS dan pH pada limbah cair tahu dengan menggunakan biofilter. *Inovasi Teknik Kimia*, *8*(1), 6–10.

Anwar, A. (2020). Pengolahan limbah cair industri tahu dengan menggunakan biofilter [Thesis, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry]. https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/14783/.

Abraham, R. (2019). Efficiency of tamarind and papaya seed powder as natural coagulants. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 06(04), 4849. www.irjet.net

APHA. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association.

Azizah, N., Masrulita, Suryati, Meriatna, & Bahri, S. (2021). Pengaruh kecepatan pengadukan dan dosis penambahan koagulan alami dari selulosa kulit biji bunga matahari (*Helianthus annus l*) terhadap penurunan kadar TSS dan TDS. *Chemical Engineering Journal Storage*, *1*(2), 11–23. https://ojs.unimal.ac.id/cejs/article/view/5036.

Damanik, R., Saragih, T. & Sitorus, E. (2019). Efektivitas ekstrak daun kacang koro benguk sebagai koagulan dalam penurunan kekeruhan air limbah domestik. *Jurnal Teknik Kimia* USU, 8(1), 45–50.

Fadhilah, N., & Sari, R. A. (2023). Analisis kualitas limbah cair industri tahu dan dampaknya terhadap sungai. *Jurnal Media Ilmu*, 22(1), 33–41.

Khairunnisa, S., & Hakim, L. (2023). Evaluasi parameter kualitas air limbah tahu menggunakan indeks pencemaran**.** *Jurnal Lingkungan dan Energi*, 14(2), 55–64.

Mayangsari, N. E., Ramadani, T. A., Jannah, N. M., & Widiana, D. R. (2021). Daur ulang limbah kemasan multilayer sebagai bahan pembuatan tawas untuk menurunkan parameter pencemar industri tahu. *Jurnal Teknologi*, 15, 97–103. https://doi.org/https://dx.doi.org/10.24853/jurtek.15.1.97-103

Ningsih, D. R. (2020). Efektivitas biokoagulan biji pepaya pada pengolahan limbah cair. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 15(2), 45-52.

Nurlina, Zahara, T. A., Gusrizal, & Kartika, I. D. (2015). Efektivitas penggunaan tawas dan karbon aktif pada pengolahan limbah cair industri tahu. Prosiding Bidang Kimia Seminar dan Rapat Tahunan (Semirata) 2015, Universitas Tanjungpura, Pontianak, 690 – 699. https://jurnal.untan.ac.id/index.php/semirata2015/article/view/14290

Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri.

Putra, A. Y., & Cahyono, A. W. (2023). Pengaruh limbah tahu terhadap biota air di sungai sekitar industri. *Satubumi: Jurnal Teknik Lingkungan*, 9(1), 12–20.

Rahmawati, E., Darwis, L. & Asbi, M. (2021). Pemanfaatan biomassa alga spirogyra sebagai biokoagulan dalam pengolahan limbah cair industri tahu. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 22(2), 155–163.

Riyadi, M., Nufus, H. & Akmal, N. (2020). Pemanfaatan kulit pisang sebagai koagulan alami dalam penjernihan air limbah domestik*. Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 12(1), 67–74.

Satyanarayan, S., Venerkar, A. P., & Ramakant. (2004). Organic removals from highly proteinous wastewater from soya milk and tofu manufacturing plant. *Journal of Environmental Science and Health*, Part A, 39(3), 759–771. https://doi.org/10.1081/ESE-120027740

Wahyuni, D., & Rahman, F. (2022). Respon ikan lele terhadap paparan limbah cair industri tahu. *Jurnal Pertanian Tropika*, 10(3), 45–53.

Wahyuni, I.S., Darmayanti, L. & Putra, Y.P. (2022). Pengaruh kombinasi serbuk biji kelor dan serbuk cangkang telur terhadap penurunan kekeruhan air limbah domestik. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Lingkungan*, 8(3), 90–97.

Widiastuti, I., Hidayat, A. & Prasetyo, R.B. (2020). Pemanfaatan biji pepaya sebagai koagulan alami dalam menurunkan kekeruhan dan bod air limbah rumah tangga. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 18(2), 45–52.