



Penggunaan Biji Pepaya Sebagai Koagulan Alami Dalam Pengolahan Air Limbah Domestik

Syardah Ugra Al Adawiyah ^{1*}, Faryda Veronica Lamma Koly ²

¹ Program Studi Teknik Kimia Mineral, Politeknik ATI Makassar, Jl. Sunu No.220 Suangga, Kota Makassar, 90211, Indonesia

² Program Studi Kimia, Universitas Tribuana Kalabahi, Jl. Soekarno-Hatta Batunirwala, Kabupaten Alor, 85817, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: September 26, 2024

Revised: October 25, 2024

Accepted: November 11, 2024

KEYWORDS

Coagulan, Papaya Seed, Phosphate, Wastewater

CORRESPONDENCE*

Name: Syardah Ugra Al Adawiyah

E-mail: syardah26@atim.ac.id

A B S T R A C T

One of the chemical contaminants in domestic wastewater is phosphate. High phosphate levels in water can cause algae bloom (eutrophication), which leads to a decrease in oxygen concentration in the water body and subsequently results in the death of aquatic organisms. Papaya seeds contain natural polymers in the form of proteins that act as natural polyelectrolytes, helping to reduce chemical contaminants in waste. This study aims to determine the most effective dose of papaya seed coagulant (*Carica papaya L.*) for lowering phosphate levels, turbidity and pH of domestic wastewater. An experimental method was used with varying sizes and doses of papaya seed coagulant: 70, 80 dan 90 mesh, and doses: 0.5 grams, 1 gram, 1.5 grams, and 2 grams, tested using a jar test. The reduction in phosphate levels in domestic wastewater was measured with a UV-Vis spectrophotometer. The results showed the treatment of domestic wastewater for reducing phosphate levels using papaya seed (*Carica papaya L.*) coagulant can be achieved by adding 2 grams of coagulant with a particle size of 90 mesh. Under these conditions, the phosphate levels decreased from 2.1529 mg L^{-1} to 0.1907 mg L^{-1} , with an efficiency of 88.96%. According to the Domestic Wastewater Quality Standard No. 68 of 2016, the maximum allowable phosphate concentration is 0.2 mg L^{-1} , making the research results close to the established standard. Additionally, turbidity decreased from 86.55 NTU to 26.40 NTU, while the pH level increased from 6.5 to 6.9. This study suggests that papaya seeds could be a cost-effective, sustainable alternative for domestic wastewater treatment, especially in reducing phosphate contamination and helping maintain water quality

PENDAHULUAN

Air limbah domestik adalah limbah cair yang dihasilkan dari berbagai aktivitas seperti usaha komersial, rumah makan, perkantoran, apartemen, dan asrama [1]. Salah satu polutan kimia utama dalam limbah ini adalah fosfat, yang berasal dari aktivitas manusia, termasuk penggunaan deterjen, pupuk pertanian, dan limbah rumah tangga. Kadar fosfat yang tinggi dalam badan air dapat memicu pertumbuhan alga yang berlebihan, menurunkan konsentrasi oksigen, dan berakibat pada kematian biota air. Selain itu, fosfat dalam limbah cair dapat menyebabkan iritasi kulit dan, jika terakumulasi,

berpotensi meningkatkan risiko kanker [2]. Pengolahan limbah cair domestik dapat dilakukan melalui metode koagulasi-flokulasi. Koagulasi merupakan proses di mana ion bermuatan berlawanan dengan koloid dalam limbah cair digunakan untuk menetralkan stabilitas ion tersebut. Flokulasi, sebagai lanjutan dari koagulasi, melibatkan pembentukan flok yang lebih besar dari mikrofloks yang terbentuk sebelumnya, dengan bantuan pengadukan lambat, sehingga partikel koloid dapat mengendap [3].

Koagulan adalah zat yang ditambahkan dalam proses koagulasi dan flokulasi untuk membantu pengendapan partikel. Koagulan berfungsi mendestabilisasi koloid

dengan cara menetralkan muatan koloid, sehingga memungkinkan terbentuknya flok yang lebih mudah mengendap. Efektivitas koagulan ditentukan berdasarkan karakteristik air limbah untuk meningkatkan efisiensi pengolahan, sehingga mencapai kualitas air yang diinginkan [4]. Koagulan alami dapat digunakan dalam proses koagulasi karena kandungan protein yang tinggi berfungsi sebagai polielektrolit. Polielektrolit adalah polimer yang memiliki muatan positif atau negatif dari gugus yang terionisasi. Dalam pelarut polar seperti air, gugus ini dapat terdisosiasi, meninggalkan muatan pada rantai polimernya dan melepaskan ion berlawanan ke dalam larutan. Peningkatan konsentrasi polielektrolit akan mengurangi stabilitas koloid dan mengurangi gaya tolak menolak antara partikel, sehingga mendukung proses pengendapan [5].

Salah satu biokoagulan yang dapat digunakan dalam proses koagulasi-flokulasi adalah biji pepaya (*Carica papaya L.*), karena memiliki kandungan tanin yang berfungsi sebagai peng kompleks sehingga mampu mengikat molekul-molekul dan mengendapkan pengotor. Selain itu, biji pepaya mengandung banyak protein yang berfungsi sebagai agen koagulan [6]. Protein bermuatan positif dalam biji pepaya mampu mengikat partikel bermuatan negatif dalam limbah cair sehingga molekul-molekulnya tersebut mengendap dan air menjadi lebih jernih melalui proses neutralisasi dan penyerapan muatan [7]. Analisis proksimat terhadap serbuk biji pepaya menunjukkan bahwa biji pepaya mengandung 28,1% protein. Kandungan protein ini membantu pembentukan dan pengendapan partikel yang kemudian dapat dipisahkan dari limbah cair sehingga air menjadi lebih jernih [8].

Dalam pemanfaatan biji pepaya sebagai koagulan, dilakukan analisis proksimat untuk menentukan kualitas dari serbuk biji pepaya meliputi kadar air, kadar abu dan kadar protein. Analisis FTIR untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang dapat mengikat fosfat [9]. Pengujian kadar fosfat dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis, yang bertujuan untuk menentukan konsentrasi fosfat dalam sampel [10].

Biji pepaya memiliki potensi yang besar sebagai biokoagulan untuk digunakan dalam pengolahan limbah cair dan dapat digunakan sebagai alternatif pengganti koagulan kimia yang biasa digunakan dalam pengolahan air limbah. Biokoagulan memiliki berbagai kelebihan diantaranya adalah mudah terdegradasi, aman terhadap lingkungan, ekonomis, serta bahan baku yang mudah dijumpai [11].

METODOLOGI

Karakterisasi Biji Pepaya

Biji pepaya kering dan telah dihaluskan dikarakterisasi menggunakan FTIR Merk Shimadzu Type IR Prestige-21 dengan panjang gelombang antara 4000-400 cm^{-1} untuk mengetahui gugus fungsi yang ada dalam biji pepaya.

Uji Proksimat Biji Pepaya

Analisa kadar air menggunakan metode gravimetri (AOAC Association of Official Analytical Collaboration, 2007), kadar abu menggunakan metode gravimetri (AOAC, Association of Official Analytical Collaboration 2005), dan analisis protein menggunakan metode Kjeldahl.

Proses Koagulasi

Biji pepaya dibersihkan dengan air kemudian dipanaskan pada oven dengan suhu 105°C selama 5 jam dan dengan suhu 50°C selama 16 jam. Biji pepaya diblender dan dihaluskan hingga menjadi serbuk. Setelah itu, diayak serbuk dengan ayakan yang berukuran 60 mesh, 70 mesh dan 80 mesh. Limbah cair dituangkan ke dalam beberapa gelas kimia yang telah disiapkan. Pada setiap gelas kimia ditambahkan koagulan yang sebelumnya telah dibuat dari ekstrak biji pepaya berukuran partikel 70, 80, dan 90 mesh dengan dosis 0,5 gram; 1 gram; 1,5 gram; dan 2 gram. Lalu diaduk menggunakan jar test dengan kecepatan 150 rpm selama 5 menit. Dilanjutkan dengan pengadukan lambat menggunakan jar test pada kecepatan 50 rpm selama 30 menit. Kemudian dilakukan proses sedimentasi selama 60 menit. Lalu diukur kekeruhan, nilai pH, dan analisis kadar fosfat.

Pengujian Kadar Fosfat Menggunakan Spektrofotometer UV-Vis

Nilai kadar Fosfat diuji menggunakan Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu UV-1200 dengan panjang gelombang 880 nm.

Analisa Data Proksimat, Fosfat dan Turbiditas

$$\text{Kadar air (\%)} = \frac{W_1}{W} \times 100\% \dots (1)$$

Keterangan:

W : Massa sampel sebelum dipanaskan (gram)

W₁ : Massa yang hilang setelah dikeringkan (gram)

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100\% \dots (2)$$

Keterangan:

W : Massa sampel sebelum diabukan (gram)

W₁ : Massa sampel dan cawan setelah diabukan (gram)

W₂ : Massa cawan kosong (gram)

Kadar Protein (%)

$$= \frac{(V_1 - V_2) \times N \text{ HCl} \times 14,008 \times f.k \times f.p}{W} \dots (3)$$

Keterangan :

W : Bobot cuplikan (mg)

V₁ : Volume HCl yang dipergunakan penitaran contoh (mL)

V₂ : Volume HCl yang dipergunakan penitaran blanko (mL)

N : Normalitas HCl (N)

f.k : Faktor konversi protein makanan secara umum 6,25

f.p. : Faktor pengenceran

$$\text{Kadar fosfat } \left(\text{mg } \frac{\text{P}}{\text{L}} \right) = C \times f.p \dots (4)$$

Keterangan:

C : Kadar yang diperoleh dari hasil pengukuran (mg/L)

Fp : Faktor pengenceran

$$\text{Turbiditas } (\%) = \frac{A-B}{A} \times 100\% \dots (5)$$

Keterangan:

A : Kekeruhan awal

B : Kekeruhan akhir

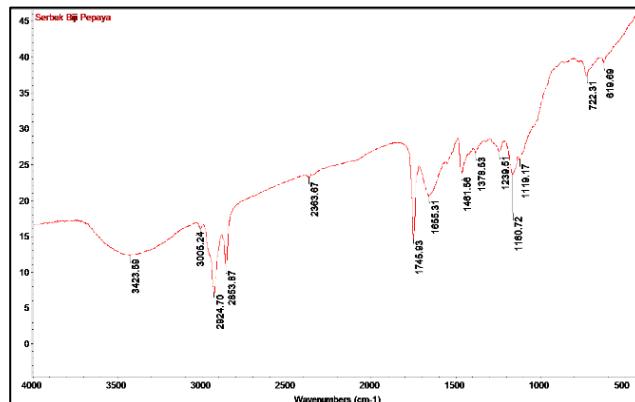
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi Biji Pepaya

Karakterisasi koagulan biji pepaya dilakukan dengan spektroskopi *inframerah Fourier transform* (FTIR) untuk mengidentifikasi gugus fungsional yang berpotensi mengadsorpsi ion fosfat. Spektrum FTIR menunjukkan adanya gugus karboksil, hidroksil, dan amina yang mengindikasikan keberadaan protein sebagai polielektrolit alami. Hasil analisis FTIR ditampilkan pada Gambar 1. Berdasarkan Gambar 1, terdapat ikatan O-H pada bilangan gelombang 3423,59 cm⁻¹, ikatan C=O pada bilangan gelombang 1745,93 cm⁻¹, ikatan N-H pada bilangan gelombang 3423,59 cm⁻¹, dan ikatan C-O pada bilangan gelombang 1119,17 cm⁻¹. ikatan O-H dan C-O menunjukkan gugus karboksil dan hidroksil, sementara ikatan N-H menunjukkan adanya gugus amina. Gugus amin ini memiliki potensi sebagai protein. Protein ini berfungsi sebagai polielektrolit alami, yang memiliki fungsi yang sama dengan koagulan kimia [12].

Biji pepaya mengandung protein dengan muatan positif. Dalam kondisi pH asam, protein yang memiliki (-NH₂) akan terprotonasi menjadi (-NH₃⁺), dan membuatnya sebagai polielektrolit kationik [13]. Ketika protein ini bertemu dengan koloid yang memiliki muatan yang sama, ion-ion tersebut akan mengalami penolakan, sedangkan ion dengan muatan berbeda akan tarik menarik. Prinsip perbedaan muatan antara koloid dan

koagulan ini menjadi dasar terjadinya koagulasi. Proses koagulasi akan berlangsung lebih cepat jika terdapat lebih banyak ion dengan muatan berbeda [14].



Gambar 1. Gugus fungsional koagulan biji papaya

Proses koagulasi terjadi ketika ion positif dari koagulan biji pepaya berinteraksi dengan ion fosfat bermuatan negatif dalam limbah. Interaksi ini menetralkan muatan partikel koloid, menyebabkan mereka saling menempel dan membentuk flok yang lebih besar. Pengadukan lambat membantu mempercepat proses penggabungan flok ini sehingga partikel-partikel yang lebih berat dapat mengendap ke dasar [15].

Analisis Proksimat Biji Papaya

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, uji proksimat biji pepaya (*Carica papaya L.*) ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan nilai kadar air sebesar 19,25%, kadar abu 1,34%, dan kadar protein 22,17%. Penentuan kadar air dilakukan dengan metode gravimetri. Kadar air dari biji papaya adalah 19,25%, hal ini menunjukkan bahwa kadar airnya cukup rendah sehingga dapat digunakan menjadi koagulan. Kadar air merupakan salah satu faktor penting yang perlu diperhatikan dalam penggunaan biji pepaya sebagai koagulan. Kadar air yang optimal akan memastikan koagulan dapat larut dengan baik, berinteraksi secara efektif dengan partikel koloid, dan menghasilkan efisiensi koagulasi yang tinggi. Jika kandungan air dalam biji pepaya tinggi, maka kemampuannya dalam menyerap limbah cair akan semakin rendah [16]. Kadar abu ditentukan dengan metode gravimetri, yang melibatkan pengoksidasi zat-zat organik pada suhu tinggi dan penimbangan sisa yang tertinggal. Nilai kadar abu yang diperoleh adalah 1,34%, nilai ini cukup rendah dan menunjukkan bahwa pengotor-pengotor dari serbuk biji papaya sangat kurang. Sehingga koagulan ini lebih murni dan memiliki lebih banyak komponen aktif yang berfungsi dalam proses koagulasi [17]. Sementara itu, kadar protein ditentukan menggunakan metode Kjeldahl, yang menganalisis kadar protein kasar dalam suatu bahan secara tidak langsung, dengan mengalikan hasil analisis dengan angka konversi

untuk mendapatkan nilai protein dalam bahan tersebut. Kadar protein yang signifikan (22,17%) dalam biji pepaya berkorelasi dengan kemampuan ekstraknya dalam mengadsorpsi partikel koloid, mendukung penggunaannya sebagai koagulan alami. Hal ini diperkuat oleh adanya gugus fungsional tertentu yang teridentifikasi melalui analisis FTIR [18].

Tabel 1. Hasil Analisis Proksimat Biji Pepaya

Parameter	Hasil (%)
Kadar Air	19,25
Kadar Abu	1,34
Kadar Protein	22,17

Uji Kadar Fosfat

Pengujian kadar fosfat dilakukan menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan metode asam askorbat. Hasil dari uji kadar fosfat pada Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin tinggi dosis yang diberikan, semakin besar pula potensi penurunan kadar fosfat. Hal ini dikarenakan semakin banyak partikel koagulan yang berinteraksi dengan ion fosfat, sehingga semakin banyak fosfat yang dapat diendapkan [19].

Tabel 2. Hasil Uji Kadar Fosfat

Ukuran Partikel (mesh)	Dosis Biji Pepaya (gram)	Fosfat (mg L ⁻¹)	
		Sebelum Jar test	Setelah Jar test
70	0,5		0,6837
	1		0,6677
	1,5		0,4354
	2		0,4025
80	0,5		0,4674
	1		0,3981
	1,5		0,2806
	2		0,2377
90	0,5		0,2124
	1		0,2021
	1,5		0,1984
	2		0,1907

Selain itu, Semakin kecil ukuran partikel, maka semakin kecil kadar fosfat pada air limbah. Hal ini karena, semakin kecil ukuran partikel semakin besar luas permukaan yang tersedia untuk berinteraksi dengan ion fosfat yang memungkinkan adsorpsi dan koagulasi yang

lebih efektif, sehingga kadar fosfat dalam air dapat diturunkan secara lebih optimal [20]. Dosis dan ukuran partikel yang paling efektif dalam menurunkan konsentrasi fosfat adalah pada dosis 2 gram dengan ukuran partikel 90 mesh dengan kadar fosfat adalah 0,1907 mg L⁻¹. Hal ini sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. P.68/Menlhk-Setjen/2016 tentang Baku Mutu Air Limbah Domestik, yang menyatakan bahwa kadar maksimum fosfat adalah 0,2 mg L⁻¹.

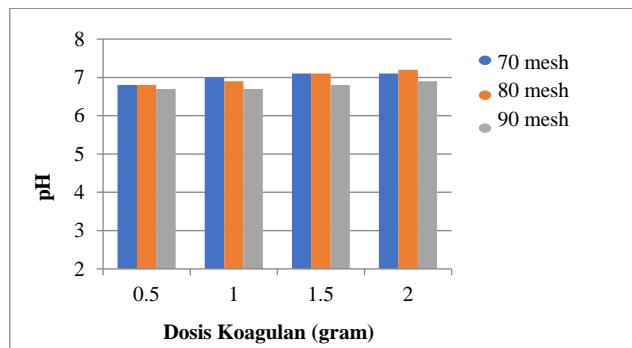
Uji pH dan Turbiditas

Pengukuran pH atau derajat keasaman sampel limbah cair dilakukan menggunakan pH meter digital KL-03, hasil pengukuran nilai pH dan turbiditas ditunjukkan pada Tabel 3. Pertama, kalibrasi alat dilakukan dengan larutan buffer. Selanjutnya, sampel limbah cair sebanyak 80 mL dimasukkan ke dalam gelas kimia, dan elektroda dicelupkan ke dalam sampel. Nilai pH akan muncul di layar. pH merupakan parameter yang menunjukkan konsentrasi ion H⁺ dalam larutan. Kondisi asam pada sampel memungkinkan proses destabilisasi antara partikel koagulan dan partikel limbah berlangsung optimal, sehingga mekanisme neutralisasi muatan dapat berjalan maksimal dan menghasilkan flok yang dapat dipisahkan dari limbah. Pada Gambar 2 terlihat bahwa tidak ada perubahan signifikan pada pH di setiap dosis dan ukuran partikel. Nilai pH menunjukkan peningkatan dari kondisi awal setelah penambahan koagulan. Senyawa tanin, yang umum ditemukan pada tanaman, dapat meningkatkan pH sampel meskipun hasilnya tidak signifikan, dengan kenaikan nilai pH hanya sekitar 0,1. [21].

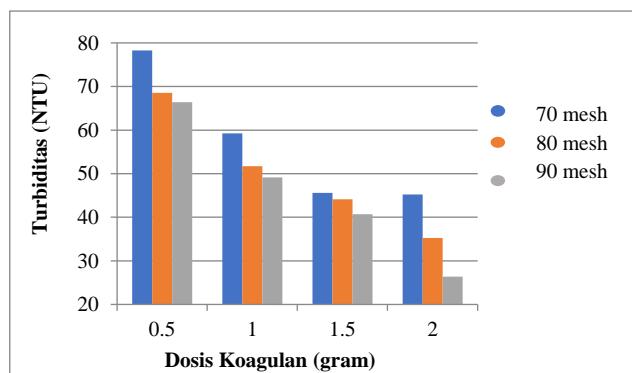
Pengukuran turbiditas atau kekeruhan pada sampel limbah cair dilakukan menggunakan alat turbidimeter 2100Q. Sebelum pengukuran, proses kalibrasi alat dilakukan dengan memasukkan larutan kalibrasi dengan nilai 1000 NTU, 10 NTU, dan 0,02 NTU ke dalam turbidimeter. Pada Gambar 3 terlihat bahwa terjadi penurunan nilai turbiditas air limbah setelah proses koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan biji pepaya. Dosis dan ukuran partikel yang optimal untuk menurunkan konsentrasi fosfat adalah 2 gram dengan ukuran partikel 90 mesh. Penggunaan dosis dan ukuran partikel yang tepat memudahkan destabilisasi partikel, sehingga flok terbentuk lebih cepat, yang pada akhirnya mengurangi tingkat turbiditas pada limbah [22].

Tabel 3. Hasil Pengukuran Nilai pH dan Turbiditas

Ukuran Partikel (mesh)	Dosis Biji Pepaya (gram)	Turbiditas (NTU)		pH	
		Sebelum Jar Test	Setelah Jar Test	Sebelum Jar Test	Setelah Jar Test
70	0,5		78,30		6,8
	1	86,55	59,25	6,5	7,0
	1,5		45,60		7,1
	2		45,25		7,1
80	0,5		68,55		6,8
	1	86,55	51,70	6,5	6,9
	1,5		44,10		7,1
	2		35,25		7,2
90	0,5		66,40		6,7
	1	86,55	49,15	6,5	6,7
	1,5		40,70		6,8
	2		26,40		6,9



Gambar 2. Plot dosis dan ukuran koagulan vs pH



Gambar 3. Plot dosis dan ukuran koagulan vs turbiditas

KESIMPULAN

Pengolahan limbah cair domestik dalam penurunan kadar fosfat dengan menggunakan koagulan biji pepaya (*Carica papaya L.*) paling efektif dapat dilakukan dengan melakukan penambahan dosis koagulan sebanyak 2 gram dengan ukuran partikel 90 mesh. Pada nilai tersebut diperoleh hasil penurunan kadar fosfat dari 2,1529 mg L⁻¹ menjadi 0,1907 mg L⁻¹ dengan efisiensi sebesar 88,96%. Berdasarkan Baku Mutu Air Limbah Domestik No. 68 Tahun 2016 nilai maksimum konsentrasi fosfat

sebesar 0,2 mg L⁻¹, sehingga hasil penelitian telah sesuai dengan baku mutu yang telah ditetapkan. Nilai turbiditas mengalami penurunan dari 86,55 NTU menjadi 26,40 NTU. Selain itu, nilai pH mengalami kenaikan dari 6,5 menjadi 6,9. Penggunaan biji pepaya sebagai koagulan alami menawarkan solusi yang lebih hijau, ekonomis, dan berkelanjutan dibandingkan metode koagulasi kimia konvensional dan tetap mempertahankan efektivitas dalam mengolah air limbah domestik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. R. Wulandari, "Perencanaan Pengolahan Air Limbah Sistem Terpusat (Studi Kasus di Perumahan PT. Pertamina Unit Pelayanan III Plaju - Sumatera Selatan)," *J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 2, no. 3, pp. 499–509, 2014.
- [2] B. Suharto, F. Anugroho, and F. K. Putri, "Penurunan Kadar Fosfat Air Limbah Laundry Menggunakan Kolom Adsorpsi Media Granular Activated Carbon (GAC)," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 7, no. 1, pp. 36–46, 2020, doi: 10.21776/ub.jsal.2020.007.01.5.
- [3] A. R. Bangun, S. Aminah, R. A. Hutahaean, and M. Y. Ritonga, "Pengaruh Kadar Air, Dosis dan Lama Pengendapan Koagulan Serbuk Biji Kelor Sebagai Alternatif Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 2, no. 1, pp. 7–13, 2013, doi: 10.32734/jtk.v2i1.1420.
- [4] A. I. Cissouma, F. Tounkara, M. Nikoo, N. Yang, and X. Xu, "Physico Chemical Properties and Antioxidant Activity of Roselle Seed Extracts," *Adv. J. Food Sci. Technol.*, vol. 5, no. 11, pp. 1483–1489, 2013, doi: 10.19026/ajfst.5.3371.
- [5] H. Hendrawati, D. Syamsumarsih, and N. Nurhasni, "Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica L.*) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus L.*) Sebagai Koagulan Alami Dalam Perbaikan Kualitas Air

Tanah," *J. Kim. Val.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–34, 2013, doi: 10.15408/jkv.v3i1.326.

[6] D. Y. Lestari, D. Darjati, and M. Marluk, "Penurunan Kadar BOD, COD, dan Total Coliform dengan Penambahan Biokoagulan Biji Pepaya (*Carica papaya* L) (Studi pada Limbah Cair Domestik Industri Baja di Surabaya Tahun 2020)," *J. Kesehat. Lingkung.*, vol. 18, no. 1, pp. 49–54, 2021, doi: 10.31964/jkl.v18i1.288.

[7] A. J. Chandran and D. George, "Use of Papaya Seed as a Natural Coagulant for Water Purification," *Int. J. Sci. Eng. Res.*, vol. 6, no. 3, pp. 41–46, 2015.

[8] A. A. Anggorowati, "Serbuk Biji Buah Semangka dan Pepaya Sebagai Koagulan Alami dalam Penjernihan Air," *Cakra Kim. (Indonesian E-Journal Appl. Chem.*, vol. 9, no. 1, pp. 18–23, 2021.

[9] I. Andriansyah, H. N. M. Wijaya, and P. Purwaniati, "Analisis Adulteran pada Kopi Luwak dengan Metode Fourier Transform Infrared (FTIR)," *J. Kim. Ris.*, vol. 6, no. 1, pp. 26–38, 2021, doi: 10.20473/jkr.v6i1.23397.

[10] S. M. Khopkar, *Konsep Dasar Kimia Analitik*. Jakarta: UI Press, 1990.

[11] A. Pratama, I. W. Wardhana, and E. Sutrisno, "Penggunaan Cangkang Udang sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan Kadar Tss, Kekeruhan dan Fosfat pada Air Limbah Usaha Laundry," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 5, no. 2, 2016.

[12] N. R. Ningsih, "Efektivitas Biji Melon (*Cucumis melo* L.) dan Biji Pepaya (*Carica papaya* L.) Sebagai Koagulan Alami Untuk Menurunkan Parameter Pencemar Air Limbah Industri Tahu," Skripsi. UIN Sunan Ampel Surabaya, 2020.

[13] H. Kristianto, M. A. Kurniawan, and J. N. M. Soetedjo, "Utilization of Papaya Seeds as Natural Coagulant for Synthetic Textile Coloring Agent Wastewater Treatment," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 8, no. 5, pp. 2071–2077, 2018, doi: 10.18517/ijaseit.8.5.3804.

[14] H. Setyawati, M. Kriswantono, D. A. Nisa, and R. Hastuti, "Serbuk Biji Kelor Sebagai Koagulan pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pabrik Tahu," *Ind. Inov. J. Tek. Ind.*, vol. 7, no. 2, pp. 1–6, 2017.

[15] S. E. Elpani, M. J. Gunawan, E. Aviventi, and R. A. Sabila, "Utilization of Natural Coagulant Substance (Tamarind and Winged Bean Seed) on The Quality of Tofu Wastewater in Muntilan, Magelang," *Indones. J. Chem. Environ.*, vol. 2, no. 1, pp. 25–32, 2020, doi: 10.21831/ijce.v2i1.30294.

[16] H. Setyawati, S. T. Salamia, and S. A. Sari, "Penerapan Penggunaan Serbuk Biji Kelor Sebagai Koagulan pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pabrik Tahu di Sentra Industri Tahu Kota Malang," *Ind. Inov. J. Tek. Ind.*, vol. 8, no. 1, pp. 21–31, 2018, doi: 10.36040/industri.v8i1.669.

[17] S. Sudarmadji, B. Haryono, and S. Suhardi, *Analisa Bahan Makanan dan Pertanian*. Yogyakarta: Liberty, 2003.

[18] J.-Å. Persson, *Handbook for Kjeldahl Digestion*. Denmark: FOSS, 2008.

[19] A. Andre, I. W. Wardana, and E. Sutrisno, "Penggunaan Tepung Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Sebagai Biokoagulan untuk Menurunkan Kadar Fosfat dan COD pada Air Limbah Usaha Laundry," *J. Tek. Lingkung.*, vol. 4, no. 4, pp. 1–5, 2015.

[20] P. Deepthi, C. Sarala, and K. Mukkanti, "Application of Natural Adsorbents for Wastewater Treatment," *Int. J. Res.*, vol. 2, no. 7, pp. 556–561, 2015.

[21] S. Elpani, M. Gunawan, E. Aviventi, and R. Sabila, "Utilization of Natural Coagulant Substance (Tamarind and Winged Bean Seed) on the Quality of Tofu Wastewater in Muntilan, Magelang," *Indones. Journla Chem. Environ.*, p. 2, 2020.

[22] N. Ngadi and N. A. Yusoff, "Treatment of Textile Wastewater Using Biodegradable Flocculants of Chitosan and Extracted Pandan Leaves," *J. Teknol.*, vol. 64, no. 1, pp. 1–7, 2013, doi: 10.11113/jt.v64.1647.