

PERBANDINGAN BIJI PEPAYA (*Carica papaya* L.) SEBAGAI BIKOAGULAN DAN *POLY ALUMINIUM CHLORIDE* (PAC) SEBAGAI KOAGULAN KIMIAWI PADA PENGOLAHAN AIR TANAH, KELURAHAN KOTA BAMBUS SELATAN, JAKARTA BARAT

NADIA AMALIA CAHYANINGRUM¹, RIANA AYU KUSUMADEWI¹, WINARNI, SARAH APHIRTA¹

1. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lansekap dan Teknologi Lingkungan, Universitas Trisakti

Email: rianaayu.kusumadewi@trisakti.ac.id

ABSTRAK

Air tanah di Kelurahan Kota Bambu Selatan mengandung kekeruhan dan TDS yang tinggi, sehingga harus diolah terlebih dahulu. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur tingkat efisiensi penggunaan biokoagulan biji pepaya dan koagulan kimiawi Poly Aluminium Chloride (PAC) dalam menyisihkan kadar kekeruhan dan TDS. Metode yang digunakan adalah koagulasi dengan variasi G.td koagulasi 17.000, 34.000, 48.000, dan 96.000; flokulasi G.td 28.000; variasi dosis biokoagulan 100-500 mg/L; dan variasi dosis PAC 5-25 mg/L. Hasil dari pengolahan menggunakan biokoagulan biji pepaya telah menyisihkan kekeruhan dan TDS sebesar 96,54% dan 44,86%, sedangkan hasil dari PAC telah menyisihkan kekeruhan dan TDS sebesar 75,93% dan 17,57%. Penggunaan biokoagulan biji pepaya membutuhkan biaya sebesar Rp 254,26/liter dan penggunaan koagulan PAC membutuhkan biaya sebesar Rp 350,18/liter. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil penyisihan kekeruhan dan TDS pada air tanah dengan menggunakan biokoagulan biji pepaya lebih optimal dibandingkan dengan menggunakan koagulan PAC dan juga penggunaan biokoagulan biji pepaya memiliki biaya yang lebih ekonomis dibandingkan dengan penggunaan koagulan PAC.

Kata kunci: biokoagulan, air tanah, biji pepaya, poli aluminium klorida.

ABSTRACT

The groundwater in Kota Bambu Selatan Village contains high turbidity and TDS, so it must be treated first. The purpose of this research is to compare the results and the cost of groundwater treatment using papaya seed biocoagulant and PAC coagulant to remove turbidity and TDS parameters. The methods used were coagulation with variations of coagulation G.td of 17,000, 34,000, 48,000, and 96,000; flocculation G.td of 28,000; biocoagulant doses range of 100-500 mg/L; and PAC doses range of 5-25 mg/L. The results of the treatment using papaya seed biocoagulants have removed turbidity and TDS of 96,54% and 44,86%, while the results of PAC have removed turbidity and TDS of 75,93% and 17,57%. The use of papaya seeds biocoagulant cost of IDR 254.26 /liter and the use of PAC coagulant cost of IDR 350.18 /liter. Based on these results, it can be concluded that the turbidity and TDS removal results in groundwater using papaya seed biocoagulant are better than using PAC coagulant and also the use of papaya seeds biocoagulant has more economical cost compared than the use of PAC coagulant.

Keywords: biocoagulant, groundwater, papaya seeds, poly aluminium chloride.

1. PENDAHULUAN

Air adalah salah satu kebutuhan utama dan sumber bagi kehidupan manusia. Untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, kualitas dan jumlah air yang tersedia harus memadai. Ketersediaan air yang berkelanjutan sangat penting dalam menjaga kesehatan dan stabilitas ekonomi masyarakat. Seiring dengan perkembangan fisik dan sosial suatu wilayah, permintaan akan air juga akan terus meningkat. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lebih mendalam tentang sumber daya air tanah. Penelitian lebih lanjut juga diperlukan untuk mendukung pencapaian salah satu target *Sustainable Development Goals* (SDGs) tahun 2030, yaitu poin keenam yang berfokus pada air bersih dan sanitasi layak dengan memastikan ketersediaan dan pengelolaan air serta sanitasi yang berkelanjutan untuk semua. Pengelolaan air tanah perlu disesuaikan dengan cadangan yang ada untuk memenuhi kebutuhan manusia. Namun, ketersediaan air tanah terbatas karena dipengaruhi oleh faktor geometri dan distribusi akuifer, sementara kualitasnya sering kali tidak memenuhi standar air minum (Naryanto, 2013). Sumber alami air minum pun tergolong terbatas karena banyak diantaranya telah tercemar dan tidak memenuhi standar kualitas air minum. Oleh karena itu, pengolahan air perlu dilakukan sebelum air baku dapat digunakan sebagai air minum.

Penambahan koagulan efektif dalam mengurangi kekeruhan dan *Total Dissolved Solid* (TDS) (Hendrawati dkk., 2016). Koagulan kimia yang umum digunakan meliputi aluminium sulfat (tawas), PAC (*Poly Aluminium Chloride*), FeSO_4 , dan FeCl_3 . Namun, penggunaan koagulan kimia dapat meningkatkan risiko penyakit Alzheimer serta memiliki sifat neurotoksik (Hendrawati dkk., 2013). Seiring perkembangan zaman, semakin banyak penelitian yang menemukan alternatif bahan alami sebagai koagulan. Penggunaan bahan alami memiliki banyak keuntungan, seperti sifat yang *biodegradable*, lebih aman bagi lingkungan dan kesehatan, serta ekonomis karena mudah diperoleh dari kehidupan sehari-hari. Selain itu, bahan alami juga dapat membantu mengurangi limbah organik (Prihatinningtyas dkk., 2013). Koagulan alami biasanya diekstrak dari biomassa yang berasal dari tumbuhan atau hewan. Salah satu bentuknya adalah biji pepaya (*Carica papaya L.*). Indonesia merupakan salah satu produsen pepaya terbesar, dimana pada tahun 2023 telah mencapai 1,17 juta ton dengan peningkatan 14,94% dari tahun sebelumnya (Badan Pusat Statistik, 2023). Seiring peningkatan produksi pepaya, jumlah limbah biji pepaya juga meningkat sehingga perlu dimanfaatkan. Biji pepaya mengandung protein yang tinggi sehingga dapat berperan sebagai polielektrolit untuk menjaga kestabilan koloid pada air tanah sehingga dapat membentuk dan mengendapkan flok secara maksimal (George dan Chandran, 2018). Air baku yang digunakan bersumber dari air tanah yang digunakan di MCK Kelurahan Kota Bambu Selatan, Jakarta Barat. Sebanyak 85% penduduk Kelurahan Kota Bambu Selatan masih menggunakan air tanah sebagai sumber air minum (Kelurahan Kota Bambu Selatan, 2023). Namun, menurut hasil observasi Seksi Prasarana Sarana dan Kebersihan Lingkungan Kelurahan Kota Bambu Selatan tahun 2023, air tersebut mengandung kekeruhan dan TDS yang tinggi, sehingga harus diolah terlebih dahulu agar tidak menyebabkan masalah kesehatan pada manusia. Salah satu metode untuk menghilangkan kekeruhan dan TDS adalah koagulasi dan flokulasi dengan menambahkan koagulan (Puteri dkk, 2020). Koagulasi dan flokulasi adalah metode pengolahan air baku yang bertujuan untuk mendestabilisasi partikel-partikel koloid agar dapat bergabung menjadi partikel yang lebih besar sehingga dapat diendapkan dalam proses sedimentasi (Hendrawati dkk., 2016).

Keberadaan kekeruhan dan TDS menjadi permasalahan dalam kualitas air minum. Hal ini juga terjadi pada salah satu sungai di India yang digunakan masyarakat sebagai sumber air minum, domestik, industri, dan instalasi pengolahan air, yaitu Sungai Kallada. Kualitas air di

Sungai Kallada sangat buruk karena limbah domestik dan limbah industri yang dialirkan ke sungai ini. Alhasil air sungai mengandung parameter kekeruhan sebesar 35 NTU dan TDS sebesar 1.610 mg/L dimana melebihi standar air minum yang ditetapkan oleh *World Health Organization* (WHO). Penyisihan kekeruhan dan TDS dilakukan dengan membubuhkan biokoagulan biji pepaya dengan bentuk serbuk pada air sungai dengan menggunakan metode *jar test* sehingga menghasilkan penyisihan kekeruhan optimum sebesar 4,4 NTU dengan dosis biokoagulan 0,6 gram dan penyisihan TDS optimum sebesar 130 mg/L dengan dosis biokoagulan 0,8 gram/L. (George dan Chandran, 2018). Bentuk biokoagulan menjadi salah satu faktor dalam keberhasilan penyisihan kekeruhan dan TDS. Penggunaan biokoagulan biji pepaya dalam bentuk serbuk memiliki kemungkinan zat aktif pada biji pepaya tidak menyatu keseluruhan pada air tercemar serta menyebabkan peningkatan parameter kekeruhan dan TDS pada dosis tertentu (George dan Chandran, 2018). Bentuk cair biokoagulan dapat memudahkan zat aktif biokoagulan menyatu dengan air baku karena memiliki wujud yang sama sehingga akan lebih homogen (Anggorowati, 2021).

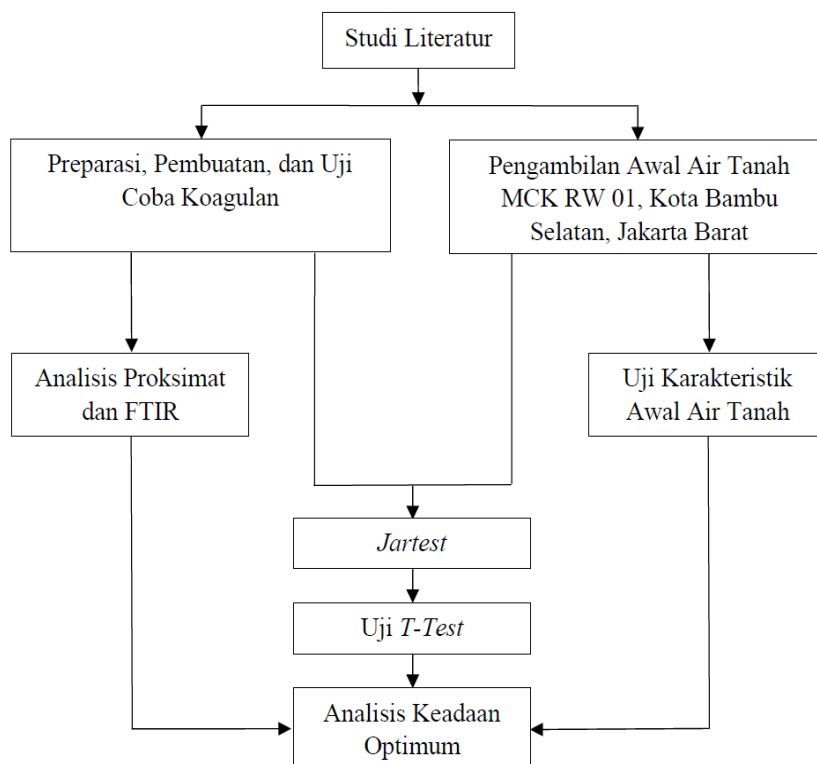
Oleh sebab itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memisahkan parameter kekeruhan dan TDS pada sumber air minum yang tercemar dengan lebih memperhatikan apa yang masih kurang pada penelitian-penelitian terdahulu, yaitu bentuk biokoagulan dan koagulan kimiawi yang akan digunakan. Dalam hal untuk memastikan kualitas biji pepaya, pada penelitian ini dilakukan analisis proksimat (perhitungan kadar air, abu, dan protein). Pengukuran kadar air bertujuan untuk menilai kualitas dan ketahanan pangan terhadap potensi kerusakan, jadi semakin tinggi kadar air suatu bahan, semakin besar risiko kerusakan akibat aktivitas biologis (Daud dkk., 2020). Pengukuran kadar abu bertujuan untuk mengetahui kualitas jenis bahan yang digunakan, yaitu jika kadar abu rendah maka kemurnian bahan dianggap baik dan hal ini juga menunjukkan jumlah total mineral dalam suatu bahan pangan (Fikriyah dan Nasution, 2021). Sedangkan pengukuran kadar protein dilakukan untuk mengetahui kualitas biji pepaya sebagai biokoagulan, jadi semakin tinggi kadar protein maka semakin efektif biji pepaya untuk dijadikan biokoagulan (Hartono dkk., 2016). Sehingga, penelitian ini juga dibuat untuk menyempurnakan hasil penelitian terkait penggunaan biji pepaya sebagai biokoagulan pada sumber air minum tercemar, dalam hal ini adalah air tanah serta akan dibandingkan dengan koagulan kimia berupa PAC agar dapat diketahui koagulan apa yang lebih unggul dalam kualitas air dan harga pakainya untuk menyisihkan parameter kekeruhan dan TDS pada air tanah.

2. METODE

Penelitian ini dimulai dengan pembuatan koagulan dan pengujian kinerja koagulan menggunakan air tanah. Eksperimen koagulasi flokulasi di laboratorium dilakukan dengan menggunakan *jar test*. Analisis dilakukan menggunakan uji *t-test* dan dilanjutkan dengan analisis kondisi optimum. Diagram metode penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

2.1 Air Baku

Air tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah air tanah yang diambil dari *elevated reservoir* di Mandi Cuci Kakus (MCK) RW 01, Kelurahan Kota Bambu Selatan, Jakarta Barat. Uji karakteristik awal dilakukan pada satu sampel air tanah menggunakan metode sesuai SNI 06-6989.25-2005 untuk kekeruhan dan TDS Meter untuk TDS. Air tersebut memiliki tingkat kekeruhan dan TDS sebesar 70 NTU dan 350 mg/L. Konsentrasi kekeruhan dan TDS tersebut telah melebihi persyaratan air minum menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Kesehatan Lingkungan yang memiliki batas maksimum kekeruhan < 3 NTU dan TDS < 300 mg/L.



Gambar 1. Diagram Metode Penelitian

2.2 Aktivasi Biji Pepaya Sebagai Biokoagulan

Biji pepaya mentah dibersihkan, kemudian dikeringkan pada suhu 105°C selama 1,5 jam. Biji yang telah kering dihancurkan dan diayak dengan ukuran 150 mesh. Kemudian, serbuk biji pepaya yang telah kering disimpan dalam desikator dan digunakan sebagai bubuk biokoagulan. Setelah itu, 0,5 gram serbuk biji pepaya yang telah diayak dengan ukuran mesh yang sama ditambahkan ke dalam larutan NaCl 1 M dengan volume 100 mL dan diaduk dengan kecepatan 100 rpm selama 30 menit dan disaring dengan kertas saring Whattman nomor 42 untuk mengekstrak zat koagulan alami yang aktif dari filtrat yang dihasilkan (Anggorowati, 2021).

2.3 Analisis Proksimat

Analisis proksimat dilakukan berdasarkan SNI 01-2891-1992. Analisis proksimat yang dilakukan pada sampel serbuk biji pepaya meliputi kadar abu, kadar air, dan kadar protein. Berikut merupakan penjelasan dari analisis proksimat:

1. Uji Kadar Abu

Pengujian kadar abu dilakukan dengan menimbang 2-3 gram sampel biji pepaya, kemudian diarangkan di atas nyala pembakar, lalu diabukan dalam *furnace* pada suhu maksimum 550°C sampai pengabuan sempurna, terakhir abu yang diperoleh ditimbang. Kadar abu pada biji pepaya dapat dihitung dengan Persamaan (1).

$$\text{Kadar abu} = \frac{W1 - W2}{W} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

W = bobot sampel sebelum diabukan (gram)

W1 = bobot sampel + cawan sesudah diabukan (gram)

W2 = bobot cawan kosong (gram)

2. Uji Kadar Air

Pengujian kadar air dilakukan dengan menimbang 1-2 gram sampel biji pepaya, selanjutnya dikeringkan pada oven suhu 105°C selama 3 jam, terakhir didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Kadar air pada biji pepaya dapat dihitung dengan Persamaan (2).

$$\text{Kadar air} = \frac{W_1}{W} \times 100\% \quad (2)$$

Keterangan:

W = bobot sampel sebelum dikeringkan (gram)

W1 = bobot yang hilang setelah dikeringkan (gram)

3. Uji Kadar Protein

Pengujian kadar protein dilakukan menggunakan metode Formol. Sebanyak 2 gram sampel biji pepaya dimasukkan ke labu ukur 100 mL dan dilarutkan dengan 50 mL akuades, kemudian tambahkan 1 mL larutan indikator PP dan 10 mL BaCl₂ 10%. Titar menggunakan larutan Ba(OH)₂ jenuh hingga warna berubah menjadi merah, kemudian tambahkan kembali Ba(OH)₂ kurang lebih 5 mL. Larutan dihomogenkan lalu biarkan selama 15 menit dan saring menggunakan kertas saring. Pipet 80 mL larutan filtrat, lalu netralkan pH menggunakan HCl 0,2 N atau NaOH 0,2 N. Titar dengan larutan HCl 0,2 N sampai warna berubah menjadi merah muda. Kadar protein pada biji pepaya dapat dihitung dengan Persamaan (3).

$$\text{Kadar Protein} = \frac{(V_1 - V) \times 2,8 \times 1,25}{W} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

V1 = volume titran untuk titrasi sampel (mL)

V = volume titran untuk titrasi blanko (mL)

W = berat sampel (mg)

2.4 Analisis *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

Uji FTIR bertujuan untuk mengidentifikasi kandungan protein pada suatu zat melalui gugus fungsi. Pada penelitian ini dilakukan uji FTIR untuk mengetahui bahwa biji pepaya yang dijadikan biokoagulan memang mengandung protein sehingga dapat dijadikan sebagai biokoagulan.

2.5 Prosedur Penelitian

Koagulasi adalah proses pendistribusian koagulan dengan menggunakan pengadukan cepat yang akan menghasilkan beberapa destabilisasi koloid yang akan mendorong terjadinya agregasi partikel-partikel yang tidak stabil sedangkan flokulasi adalah pengadukan yang lambat. Flok-flok yang terbentuk ini akan mengendap di unit sedimentasi (Reynolds, 1982). Gradien kecepatan (G) dan waktu detensi (td) merupakan parameter desain untuk proses koagulasi dan flokulasi. Gradien kecepatan dan kecepatan pengadukan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4), (5), dan (6) (Qasim dkk, 2000):

$$P = N_p \times n^3 \times D_i^5 \times \rho \quad (4)$$

$$G = \left(\frac{P}{\mu \times V} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$n = \left(\frac{G^2 \times \mu \times V}{N_p \times D_i^5 \times \rho} \right)^{1/3} \quad (6)$$

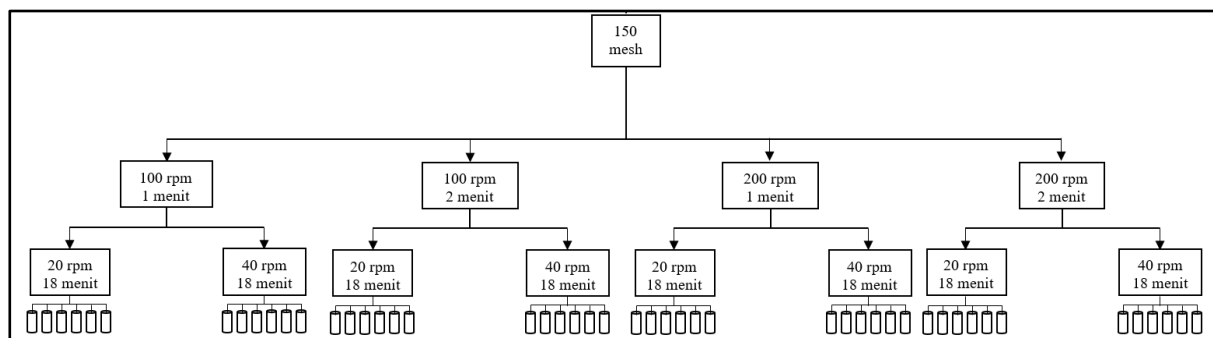
Dimana P adalah daya yang diberikan pada air (Watt), N_p adalah konstanta daya, n adalah kecepatan pengadukan (rps), D_i adalah diameter pengaduk (m), ρ adalah massa jenis air

(kg/m³), G adalah gradien kecepatan (/detik), μ adalah viskositas air (N.s/m²), dan V adalah volume air (m³). Biji pepaya mengandung protein yang tinggi sehingga dapat berperan sebagai polielektrolit untuk menjaga kestabilan koloid pada air tanah sehingga dapat membentuk dan mengendapkan flok secara maksimal (George dan Chandran, 2018). Biokoagulan biji pepaya mampu menyisihkan kekeruhan dan TDS sebesar 89,14% dan 90,29% pada air Sungai Kallada (George dan Chandran, 2018) dan juga 92,2% dan 23,78% pada air limbah industri batik (Airun, 2020). Efektivitas penggunaan biji pepaya dalam menyisihkan parameter pencemar dari air tanah dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (7) (Ari dan Rizcy, 2015).

$$\eta = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100\% \tag{7}$$

Di mana η adalah efisiensi penyisihan (%), C_0 adalah konsentrasi awal, dan C_e adalah konsentrasi akhir.

Pada penelitian ini, skala laboratorium dilakukan dengan menggunakan metode jartest dengan flokulator berukuran 650 x 300 x 360 mm yang dilengkapi dengan enam buah pengaduk dengan rentang kecepatan putar antara 20-220 rpm. Enam buah gelas kimia 500 mL diisi dengan 500 mL air tanah. Kemudian dilakukan koagulasi dengan variasi G.td 17.000 dan 34.000 (Airun, 2020) serta 48.000 dan 96.000 dengan masing-masing waktu detensi 1 menit, 2 menit, 1 menit, dan 2 menit; flokulasi dengan G.td 28.000 dengan waktu detensi 18 menit (Puteri, 2020); variasi dosis biokoagulan biji pepaya 100-500 mg/L; dan variasi dosis koagulan PAC 5-25 mg/L. Pada setiap percobaan, terdapat satu *beaker glass* sebagai variabel kontrol dalam penelitian ini. Koagulasi dan dosis koagulan G.td yang menghasilkan hasil terbesar dinyatakan sebagai kondisi optimum. Kekeruhan dan konsentrasi TDS dalam air diukur dengan menggunakan turbidimeter dengan satuan NTU dan TDS meter dengan satuan mg/L. Gambaran percobaan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Percobaan *Jartest*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Proksimat

Hasil analisis proksimat pada biji pepaya dapat dilihat pada Tabel 1.

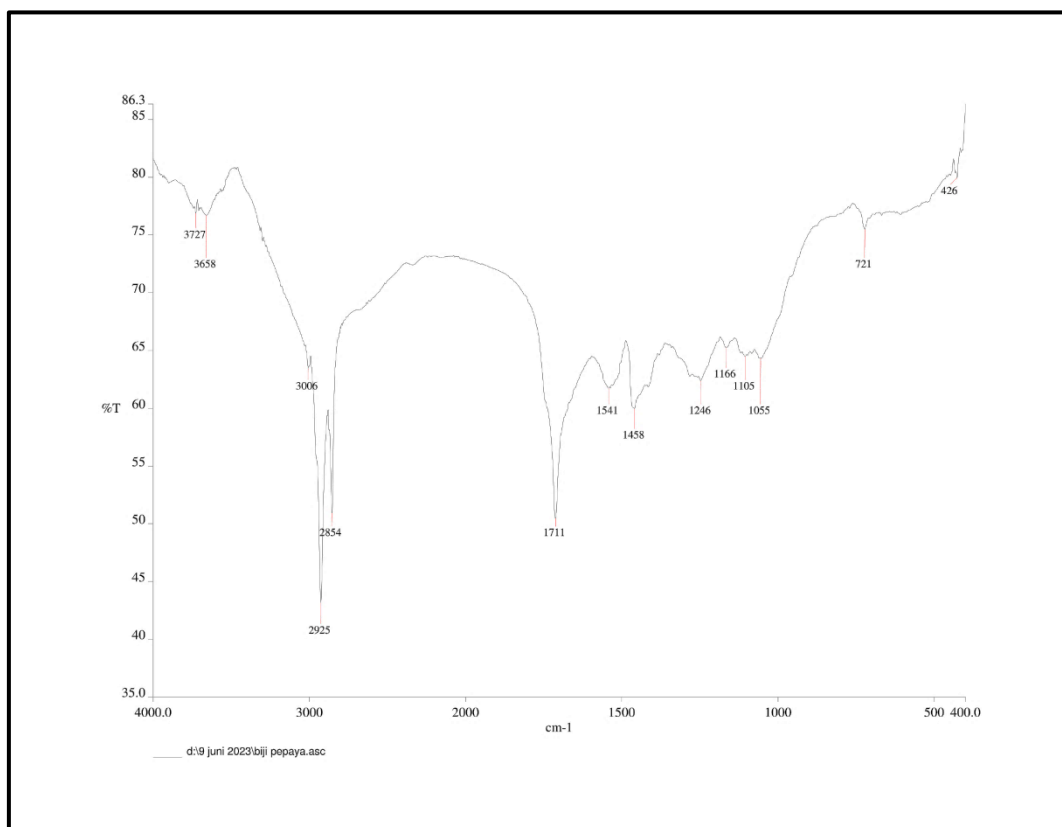
Menurut Maisarah, dkk (2020), kriteria untuk biji pepaya sebagai biokoagulan adalah kadar abu sebesar 1% - 8%, kadar air sebesar 5% - 8%, dan kadar protein minimal sebesar 15% (semakin besar kandungan protein dalam biji pepaya, maka akan semakin baik). Berdasarkan hasil analisis kadar air, abu, dan protein di atas, maka biji pepaya yang digunakan telah memenuhi kriteria sebagai biokoagulan.

Tabel 1. Hasil Analisis Proksimat pada Biokoagulan Biji Pepaya

No.	Kadar	Hasil	Kriteria	Sumber
1	Air	1,3%	1 - 8%	Maisarah, dkk (2014)
2	Abu	7,84%	5 - 8%	Maisarah, dkk (2014)
3	Protein	60,75%	Minimal 15%	Maisarah, dkk (2014)

3.2 Analisis FTIR

Hasil analisis FTIR menunjukkan bahwa di antara daerah serapan $1.480-1.575\text{ cm}^{-1}$ terdapat satu gugus fungsi senyawa amida II yang terlihat dari adanya kurva runcing ke bawah pada grafik. Gugus fungsi tersebut terlihat turun pada daerah serapan 1.541 cm^{-1} . Sedangkan protein berada pada daerah serapan $1.480-1.575\text{ cm}^{-1}$ (Sulistiyani dan Nuril, 2017). Hasil analisis FTIR ditunjukkan pada Gambar 3.

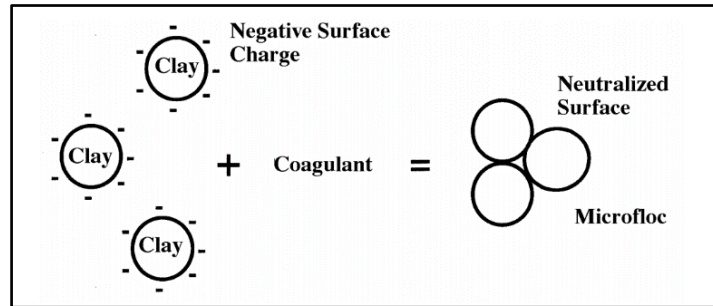


Gambar 3. Hasil Analisis FTIR Serbuk Biji Pepaya

3.3 Koagulasi Menggunakan Biokoagulan Biji Pepaya

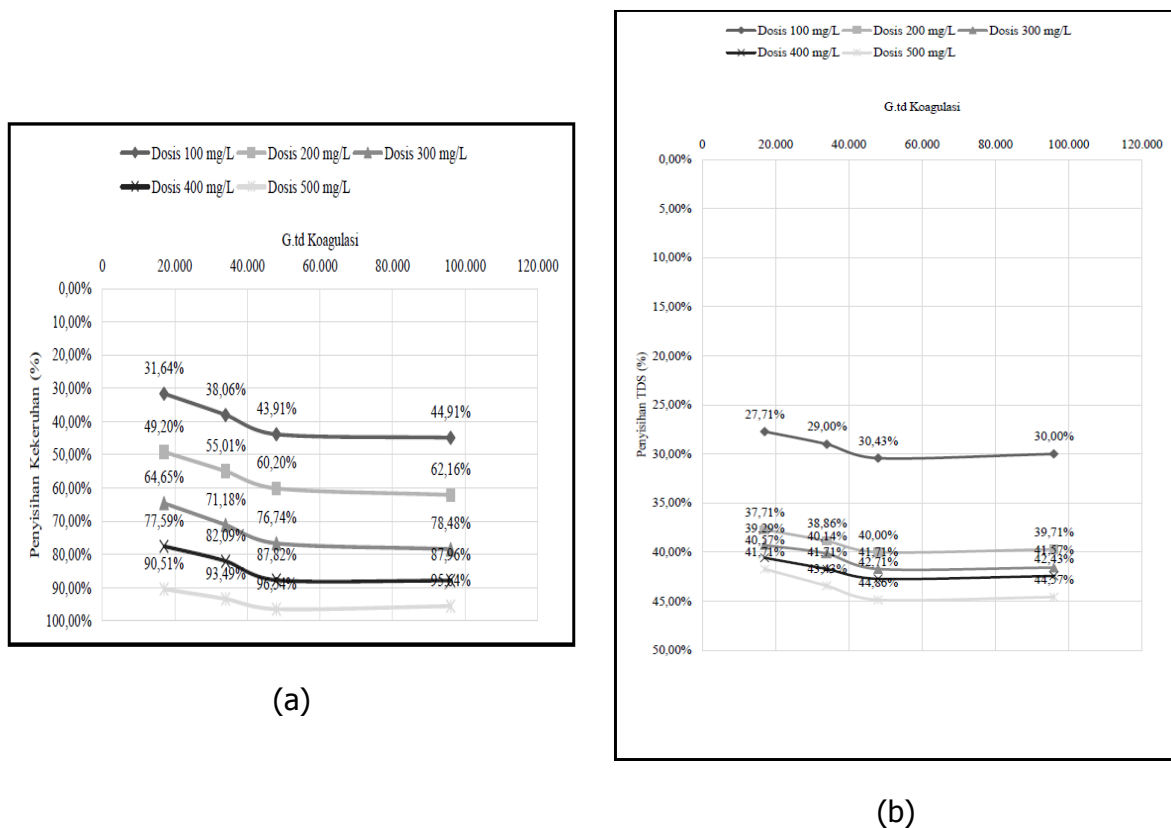
Hasil penyisihan kekeruhan dan TDS menggunakan biokoagulan biji pepaya ditunjukkan pada Gambar 4.a dan 4.b. Dapat disimpulkan bahwa biokoagulan biji pepaya mampu menyisihkan kekeruhan dan TDS. Hal ini terjadi karena biokoagulan biji pepaya mengandung protein yang tinggi yang berperan sebagai polielektrolit yang berfungsi mempermudah pembentukan flok (Maisarah dkk., 2014). Hal ini dibuktikan dengan hasil pengamatan analisis proksimat (kadar air, abu, dan protein) dan analisis FTIR serbuk biji pepaya.

Adanya gugus fungsi pada daerah serapan menunjukkan bahwa biji pepaya yang akan digunakan sebagai biokoagulan memang mengandung protein, sehingga dapat digunakan dalam penelitian ini. Protein memiliki muatan positif dan negatif yang dapat membantu keberhasilan pengendapan flok polutan, hal ini terjadi karena protein dapat menginisiasi proses tarik menarik antar muatan yang disebut dengan netralisasi muatan. Mekanisme netralisasi muatan negatif pada proses koagulasi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme Netralisasi Muatan Negatif pada Proses Koagulasi (Pillai, 1997)

Prinsipnya adalah biokoagulan yang mengandung muatan positif akan menetralkan muatan koloid di dalam air untuk menginisiasi agregasi koloid dan bahan tersuspensi halus untuk membentuk flok (Martina dkk, 2018).



Gambar 5. (a) Efisiensi Penyisihan Kekeruhan Menggunakan Biokoagulan Biji Pepaya; (b) Efisiensi Penyisihan TDS Menggunakan Biokoagulan Biji Pepaya

3.4 Penentuan G.td Koagulasi dan G.td Flokulasi Optimum pada Biokoagulan Biji Pepaya Menggunakan Metode T-Test

Berdasarkan Gambar 5 dapat dikatakan bahwa variasi paling efektif untuk menyisihkan parameter kekeruhan dan TDS adalah G.td koagulasi 48.000 dengan G.td flokulasi 77.000 pada dosis biokoagulan 500 mg/L yang dibuktikan dengan terbentuknya titik puncak pada grafik dengan ukuran biokoagulan biji pepaya 150 mesh. Namun untuk menentukan kondisi optimum tidak hanya dilihat berdasarkan hasil yang paling tinggi melainkan harus dipertimbangkan juga dari segi penghematan biaya operasional. Jika terdapat variasi yang hasilnya tidak sama bagusnya dengan variasi yang menghasilkan hasil

tertinggi, tetapi hasilnya sudah memenuhi, maka lebih baik menggunakan variasi yang lebih hemat (Anggorowati, 2021). Pada penelitian ini telah dibandingkan dua keadaan variasi yang menghasilkan hasil terbaik menggunakan metode *T-Test (Significant Difference)* untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan di antara dua data tersebut. Hal ini dilakukan agar dapat ditentukan keadaan optimum yang sebenarnya. Data yang akan dibandingkan menggunakan *T-Test* adalah G.td koagulasi 48.000 dengan G.td flokulasi 28.000 dan 77.000 pada dosis biokoagulan 500 mg/L dan juga G.td koagulasi 96.000 dengan G.td flokulasi 28.000 dan 77.000 pada dosis biokoagulan 500 mg/L dan keduanya pada ukuran biokoagulan 150 mesh. Hasil *T-Test* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabulasi Hasil T-Test Biokoagulan Biji Pepaya

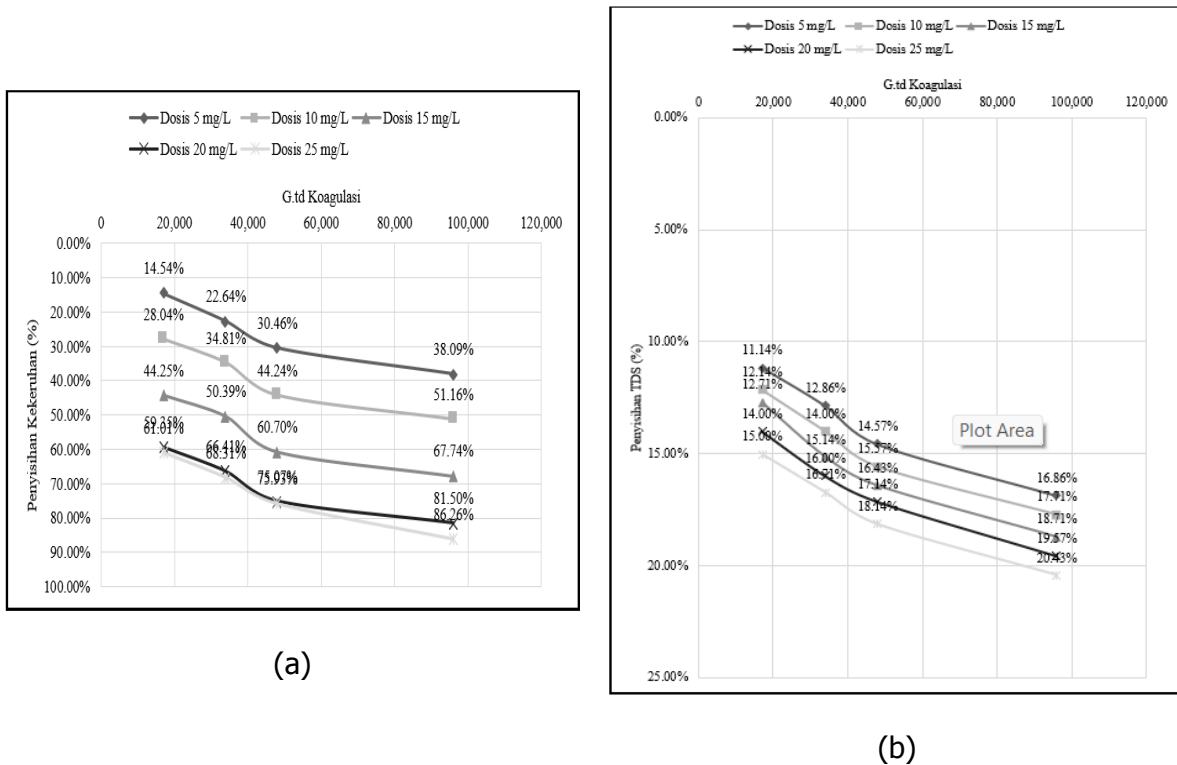
No	Parameter	Hasil							
		G.td Koagulasi 48.000 (Kekeruhan)		G.td Koagulasi 96.000 (Kekeruhan)		G.td Koagulasi 48.000 (TDS)		G.td Koagulasi 96.000 (TDS)	
		Variabel 1	Variabel 2	Variabel 1	Variabel 2	Variabel 1	Variabel 2	Variabel 1	Variabel 2
1	Mean	0,730	0,752	0,738	0,710	0,399	0,405	0,397	0,388
2	Variance	0,045	0,042	0,042	0,042	0,003	0,003	0,003	0,003
3	Observations	5	5	5	5	5	5	5	5
4	Hypothesized Mean Difference	0		0		0		0	
5	df	8		8		8		8	
6	t Stat	-0,162		0,216		-0,168		0,248	
7	P(T<=t) one-tail	0,438		0,417		0,435		0,405	
8	t Critical one-tail	1,860		1,860		1,860		1,860	
9	P(T<=t) two-tail	0,875		0,834		0,871		0,811	
10	t Critical two-tail	2,306		2,306		2,306		2,306	

Berdasarkan hasil $P(T \leq t)$ two tail pada empat hasil perbandingan menunjukkan hasil $> \alpha = 0,05$. Maka, artinya semua hasil dapat dikatakan tidak memiliki perbedaan yang signifikan sehingga dapat dipilih pilihan rentang yang memiliki G.td Flokulasi yang lebih rendah (Magdalena dan Krisanti, 2019). Berdasarkan hasil tersebut, pilihan G.td flokulasi optimum yang akan digunakan adalah 28.000, G.td koagulasi optimum adalah 48.000, dan dosis biokoagulan optimum yang akan digunakan sebesar 500 mg/L atau setara dengan 100 mL/L. Hasil G.td koagulasi dan flokulasi optimum ini telah memenuhi kriteria desain menurut Qasim, dkk (2000) dan Darmasetiawan (2001).

3.5 Koagulasi Menggunakan Koagulan PAC

Hasil penyisihan kekeruhan dan TDS menggunakan koagulan PAC ditunjukkan pada Gambar 6.a dan 6.b. Dapat disimpulkan bahwa koagulan PAC mampu menyisihkan kekeruhan dan TDS. Hal ini terjadi karena PAC memiliki tingkat polimerisasi yang tinggi, sehingga PAC akan mudah bereaksi dengan partikel-partikel yang ada di dalam air, hal ini juga menyebabkan penggunaan koagulan PAC tidak membutuhkan dosis yang tinggi (Sisnayanti dkk, 2021). Polimer memiliki struktur molekul heliks yang terdiri dari rantai karbon dengan gugus pengion. Ketika gugus-gugus tersebut mengionisasi air, polimer akan berbentuk batang-batang panjang yang disebabkan oleh tolakan listrik. Ketika gugus terionisasi menempel pada partikel koloid, muatannya dinetralkan dan polimer mulai menggulung dan membentuk makroflok dengan sifat mudah mengendap (Shea, 1972).

Target penyisihan kekeruhan didasarkan pada kapasitas filter air tanah di Kelurahan Kota Bambu Selatan, yaitu 15-20 NTU. Namun, untuk menentukan kondisi optimum tidak hanya dilihat dari hasil yang paling tinggi saja, tetapi juga harus dilihat dari segi penghematan biaya operasional. Jika ada variasi yang hasilnya tidak sebaik variasi yang menghasilkan hasil tertinggi, namun hasilnya memuaskan, maka lebih baik menggunakan variasi yang lebih ekonomis. Berdasarkan grafik pada Gambar 6, hasil penyisihan terbaik pada kekeruhan dan TDS terjadi pada koagulasi G.td 96.000. Namun, penyisihan kekeruhan pada koagulasi G.td 48.000 juga telah memenuhi kapasitas filter air tanah yang ada di Kelurahan Kota Bambu Selatan, sehingga berdasarkan uraian tersebut dapat ditentukan bahwa G.td optimum koagulasi pada kekeruhan dan TDS pada air tanah dengan menggunakan koagulan PAC adalah 48.000 dengan dosis PAC 25 mg/L yang memiliki efisiensi penyisihan kekeruhan dan TDS sebesar 75,93% dan 17,57%.



Gambar 6. (a) Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Flokulasi G.td 28.000 Menggunakan Koagulan PAC; (b) Efisiensi Penyisihan TDS pada Flokulasi G.td 28.000 Menggunakan Koagulan PAC

3.6 Penentuan G.td Koagulasi dan G.td Flokulasi Optimum pada Koagulan PAC Menggunakan Metode T-Test

Berdasarkan uraian yang telah ditinjau, maka dapat disimpulkan bahwa variasi optimum pada hasil olahan koagulan PAC adalah G.td koagulasi 96.000 dengan G.td flokulasi 77.000 pada dosis PAC sebesar 25 mg/L. Perbedaan dosis yang signifikan pada penggunaan biokoagulan biji pepaya dan PAC disebabkan oleh PAC memiliki derajat polimerisasi yang tinggi sehingga PAC akan mudah bereaksi dengan partikel-partikel yang ada di dalam air, hal ini menyebabkan penggunaan koagulan PAC tidak membutuhkan dosis yang tinggi (Sisnayati dkk, 2021).

Namun untuk menentukan kondisi optimum tidak hanya dilihat berdasarkan hasil yang paling tinggi melainkan harus dipertimbangkan juga dari segi penghematan biaya operasional. Jika terdapat variasi yang hasilnya tidak sebaik variasi dengan hasil tertinggi, namun tetap memenuhi kriteria, maka sebaiknya memilih variasi yang lebih efisien (Anggorowati, 2021). Pada penelitian ini, dua variasi yang memberikan hasil terbaik dibandingkan menggunakan metode *T-Test* (*Significant Difference*) untuk menentukan apakah ada perbedaan signifikan antara keduanya. Langkah ini diambil untuk mengetahui kondisi optimum yang sebenarnya. Data yang akan dibandingkan menggunakan *T-Test* adalah G.td koagulasi 48.000 dengan G.td flokulasi 28.000 dan 77.000 pada dosis PAC 25 mg/L dan juga G.td koagulasi 96.000 dengan G.td flokulasi 28.000 dan 77.000 pada dosis PAC 25 mg/L. Hasil *T-Test* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Tabulasi Hasil T-Test Koagulan PAC

No	Parameter	Hasil							
		G.td Koagulasi 48.000 (Kekeruhan)		G.td Koagulasi 96.000 (Kekeruhan)		G.td Koagulasi 48.000 (TDS)		G.td Koagulasi 96.000 (TDS)	
		Variabel 1	Variabel 2	Variabel 1	Variabel 2	Variabel 1	Variabel 2	Variabel 1	Variabel 2
1	Mean	0,573	0,606	0,649	0,679	0,157	0,164	0,177	0,187
2	Variance	0,039	0,042	0,041	0,042	0,000	0,000	0,000	0,000
3	Observations	5	5	5	5	5	5	5	5
4	Hypothesized Mean Difference	0		0		0		0	
5	df	8		8		8		8	
6	t Stat	-0,261		-0,230		-0,765		-0,986	
7	P(T<=t) one-tail	0,400		0,412		0,233		0,176	
8	t Critical one-tail	1,860		1,860		1,860		1,860	
9	P(T<=t) two-tail	0,800		0,824		0,466		0,353	
10	t Critical two-tail	2,306		2,306		2,306		2,306	

Berdasarkan hasil $P(T \leq t)$ two tail pada keempat perbandingan yang dilakukan, didapatkan hasil $> \alpha = 0,05$. Hal ini berarti bahwa semua hasil tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan, sehingga rentang dengan G.td Flokulasi lebih rendah dapat dipilih (Magdalena dan Kristianti, 2019). Berdasarkan hasil tersebut, pilihan G.td flokulasi optimum yang akan digunakan adalah 28.000, G.td koagulasi optimum adalah 48.000, dan dosis PAC optimum yang akan digunakan sebesar 25 mg/L atau setara dengan 25 mL/L. Hasil G.td koagulasi dan flokulasi optimum ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Sisnayanti dkk. (2020) dan telah memenuhi kriteria desain yang ditetapkan oleh Qasim dkk (2000) dan Darmasetiawan (2001).

3.7 Perbandingan Biaya Penggunaan Biokoagulan Biji Pepaya dan Koagulan PAC

Perbandingan biaya disajikan dengan merinci harga bahan-bahan yang digunakan untuk mengolah air tanah dengan menggunakan biokoagulan biji pepaya dan koagulan PAC. Kebutuhan biaya akan ditampilkan ke dalam kebutuhan per liter, per hari, dan per tahun berdasarkan total debit dalam satu hari, yaitu untuk biokoagulan biji pepaya dan koagulan PAC sebesar 675 L/hari. Kebutuhan biji pepaya dalam satu hari dihitung berdasarkan perkalian antara debit satu hari dengan dosis optimum, yaitu 0,33 kg/hari, sedangkan kebutuhan PAC dalam satu hari adalah 0,016 kg/hari. Rincian kebutuhan biaya komponen penggunaan biokoagulan biji pepaya ditunjukkan pada Tabel 4, kebutuhan biaya transportasi

pada Tabel 5, dan kebutuhan biaya total pada Tabel 6. Sedangkan rincian kebutuhan biaya komponen untuk koagulan PAC ditunjukkan pada Tabel 7, kebutuhan biaya transportasi pada Tabel 8, dan kebutuhan biaya total pada Tabel 9.

Tabel 4. Rincian Kebutuhan Biaya Penggunaan Biokoagulan Biji Pepaya

No	Komponen	Satuan	Harga per Satuan (Rp)	Kuantitas Kebutuhan per Hari	Kuantitas Kebutuhan per Tahun	Kuantitas Kebutuhan per Liter	Biaya per Hari (Rp)	Biaya per Tahun (Rp)	Biaya per Liter (Rp)
1	Mortar dan Alu ^{1)*}	buah	75.000	1	0	0	0	75.000	0,30
2	<i>Sieve Analys</i> ^{1)*}	buah	177.000	1	0	0	0	177.000	0,72
3	Upah Pekerja ^{2)*}	jam	19.167	8	2.920	0,012	153.333,36	55.966.676,4	227,16
4	Limbah Biji Pepaya	kg	0	0,3375	123,1875	0,0005	0	0	0
5	Serbuk NaCl ^{1)*}	kg	13.000	1,153	420,845	0,0017	14.989	5.470.985	22,21
SUB TOTAL							168.322,36	61.689.661,4	250,39

*1) Tokopedia, 2) Badan Pusat Statistik Indonesia (2023)

Pada Tabel 4 telah terinci biaya dan kebutuhan komponen dalam penggunaan biokoagulan biji pepaya, meliputi mortar dan alu, *sieve analys*, upah pekerja, limbah biji pepaya, dan serbuk NaCl. Mortar dan alu, *sieve analys*, dan serbuk NaCl telah dibeli dari Tokopedia yang merupakan toko daring. Upah pekerja ditetapkan berdasarkan besaran pendapatan pekerja kasar menurut Badan Pusat Statistik Indonesia tahun 2023. Limbah biji pepaya didapatkan secara gratis dengan memasok dari pedagang buah di lingkup Kelurahan Kota Bambu Selatan. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan telah didapatkan total biaya produksi penggunaan biokoagulan biji pepaya mencapai Rp168.322,36 per hari, Rp61.689.661,4 per tahun, dan Rp250,39 per liter.

Tabel 5. Rincian Biaya Transportasi Penggunaan Biokoagulan Biji Pepaya

No	Komponen	Satuan	Biaya per Hari (Rp)	Biaya per Tahun (Rp)	Biaya per Liter (Rp)
1	Limbah Biji Pepaya ^{3)*}	kg	333,33	121.665,45	0,49
2	Serbuk NaCl ^{1)*}	kg	2.280	832.200	3,37
SUB TOTAL			2.613,33	953.865,45	3,87

*1) Tokopedia, 3) Harga BBM di Jakarta (2023)

Pada Tabel 5 telah terinci biaya transportasi yang digunakan untuk distribusi limbah biji pepaya dan serbuk NaCl. Pendistribusian limbah biji pepaya dilakukan menggunakan kendaraan roda dua dari lokasi pedagang buah hingga Laboratorium Lingkungan Universitas Trisakti dan ditetapkan berdasarkan harga Bahan Bakar Mesin (BBM) di Jakarta pada tahun 2023. Sedangkan, serbuk NaCl didistribusikan dengan pengiriman dari Tokopedia. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan telah didapatkan total biaya transportasi penggunaan biokoagulan biji pepaya mencapai Rp2.613,33 per hari, Rp953.865,45 per tahun, dan Rp3,87 per liter.

Tabel 6. Rincian Total Biaya Penggunaan Biokoagulan Biji Pepaya

No	Komponen	Biaya per Tahun (Rp)	Biaya per Liter (Rp)
1	Biaya Komponen	61.689.661,4	250,39
2	Biaya Transportasi	953.865,45	3,87
TOTAL		62.643.526,85	254,26

Pada Tabel 6 dapat diketahui mengenai total biaya penggunaan biokoagulan biji pepaya. Perhitungan dilakukan dengan menjumlahkan total biaya komponen dan biaya transportasi. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan telah didapatkan total biaya penggunaan biokoagulan biji pepaya adalah sebesar Rp62.643.526,85 per tahun dan Rp254,26 per liter.

Tabel 7. Rincian Kebutuhan Biaya Penggunaan Koagulan PAC

No	Komponen	Satuan	Harga per Satuan (Rp)	Kuantitas Kebutuhan per Hari	Kuantitas Kebutuhan per Tahun	Kuantitas Kebutuhan per Liter	Biaya per Hari (Rp)	Biaya per Tahun (Rp)	Biaya per Liter (Rp)
1	PAC Germany ^{1)*}	kg	25.000	0,016	5,84	2,37E-05	400	146.000	0,59
2	Upah Pekerja ^{2)*}	jam	19.167	8	2.920	0,012	153.333,36	55.966.676,4	227,16
3	Akuades ^{1)*}	Liter	3.750	16,875	6.159,375	0,025	63.281,25	23.097.656,3	93,75
SUB TOTAL							217.039,61	79.219.457,7	321,54

*1) Tokopedia, 2) Badan Pusat Statistik Indonesia (2023)

Tabel 7 merinci biaya dan kebutuhan komponen untuk penggunaan koagulan PAC, termasuk PAC Germany, upah pekerja, dan akuades. PAC Germany dan akuades dibeli melalui Tokopedia yang merupakan platform toko daring. Upah pekerja ditentukan berdasarkan rata-rata pendapatan pekerja kasar menurut data Badan Pusat Statistik Indonesia tahun 2023. Dari hasil perhitungan, total biaya komponen koagulan PAC mencapai Rp217.039,61 per hari, Rp79.219.457,7 per tahun, dan Rp321,54 per liter.

Tabel 8. Rincian Biaya Transportasi Penggunaan Koagulan PAC

No	Komponen	Satuan	Biaya per Hari (Rp)	Biaya per Tahun (Rp)	Biaya per Liter (Rp)
1	PAC Germany ^{1)*}	kg	2.333,33	851.665,45	3,46
2	Akuades ^{1)*}	liter	17.000	6.205.000	25,19
SUB TOTAL			19.333,33	7.056.665,45	28,64

*1) Tokopedia

Tabel 8 merinci biaya transportasi yang diperlukan untuk mendistribusikan PAC Germany dan akuades. Distribusi kedua komponen ini dilakukan melalui layanan pengiriman dari Tokopedia. Berdasarkan perhitungan, total biaya transportasi untuk penggunaan koagulan PAC adalah Rp19.333,33 per hari, Rp7.056.665,45 per tahun, dan Rp28,64 per liter

Tabel 9. Rincian Total Biaya Penggunaan Koagulan PAC

No	Komponen	Biaya per Tahun (Rp)	Biaya per Liter (Rp)
1	Biaya Komponen	79.219.457,7	321,54
2	Biaya Transportasi	7.056.665,45	28,64
TOTAL		86.276.123	350,18

Tabel 9 menunjukkan total biaya penggunaan koagulan PAC, yang dihitung dengan menjumlahkan biaya komponen dan biaya transportasi. Dari hasil perhitungan, total biaya penggunaan koagulan PAC adalah Rp86.276.123 per tahun dan Rp350,18 per liter.

Berdasarkan perbandingan biaya secara rinci menggunakan biokoagulan biji pepaya dan koagulan PAC, dapat dilihat bahwa pengolahan air tanah menggunakan biokoagulan biji

pepaya adalah yang paling murah. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dari segi biaya, penggunaan biokoagulan biji pepaya adalah yang paling ekonomis untuk digunakan.

4. KESIMPULAN

Kondisi optimum pada pengolahan air tanah menggunakan biokoagulan biji pepaya adalah koagulasi G.td 48.000 dan dosis 500 mg/L dengan efisiensi penyisihan kekeruhan 96,54% dan efisiensi penyisihan TDS 44,86%. Namun, kondisi optimum pada pengolahan air tanah menggunakan koagulan PAC adalah koagulasi G.td 48.000 dan dosis 25 mg/L dengan efisiensi penyisihan kekeruhan 75,93% dan efisiensi penyisihan TDS 17,57%. Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa hasil pengolahan air tanah dalam skala laboratorium untuk menyisihkan kekeruhan dan TDS dengan menggunakan biokoagulan biji pepaya lebih baik dibandingkan dengan koagulan PAC. Begitu juga dari segi biaya penggunaan, biokoagulan biji pepaya memiliki biaya yang lebih ekonomis dalam proses pembuatan larutan koagulan, yaitu dengan biaya /liter Rp 254,26 dibandingkan dengan menggunakan koagulan PAC dengan biaya Rp 350,18/liter.

PERSANTUNAN

Penulis ingin berterima kasih kepada Kelurahan Kota Bambu Selatan, Jakarta Barat yang telah menyediakan air tanah dan lokasi untuk keperluan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Airun, N.H. (2020). Pemanfaatan Biji Pepaya (*Carica papaya L.*) Sebagai Biokoagulan pada Pengolahan Limbah Cair Industri Batik. Program Studi Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Islam Indonesia.
- Anggorowati, A.A. (2021). Serbuk Biji Buah Semangka dan Pepaya Sebagai Koagulan Alami dalam Penjernihan Air. Jurusan Teknik Kimia. Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.
- Ari, S.S. & P.A. Rizcy. (2015). Studi Kinetik Terhadap Adsorpsi Pb Menggunakan Arang Aktif dari Kulit Pisang. Jurnal Konversi, 4(1), 17-24.
- Darmasetiawan, M. (2001). Teori dan Perencanaan Instalasi Pengolahan Air. Yayasan Suryono: Bandung.
- Daud, A., Suriati, & Nuzulyanti. (2020). Kajian Penerapan Faktor yang Mempengaruhi Akurasi Penentuan Kadar Air Metode Thermogravimetri. LUTJANUS, Hal 12.
- Fikriyah, Y.U. & Nasution, R.S. (2021). Analisis Kadar Air dan Kadar Abu pada Teh Hitam yang Dijual di Pasaran dengan Menggunakan Metode Gravimetri. AMINA, Hal 51-52.
- George, D. & Chandran, J.A. (2018). Coagulation Performance Evaluation of Papaya Seed for Purification of River Water. International Journal of Latest Technology in Engineering, Management, and Applied Science (IJLTEMAS), Vol. 7, Edisi 1.
- Hartono, A., Feladita, N., dan Purnama, R.C. (2016). Penetapan Kadar Protein Kacang Tanah (*Arachys hypogela*) dengan Beberapa Perlakuan dengan Metode Kjeldahl. Jurnal Kebidanan, Hal 11.
- Hendrawati, Nurhasni, S. Delsy. (2013). Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica L.*) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus L.*) Sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah, Jurnal Valensi, 3, 1.
- Hendrawati, Nurhasni, S. Sumarni. (2016). Penggunaan Kitosan Sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Danau. Jurnal Kimia VALENSI: Jurnal Penelitian dan

- Pengembangan Ilmu Kimia, 1-11. Program Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi. UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Magdalena, R. & Krisanti, M.A. (2019). Analisis Penyebab dan Solusi Rekonsiliasi Finished Goods Menggunakan Hipotesis Statistik dengan Metode Pengujian Independent Sample T-Test di PT Merck, Tbk. *Jurnal TEKNO*, 16(1), 35-48.
- Maisarah, Asmah, & Fauziah. (2014). Proximate Analysis, Antioxidant, and Antiproliferative Activities of Different Parts of Carica Papaya. *Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4(2).
- Martina, A.,D. Santoso, & Novianti, J. (2018). Aplikasi Koagulan Biji Asam Jawa dalam Penurunan Konsentrasi Zat Warna Drimaren Red pada Limbah Tekstil Sintetik pada Berbagai Variasi Operasi. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(2), pp. 98-103.
- Naryanto, H.S. (2013). Potensi Tanah di Daerah Cikarang dan Sekitarnya, Kabupaten Bekasi Berdasarkan Analisis Pengukuran Gelostrik. *Jurnal Air Indonesia*, 4(1), 38-49.
- Pillai, J. (1997). Flocculants and Coagulants: The Keys to Water and Waste Management in Aggregate Production. Nalco Company, 1-6.
- Prihatinningtyas, E., dkk. (2013). Aplikasi Koagulan Alami dari Tepung Jagung dalam Pengolahan Air Bersih. Vol 02. No. 02 93-102.
- Puteri, R.D. (2020). Pemanfaatan Kulit Udang Windu (*Penaeus monodon*) Sebagai Koagulan Alami untuk Penyisihan Konsentrasi Zat Warna Biru, TSS, dan Kekeruhan dalam Air Limbah Industri Sablon Skala Rumah Tangga. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan. Universitas Trisakti.
- Puteri, R.D., R. Hadisoebroto, & R.A. Kusumadewi. (2020). Effects of Mixing Speed on Turbidity and Dyes Removal from Wastewater with Tiger Shrimp Shells as Biocoagulant. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(3), 2089-2094.
- Qasim, S.R., E.M. Motley, dan G. Zhu. (2000). *Water Works Engineering: Planning, Design, and Operation*. Prentice-Hall: London.
- Reynolds. (1982). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*. Wadsworth. Inc: California.
- Shea, T.G. (1972). Use of Polymers As a Primary Coagulant. *Proc Am Water Works Seminar*.
- Sisnayati, E. Winoto, Yhopie, dan S. Aprilyanti. (2021). Perbandingan Penggunaan Tawas dan PAC Terhadap Kekeruhan dan pH Air Baku PDAM Tirta Musi Palembang. *Jurnal UNITAS Palembang*, Vol. 06 No. 2, 107-116.
- Sulistiyani, M & H. Nuril. (2017). Optimization of Vibration Spectrum Measurement of Protein Samples Using a Fourier Transform Infrared (FTIR) Spectrophotometer. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 6(2), 173-180.