

Optimasi Dosis Koagulan dan Konsentrasi Pelarut Pada Biokoagulan Biji Asam Jawa dan Biokoagulan Komersil dalam Proses Pengolahan Air Limbah Laundry

Hanna Putri Kurnia Sari, Firra Rosariawari, Syadzadhiya Qothrunada Zakiyayasin Nisa'

Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur, Surabaya

*Koresponden email: firra.tl@upnjatim.ac.id

Diterima: 2 Agustus 2025

Disetujui: 7 Agustus 2025

Abstract

This study aims to evaluate the effectiveness of tamarind seed-derived bio-coagulant and commercial chitosan coagulant in reducing Total Suspended Solids (TSS) and turbidity in laundry wastewater, focusing on the effects of coagulant dosage and solvent concentration. The tamarind seed bio-coagulant was dissolved in NaCl, while chitosan was dissolved in acetic acid. The highest removal efficiency for the tamarind seed bio-coagulant was 66.7% for TSS and 49.2% for turbidity at a dosage of 50 mL with 2 M NaCl concentration. In contrast, chitosan achieved optimal removal rates of 70% for TSS and 53.2% for turbidity at a dosage of 10 mL with 4% acetic acid. Statistical analysis indicated that dosage variation had no significant effect on TSS and turbidity removal for the tamarind seed bio-coagulant, whereas solvent concentration had a significant impact. For chitosan, dosage variation significantly affected turbidity reduction but not TSS, while acetic acid concentration significantly influenced both parameters. These findings highlight the critical role of solvent concentration optimization in enhancing the performance of both natural and commercial coagulants for laundry wastewater treatment.

Keywords: *biocoagulant tamarind seed, chitosan, coagulant dosage, solvent concentration*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas biokoagulan dari biji asam jawa dan koagulan komersial kitosan dalam menurunkan Total Suspended Solid (TSS) dan kekeruhan pada air limbah laundry, dengan fokus pada variasi dosis koagulan dan konsentrasi pelarut. Biokoagulan biji asam jawa dilarutkan dalam NaCl, sedangkan kitosan dilarutkan dalam asam asetat. Hasil menunjukkan bahwa efisiensi penurunan TSS dan kekeruhan paling optimal untuk biji asam jawa masing-masing sebesar 66,7% dan 49,2% pada dosis 50 mL dengan konsentrasi NaCl 2 M. Sementara itu, kitosan mencapai efisiensi tertinggi sebesar 70% untuk TSS dan 53,2% untuk kekeruhan pada dosis 10 mL dengan konsentrasi asam asetat 4%. Analisis statistik menunjukkan bahwa variasi dosis tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap penurunan TSS dan kekeruhan pada biokoagulan biji asam jawa, namun konsentrasi pelarut memberikan pengaruh yang signifikan. Pada kitosan, variasi dosis berpengaruh signifikan terhadap penurunan kekeruhan tetapi tidak pada TSS, sedangkan variasi konsentrasi pelarut asam asetat memberikan pengaruh signifikan terhadap kedua parameter. Temuan ini menunjukkan pentingnya optimasi konsentrasi pelarut dalam meningkatkan kinerja koagulan, baik alami maupun komersial, dalam pengolahan air limbah laundry.

Kata Kunci: *biokoagulan biji asam jawa, kitosan, dosis koagulan, konsentrasi pelarut*

1. Pendahuluan

Teknologi pengolahan air atau pun air limbah dapat digunakan dan dipilih sesuai dengan karakteristik dan jenis limbah yang akan diolah. Pengolahan air limbah dapat dilakukan dengan pengolahan secara fisika, kimia, biologi, atau dengan kombinasi pengolahan. Pengolahan air limbah sendiri bertujuan untuk dapat memurnikan kembali air buangan hasil samping dari proses produksi yang telah tercemar zat-zat sisa hasil produksi. Salah satu proses pengolahan air limbah yang dapat digunakan ialah proses koagulasi. Koagulasi merupakan proses penambahan senyawa koagulan ke dalam air maupun air limbah untuk dapat menetralkan partikel-partikel yang terdapat didalamnya [1]. Tahapan proses koagulasi melibatkan proses pengadukan cepat, yang bertujuan untuk mencampurkan koagulan secara merata sehingga senyawa aktif yang terkandung didalam koagulan dapat tersebar secara homogen ke seluruh air yang akan diolah agar reaksi koagulasi dapat terjadi secara merata [2]. Mekanisme proses koagulasi ialah

menetralkan muatan partikel halus agar dapat bergabung membentuk sebuah flok. Proses koagulasi terjadi dalam tiga tahap, yaitu tahap pembentukan inti flok, destabilisasi partikel, dan peningkatan ukuran flok [3].

Efektivitas pada proses koagulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti halnya jenis koagulan yang digunakan, dosis penambahan koagulan, kecepatan dalam proses pencampuran, suhu, kadar ion terlarut, dan derajat keasaman[4]. Pengaplikasian koagulan dalam proses koagulasi juga harus diperhatikan dalam segi penentuan kadar dosis yang akan ditambahkan pada air ataupun air limbah. Dosis koagulan mempengaruhi proses koagulasi untuk dapat membentuk suatu inti flok. Penambahan dosis koagulan sesuai dengan kebutuhan dapat mempengaruhi efisiensi pengolahan air secara optimal [5]. Penambahan koagulan dalam proses koagulasi mempengaruhi kestabilan pada koloid sehingga dapat menggumpal dan membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar. Berlebihnya muatan ion dari sebuah koagulan akan berdampak pada kesuksesan proses koagulasi, sehingga harus diperhatikan dalam pemilihan jenis koagulan yang akan digunakan [6]. Jenis koagulan yang umum digunakan dalam proses pengolahan air atau pun air limbah dapat berupa koagulan sintesis dan juga koagulan alami. Koagulan alami dapat terbuat dari senyawa hewani, nabati, dan mikroorganisme.

Koagulan alami memiliki kelebihan apabila diaplikasikan dalam proses pengolahan air, yaitu koagulan alami cenderung tidak beracun dibandingkan dengan koagulan sintesis dan memiliki tingkat biodegradable yang tinggi pada pengolahan air [7]. Mekanisme kerja dari biokoagulan yang mengandalkan protein sebagai komponen aktif didasarkan pada proses netralisasi muatan. Netralisasi ini terjadi akibat adanya protein yang bersifat amfoter yang dapat membawa muatan positif maupun negatif tergantung pada nilai titik isoelektrik. Proses netralisasi muatan terjadi saat muatan negatif pada partikel koloid dinetralkan oleh protein bermuatan positif yang terdapat dalam biokoagulan. Pada proses ini terjadi interaksi yang mengurangi gaya tolak menolak elektrostatis antar partikel, sehingga memungkinkan untuk terbentuknya flok [8].

Salah satu bahan alami yang memiliki potensi sebagai biokoagulan adalah biji asam jawa. Ekstrak biji asam jawa mengandung polisakarida, protein, dan senyawa tanin yang berperan sebagai agen pengikat partikel melalui mekanisme netralisasi muatan [9]. Dalam biji asam jawa terdapat kandungan yang dapat dimanfaatkan sebagai koagulan alami. Biji asam jawa mengandung protein yang berperan sebagai polielektrolit alami yang berfungsi mirip dengan koagulan sintesis. Protein yang terkandung dalam biji asam jawa merupakan protein bermuatan positif yang dapat berikatan dengan partikel yang bermuatan negatif, sehingga partikel yang terikat dapat terdestabilisasi dan dapat membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar [10]. Selain protein, biji asam jawa juga mengandung tanin yang merupakan senyawa phenolic yang larut dalam air. Tanin dalam biji asam jawa merupakan senyawa yang berfungsi sebagai penghambat pertumbuhan bakteri dan membentuk larutan koloidal dan bertindak sebagai agen pengikat logam dan partikel tersuspensi. Gugus fungsional dalam senyawa tanin yaitu gugus -OH fenolik dan gugus aromatik [11].

2. Metode Penelitian

2.1 Alat dan Bahan

Air limbah laundry, biji asam jawa, Kitosan Komersil, NaCl, CH₃COOH, aquadest, blender, ayakan 60 mesh, erlenmeyer, jar test, kertas saring, beaker glass.

2.2 Persiapan bahan

2.2.1 Preparasi Pembuatan Biokoagulan Biji Asam Jawa

Pisahkan biji asam jawa dari daging buah kemudian cuci bersih dan keringkan dibawah panas sinar matahari selama 1 hari, biji asam jawa yang telah kering dihancurkan dengan cara ditumbuk hingga hancur menjadi bagian yang lebih kecil lalu blender untuk memperhalus serbuk yang dihasilkan dan diayak dengan menggunakan ayakan 60 mesh, biji yang telah halus disimpan dalam desikator sebelum siap digunakan sebagai koagulan.

2.2.2 Ekstraksi Biokoagulan

Siapkan larutan NaCl dengan variasi konsentrasi 0,5 M, 1 M, 1,5 M, dan 2 M, kemudian tambahkan 1 gram bubuk biokoagulan biji asam jawa ke dalam 100 ml larutan NaCl sesuai dengan konsentrasi yang dibuat, kemudian aduk menggunakan magnetic stirrer, lalu saring larutan dengan menggunakan kertas saring dan ambil hasil proses penyaringan yang berupa filtrat yang nantinya akan digunakan sebagai koagulan [12]. Ulangi proses pengekstrakan biokoagulan sesuai dengan variasi konsentrasi pelarut.

2.2.3 Pelarutan Biokoagulan Komersil

Siapkan biokoagulan komersil berupa kitosan kulit udang atau kulit rajungan, larutkan serbuk kitosan dengan CH₃COOH atau asam asetat sesuai dengan variasi yaitu 1%, 2%, 3%, dan 4% ke dalam 100 ml

aquadest, aduk larutan tersebut dengan menggunakan magnetic stirrer selama kurang lebih 2 sampai 3 jam hingga kitosan larut sempurna dengan asam asetat [13]. Ulangi proses pelarutan biokoagulan sesuai dengan variasi konsentrasi asam asetat.

2.2.4 Proses Koagulasi Flokulasi

Untuk melakukan proses penelitian koagulasi-flokulasi dengan menggunakan jar test, siapkan sampel air limbah sebanyak 500 ml dan tambahkan biokoagulan sesuai dengan dosis yang telah ditentukan. Tahapan proses koagulasi dilakukan dengan pengadukan cecepat dengan variasi dosis biokoagulan 10 ml, 20 ml, 30 ml, 40 ml, dan 50 ml dengan kecepatan 150 rpm selama 1 menit. Kemudian dilakukan proses flokulasi dengan pengadukan lambat dengan kecepatan pengadukan 30 rpm selama 20 menit, dan dilakukan proses pengendapan selama 60 menit untuk dapat mengetahui endapan flok yang telah terbentuk.

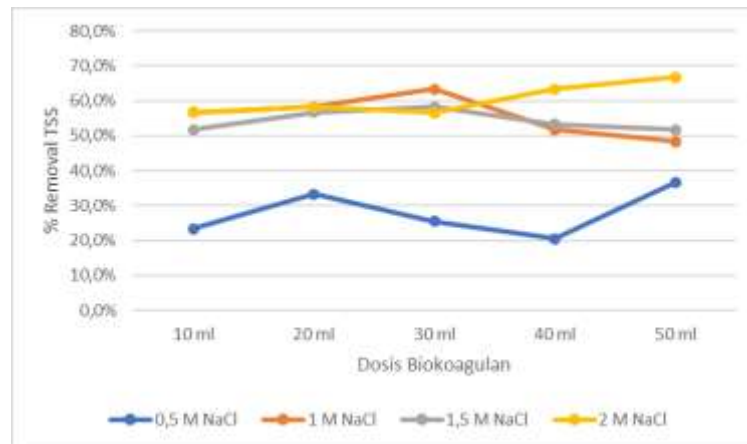
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengaruh Dosis Biokoagulan Biji Asam Jawa dan Konsentrasi Pelarut NaCl

Dalam penelitian ini penggunaan dosis biokoagulan yang tepat dengan NaCl sebagai pelarut dapat mendegradasi kadar TSS dalam air limbah laundry. Digunakan variasi dosis biokoagulan (10 mL – 50 mL) dan konsentrasi pelarut NaCl (0,5 M, 1 M, 1,5 M, dan 2 M).

Tabel 1. Pengaruh Dosis Biokoagulan Biji Asam Jawa dan Konsentrasi NaCl Terhadap Penurunan TSS

Jenis Biokoagulan	Dosis	% Penyisihan TSS Variasi Konsentrasi Pelarut NaCl			
		0,5 M	1 M	1,5 M	2 M
Biji Asam Jawa	10 ml	23,3%	56,7%	51,7%	56,7%
	20 ml	33,3%	58,3%	56,7%	58,3%
	30 ml	25,5%	63,3%	58,3%	56,6%
	40 ml	20,5%	51,7%	53,3%	63,3%
	50 ml	36,7%	48,3%	51,7%	66,7%



Gambar 1. Grafik Pengaruh Dosis Biokoagulan Biji Asam Jawa dan Konsentrasi NaCl Terhadap Penurunan TSS

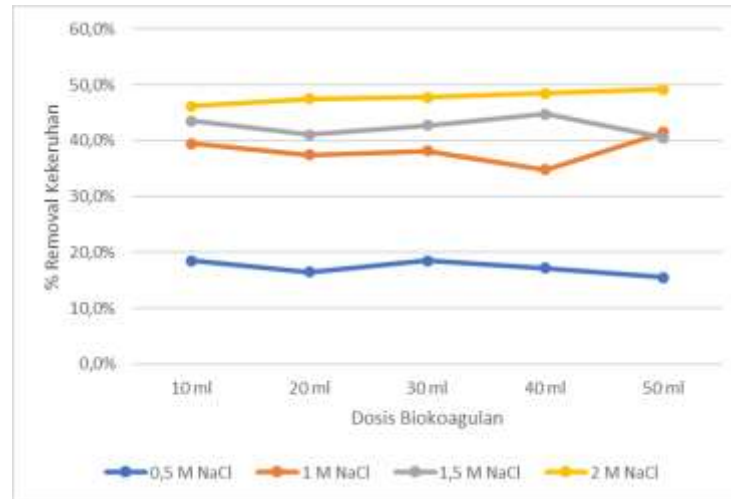
Peningkatan dosis biokoagulan menunjukkan kecenderungan peningkatan efisiensi penyisihan TSS, terutama pada pelarut dengan konsentrasi NaCl yang lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa baik dosis biokoagulan maupun kekuatan pelarut memainkan peran penting dalam proses koagulasi-flokulasi. Pada pelarut NaCl 0,5 M, efisiensi penurunan TSS berada pada kisaran 25–35%, dan menunjukkan peningkatan yang tidak signifikan seiring penambahan dosis. Rendahnya efektivitas pada konsentrasi ini dapat disebabkan oleh kemampuan pelarut yang terbatas dalam mengekstrak senyawa aktif (seperti protein dan polisakarida) dari biji asam jawa. Pada konsentrasi pelarut NaCl 2 M menunjukkan performa terbaik. Efisiensi penyisihan TSS meningkat secara konsisten seiring penambahan dosis biokoagulan, dan mencapai nilai tertinggi sekitar 68% pada dosis 50 mL.

Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi pelarut, semakin efektif ekstraksi senyawa koagulan, sehingga interaksi elektrostatis antara biokoagulan bermuatan positif dan partikel TSS bermuatan negatif menjadi lebih optimal. Hal ini sesuai dengan prinsip dasar koagulasi, yakni netralisasi muatan dan pembentukan jembatan flok (bridging). Konsentrasi pelarut NaCl 1 M dan 1,5 M menghasilkan efisiensi yang relatif stabil, berada pada kisaran 50–63%. Khusus pada konsentrasi 1 M, terlihat adanya peningkatan efisiensi yang mencapai puncak pada dosis 30 mL (sekitar 65%), kemudian menurun pada dosis lebih

tinggi. Fenomena ini menunjukkan kemungkinan adanya titik jenuh, di mana penambahan dosis tidak lagi meningkatkan efisiensi koagulasi secara signifikan, bahkan bisa menurunkan efisiensi akibat terbentuknya flok yang terlalu rapuh atau terjadi restabilisasi partikel. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi antara dosis optimum dan konsentrasi pelarut yang tepat sangat memengaruhi efektivitas biokoagulan biji asam jawa. Penggunaan pelarut NaCl konsentrasi tinggi memungkinkan ekstraksi maksimum dari senyawa aktif koagulan, sementara dosis yang sesuai akan menentukan kestabilan dan ukuran flok yang terbentuk [14]. Oleh karena itu, pemilihan parameter operasional yang tepat menjadi kunci keberhasilan dalam penerapan biokoagulan alami untuk pengolahan limbah cair.

Tabel 2. Pengaruh Dosis Biokoagulan Biji Asam Jawa dan Konsentrasi NaCl Terhadap Penurunan Kekeruhan

Jenis Biokoagulan	Dosis	% Penyisihan Kekeruhan Variasi Konsentrasi Pelarut NaCl			
		0,5 M	1 M	1,5 M	2 M
Biji Asam Jawa	10 ml	18,5%	39,5%	43,5%	46,2%
	20 ml	16,5%	37,5%	41,1%	47,5%
	30 ml	18,5%	38,2%	42,7%	47,8%
	40 ml	17,2%	34,8%	44,8%	48,5%
	50 ml	15,5%	41,5%	40,5%	49,2%



Gambar 2. Grafik Pengaruh Dosis Biokoagulan Biji Asam Jawa dan Konsentrasi NaCl Terhadap Penurunan Kekeruhan

Data dalam grafik tersebut menunjukkan bahwa konsentrasi pelarut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan biokoagulan dalam menurunkan kekeruhan, sementara pengaruh dosis cenderung stabil dengan peningkatan yang tidak terlalu tajam. Konsentrasi pelarut NaCl 2 M menunjukkan kinerja paling konsisten dan tinggi dalam menurunkan kekeruhan, dengan nilai % removal yang berkisar antara 45% hingga 49% pada seluruh variasi dosis biokoagulan. Stabilitas hasil ini menunjukkan bahwa pada konsentrasi tersebut, senyawa aktif dari biji asam jawa, seperti protein dan polisakarida bermuatan positif, dapat diekstrak dengan optimal dan mampu menetralkan partikel koloid penyebab kekeruhan. Hal ini mendukung prinsip mekanisme koagulasi-flokulasi melalui netralisasi muatan dan pembentukan jembatan flok.

Sebaliknya, pada konsentrasi pelarut NaCl yang rendah, yaitu 0,5 M, efektivitas penyisihan kekeruhan sangat rendah, hanya berkisar antara 15% hingga 18%, dan tidak menunjukkan peningkatan yang berarti meskipun dosis biokoagulan ditambah. Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi pelarut yang rendah tidak cukup untuk melarutkan senyawa koagulan aktif dari biji asam secara maksimal. Konsentrasi menengah, seperti 1 M dan 1,5 M, menunjukkan hasil yang lebih baik dengan nilai penurunan kekeruhan antara 38% hingga 46%. Pada konsentrasi 1,5 M khususnya, grafik menunjukkan tren yang relatif stabil, sedangkan pada 1 M terlihat adanya sedikit fluktuasi, dengan penurunan efisiensi pada dosis 40 mL yang kemungkinan disebabkan oleh ketidakseimbangan antara jumlah senyawa aktif dengan volume limbah yang digunakan. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa konsentrasi pelarut memainkan peran yang lebih dominan dibandingkan dengan dosis biokoagulan dalam menurunkan tingkat kekeruhan. Konsentrasi NaCl sebesar 2 M terbukti memberikan hasil terbaik, sementara dosis biokoagulan dalam rentang 10–50

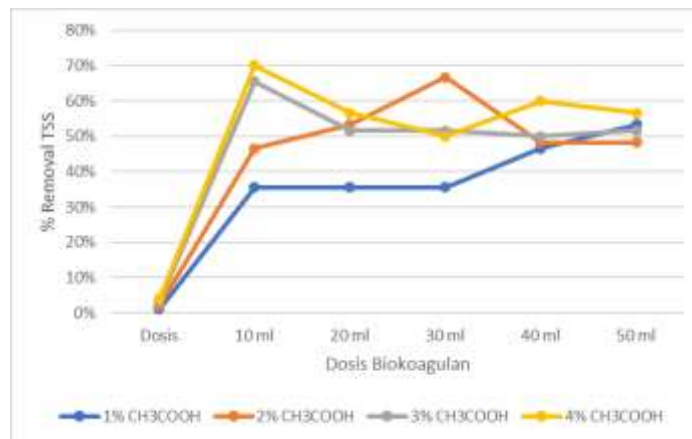
mL memberikan hasil yang relatif serupa jika pelarut berada pada kondisi optimal. Temuan ini menunjukkan pentingnya pemilihan konsentrasi pelarut yang tepat dalam proses ekstraksi biokoagulan, agar senyawa aktif dapat bekerja secara maksimal dalam menetralkan partikel koloid dan membentuk flok yang efektif dalam proses pengolahan limbah cair.

3.2 Pengaruh Dosis Biokoagulan Komersil dan Konsentrasi Pelarut CH₃COOH

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas biokoagulan komersil (kitosan) dalam menurunkan Total Suspended Solids (TSS) pada limbah cair, dengan memvariasikan dosis biokoagulan dan konsentrasi pelarut asam asetat. Variasi dosis yang digunakan yaitu 10 mL, 20 mL, 30 mL, 40 mL, dan 50 mL, sedangkan pelarut asam asetat digunakan dalam konsentrasi 1%, 2%, 3%, dan 4%.

Tabel 3. Pengaruh Dosis Biokoagulan Komersil dan Konsentrasi Asam Asetat Terhadap Penurunan TSS

Jenis Biokoagulan	Dosis	% Penyisihan TSS Variasi Konsentrasi CH ₃ COOH			
		1%	2%	3%	4%
Komersil (Kitosan)	10 ml	35,5%	46,6%	65,5%	70%
	20 ml	35,5%	53,3%	51,6%	56,6%
	30 ml	35,5%	66,7%	51,6%	50,0%
	40 ml	46,6%	48,3%	50,0%	60,0%
	50 ml	53,3%	48,3%	51,6%	56,7%



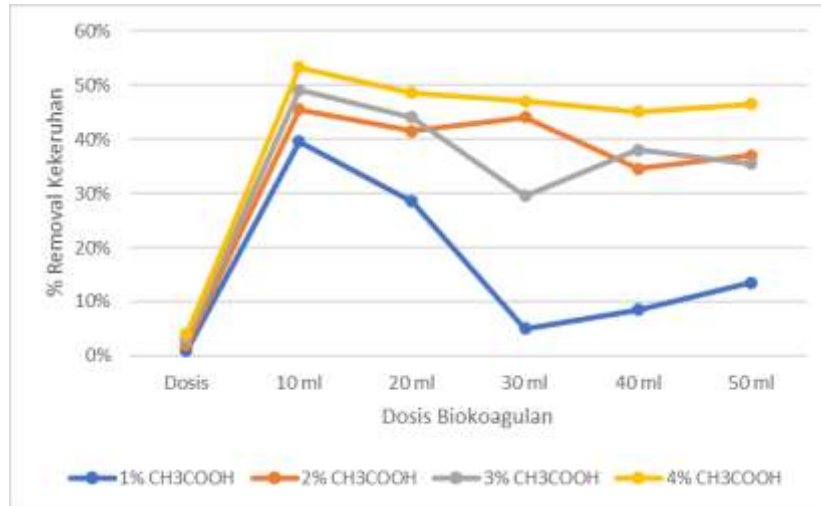
Gambar 3. Grafik Pengaruh Dosis Biokoagulan Komersil dan Konsentrasi Asam Asetat Terhadap Penurunan TSS

Pada sebagian besar konsentrasi pelarut, peningkatan dosis biokoagulan menyebabkan peningkatan efisiensi penurunan TSS, meskipun dengan tren yang tidak selalu linier. Konsentrasi asam asetat 4% menunjukkan hasil paling optimal, terutama pada dosis 10 mL dengan nilai penurunan TSS mencapai sekitar 70%. Setelah titik tersebut, nilai efisiensi mengalami penurunan dan cenderung stabil pada kisaran 55–60% hingga dosis 50 mL. Pola serupa juga diamati pada konsentrasi pelarut 3%, meskipun nilai efisiensi sedikit lebih rendah. Pada konsentrasi pelarut 2%, efisiensi penyisihan TSS menunjukkan tren meningkat hingga mencapai nilai maksimum sekitar 68% pada dosis 30 mL, lalu menurun pada dosis 40 mL dan 50 mL.

Hal ini mengindikasikan adanya titik optimum pada kombinasi dosis dan konsentrasi pelarut tertentu. Sebaliknya, penggunaan pelarut asam asetat 1% menunjukkan efisiensi yang lebih rendah dan peningkatan % removal TSS yang lambat, dengan nilai maksimum sekitar 55% pada dosis 50 mL. Hasil ini menunjukkan bahwa pelarut asam asetat dengan konsentrasi terlalu rendah tidak cukup melarutkan kitosan secara optimal, sehingga senyawa aktif tidak dapat bekerja maksimal. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa kombinasi paling efektif terdapat pada konsentrasi pelarut asam asetat 4% dengan dosis biokoagulan 10 mL, di mana efisiensi penyisihan TSS mencapai nilai tertinggi. Penambahan dosis di atas nilai tersebut tidak memberikan peningkatan efisiensi yang signifikan, bahkan cenderung menurun atau stagnan.

Tabel 4. Pengaruh Dosis Biokoagulan Komersil dan Konsentrasi Asam Asetat Terhadap Penurunan Kekeruhan

Jenis Biokoagulan	Dosis	% Penyisihan Kekeruhan Variasi Konsentrasi CH ₃ COOH			
		1%	2%	3%	4%
Komersil (Kitosan)	10 ml	39,5%	45,5%	49%	53,2%
	20 ml	28,5%	41,5%	44%	48,5%
	30 ml	5,0%	44%	29,5%	47%
	40 ml	8,5%	34,5%	38%	45%
	50 ml	13,5%	37%	35,5%	46,5%



Gambar 4. Grafik Pengaruh Dosis Biokoagulan Komersil dan Konsentrasi Asam Asetat Terhadap Penurunan TSS

Penurunan kekeruhan merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi efektivitas proses koagulasi-flokulasi menggunakan biokoagulan. Pada gambar Grafik 4.4 menunjukkan pengaruh variasi dosis biokoagulan komersil (kitosan) yang dilarutkan dengan berbagai konsentrasi asam asetat (1%, 2%, 3%, dan 4%) terhadap persentase penurunan kekeruhan limbah. Dosis yang digunakan bervariasi dari 10 mL hingga 50 mL, sedangkan konsentrasi pelarut diasumsikan memengaruhi kelarutan dan kinerja kitosan sebagai koagulan. Secara umum, penurunan kekeruhan tertinggi terjadi pada dosis 10 mL untuk semua konsentrasi pelarut, yang mengindikasikan adanya dosis optimum di awal perlakuan. Pada konsentrasi asam asetat 4%, kinerja penurunan kekeruhan menunjukkan tren yang paling stabil dan efisien. Penurunan tertinggi mencapai sekitar 53% pada dosis 10 mL dan tetap berada di atas 45% pada semua dosis berikutnya.

Hal ini menunjukkan bahwa kitosan yang terlarut dalam pelarut 4% mampu membentuk flok dengan baik tanpa menunjukkan penurunan kinerja signifikan meskipun dosis meningkat. Sementara itu, pada konsentrasi 1%, terjadi penurunan efisiensi yang drastis setelah dosis 10 mL, bahkan mencapai nilai kurang dari 10% pada dosis 30 mL. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kitosan tidak larut sempurna dalam pelarut 1%, sehingga efektivitasnya sebagai koagulan sangat terbatas. Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa efisiensi biokoagulan kitosan dalam menurunkan kekeruhan dipengaruhi oleh dua faktor utama: kelarutan kitosan dalam pelarut asam asetat serta jumlah dosis yang ditambahkan. Dosis 10 mL dengan konsentrasi pelarut 4% terbukti menjadi kombinasi paling optimal untuk penurunan kekeruhan. Dosis yang terlalu tinggi justru dapat menyebabkan terjadinya restabilisasi partikel atau pembentukan flok yang terlalu rapuh, yang akhirnya menurunkan efisiensi penyisihan [15]. Kitosan sebagai biokoagulan bekerja berdasarkan dua mekanisme utama, yaitu netralisasi muatan dan bridging (pembentukan jembatan antar partikel).

Dalam kondisi optimal, senyawa kitosan bermuatan positif mampu menetralkan partikel tersuspensi bermuatan negatif dalam limbah, sehingga membentuk flok yang lebih besar dan dapat dengan mudah mengendap. Asam asetat berperan penting dalam melarutkan kitosan, dan konsentrasi pelarut yang terlalu rendah akan membatasi aktivitas koagulan. Sebaliknya, konsentrasi pelarut yang terlalu tinggi atau dosis koagulan yang berlebihan juga dapat menyebabkan restabilisasi partikel dan pembentukan flok yang tidak efektif, sehingga efisiensi justru menurun.

3.3 Uji Statistika Pengaruh Dosis Biokoagulan Biji Asam Jawa dan Konsentrasi NaCl

Pada penggunaan dosis pada biokoagulan yaitu biokoagulan biji asam jawa dengan pelarut NaCl. Faktor yang diuji terdiri dari dua variabel bebas, yaitu dosis (dengan 5 level: 10 mL, 20 mL, 30 mL, 40 mL, dan 50 mL) dan konsentrasi (dengan 4 level: 0,5 M; 1 M; 1,5 M; dan 2 M).

```

Factor      Type  Levels  Values
DOSIS      fixed    5  10 ml; 20 ml; 30 ml; 40 ml; 50 ml
KONSENTRASI fixed    4  0,5 M; 1 M; 1,5 M; 2 M

Analysis of Variance for TSS, using Adjusted SS for Tests

Source      DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS    F    P
DOSIS       4    0,007806  0,007806  0,001952  0,64  0,641
KONSENTRASI 3    0,323363  0,323363  0,107788  35,60  0,000
Error       12    0,036336  0,036336  0,003028
Total       19    0,367505

S = 0,0550274  R-Sq = 90,11%  R-Sq(adj) = 84,35%

Unusual Observations for TSS

Obs      TSS      Fit      SE Fit  Residual  St Resid
 10  0,483000  0,569650  0,034802  -0,086650  -2,03 R

R denotes an observation with a large standardized residual.
  
```

Gambar 5. ANOVA Two Way Pengaruh Dosis dan Konsentrasi NaCl Terhadap Penurunan TSS

Berdasarkan hasil uji ANOVA Two Way dapat dilihat pada gambar 4.7, diketahui bahwa nilai signifikansi (P-value) untuk faktor dosis adalah 0,641 (lebih besar dari 0,05), yang menunjukkan bahwa variasi dosis koagulan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai TSS. Sebaliknya, faktor konsentrasi memiliki nilai P sebesar 0,000 (lebih kecil dari 0,05), sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi konsentrasi koagulan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap TSS. Nilai koefisien determinasi (R-Sq) sebesar 90,11% menunjukkan bahwa model yang digunakan mampu menjelaskan variasi data sebesar 90,11%, sedangkan nilai R-Sq(adj) sebesar 84,35% menunjukkan penyesuaian terhadap jumlah variabel prediktor dalam model. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dibangun cukup baik dalam menjelaskan hubungan antara variabel dosis dan konsentrasi terhadap penurunan TSS.

```

Factor      Type  Levels  Values
DOSIS      fixed    5  10 ml; 20 ml; 30 ml; 40 ml; 50 ml
KONSENTRASI fixed    4  0,5 M; 1 M; 1,5 M; 2 M

Analysis of Variance for KEKERUHAN, using Adjusted SS for Tests

Source      DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS    F    P
DOSIS       4    0,000420  0,000420  0,000105  0,28  0,883
KONSENTRASI 3    0,269511  0,269511  0,089837  242,22  0,000
Error       12    0,004451  0,004451  0,000371
Total       19    0,274382

S = 0,0192585  R-Sq = 98,38%  R-Sq(adj) = 97,43%

Unusual Observations for KEKERUHAN

Obs  KEKERUHAN      Fit      SE Fit  Residual  St Resid
  9  0,348000  0,381500  0,012180  -0,033500  -2,25 R
 10  0,415000  0,385000  0,012180  0,030000  2,01 R

R denotes an observation with a large standardized residual.
  
```

Gambar 6. ANOVA Two Way Pengaruh Dosis dan Konsentrasi NaCl Terhadap Penurunan Kekeruhan

Berdasarkan hasil uji ANOVA Two Way dapat dilihat pada **Gambar 6**, Berdasarkan hasil di atas, diketahui bahwa faktor dosis memiliki nilai signifikansi (P-value) sebesar 0,883, yang jauh lebih besar dari

0,05. Hal ini menunjukkan bahwa variasi dosis koagulan tidak berpengaruh signifikan terhadap penurunan kekeruhan. Sebaliknya, faktor konsentrasi menunjukkan nilai P sebesar 0,000, yang berarti bahwa variasi konsentrasi koagulan memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap perubahan nilai kekeruhan. Nilai koefisien determinasi (R-Sq) sebesar 98,38% mengindikasikan bahwa model yang digunakan mampu menjelaskan hampir seluruh variasi data kekeruhan. Nilai R-Sq(adj) sebesar 97,43% menunjukkan bahwa model tetap baik meskipun telah disesuaikan dengan jumlah variabel bebas yang digunakan.

3.4 Uji Statistika Pengaruh Dosis Biokoagulan Komersil dan Konsentrasi Asam Asetat

Pada penggunaan dosis pada biokoagulan yaitu biokoagulan Komersil (Kitosan) dengan pelarut Asam Asetat. Faktor yang diuji terdiri dari dua variabel bebas yaitu adalah dosis koagulan (10 mL, 20 mL, 30 mL, 40 mL, dan 50 mL) dan konsentrasi pelarut asam asetat (1%, 2%, 3%, dan 4%).

Factor	Type	Levels	Values
DOSIS	fixed	5	10 ml; 20 ml; 30 ml; 40 ml; 50 ml
KONSENTRASI	fixed	4	1%; 2%; 3%; 4%

Analysis of Variance for TSS, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
DOSIS	4	0,005869	0,005869	0,001467	0,20	0,932
KONSENTRASI	3	0,081732	0,081732	0,027244	3,78	0,041
Error	12	0,086557	0,086557	0,007213		
Total	19	0,174159				

S = 0,0849299 R-Sq = 50,30% R-Sq(adj) = 21,31%

Unusual Observations for TSS					
Obs	TSS	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
8	0,667000	0,519300	0,053714	0,147700	2,25 R

R denotes an observation with a large standardized residual.

Gambar 7. ANOVA Two Way Pengaruh Dosis dan Konsentrasi Asam Asetat Terhadap Penurunan TSS

Berdasarkan hasil uji ANOVA Two Way dapat dilihat pada gambar 4.9, diketahui bahwa faktor dosis memiliki nilai P sebesar 0,932, yang berarti tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai TSS ($P > 0,05$). Sebaliknya, konsentrasi pelarut asam asetat menunjukkan pengaruh signifikan terhadap TSS dengan nilai P sebesar 0,041 ($P < 0,05$). Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi koagulan dalam larutan, terdapat kecenderungan signifikan terhadap penurunan nilai TSS. Namun, nilai koefisien determinasi (R-Sq) hanya sebesar 50,30%, yang berarti bahwa model hanya mampu menjelaskan sekitar setengah dari variasi total data. Nilai R-Sq(adj) yang lebih rendah lagi, yaitu 21,31%, mengindikasikan bahwa efektivitas model dalam menjelaskan data menurun setelah disesuaikan dengan jumlah variabel bebas. Secara umum, dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa konsentrasi pelarut asam asetat dalam bentuk persen memiliki pengaruh signifikan terhadap TSS, sedangkan variasi dosis tidak menunjukkan pengaruh yang nyata.

Berdasarkan hasil uji ANOVA Two Way dapat dilihat pada **Gambar 8**, diketahui nilai P untuk faktor Dosis adalah 0,015. Karena nilai P (0,015) lebih kecil dari tingkat signifikansi $\alpha=0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari Dosis terhadap kekeruhan. Ini berarti bahwa perubahan Dosis yang diberikan secara statistik berpengaruh nyata pada tingkat kekeruhan yang diamati. Nilai F-hitung sebesar 4,85 menunjukkan rasio variabilitas antar kelompok Dosis dibandingkan dengan variabilitas dalam kelompok (error). Sedangkan nilai P untuk faktor Konsentrasi adalah 0,000. Karena nilai P (0,000) jauh lebih kecil dari tingkat signifikansi $\alpha=0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh yang sangat signifikan dari Konsentrasi terhadap kekeruhan.

```

Factor      Type  Levels  Values
DOSIS       fixed    5  10 ml; 20 ml; 30 ml; 40 ml; 50 ml
KONSENTRASI fixed    4  1%; 2%; 3%; 4%

Analysis of Variance for KEKERUHAN, using Adjusted SS for Tests

Source      DF      Seq SS      Adj SS      Adj MS      F      P
DOSIS       4      0,074236    0,074236    0,018559    4,85    0,015
KONSENTRASI 3      0,231287    0,231287    0,077096    20,16    0,000
Error       12      0,045897    0,045897    0,003825
Total       19      0,351421

S = 0,0618445  R-Sq = 86,94%  R-Sq(adj) = 79,32%

Unusual Observations for KEKERUHAN

Obs  KEKERUHAN      Fit      SE Fit  Residual  St Resid
  1    0,395000    0,291150  0,039114  0,103850    2,17  R

R denotes an observation with a large standardized residual.

```

Gambar 8. ANOVA Two Way Pengaruh Dosis dan Konsentrasi Asam Asetat Terhadap Penurunan Kekeruhan

Ini mengindikasikan bahwa variasi Konsentrasi memberikan efek yang sangat kuat dan nyata terhadap tingkat kekeruhan. Hasil analisis varian menunjukkan bahwa baik Dosis maupun Konsentrasi secara individu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kekeruhan. Konsentrasi memiliki pengaruh yang jauh lebih dominan ($P = 0,000$) dibandingkan Dosis ($P = 0,015$), ditunjukkan oleh nilai F-hitung yang lebih besar. Ini mengindikasikan bahwa dalam rentang yang diteliti, perubahan Konsentrasi akan memberikan dampak yang lebih besar dan lebih konsisten pada tingkat kekeruhan dibandingkan dengan perubahan Dosis.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Biokoagulan biji asam jawa dengan pelarut NaCl dapat menurunkan TSS dan kekeruhan paling optimal sebesar 66,7% dan 49,2% pada dosis 50 ml dengan konsentrasi pelarut NaCl sebesar 2 M. Pada uji statistika yang dilakukan pada biokoagulan biji asam jawa menyatakan bahwa variasi dosis tidak berpengaruh signifikan pada penurunan kadar TSS dan kekeruhan. Sedangkan variasi konsentrasi pelarut NaCl memberikan pengaruh yang signifikan pada penurunan kadar TSS dan Kekeruhan pada pengolahan air limbah laundry. Sedangkan pada biokoagulan komersil (kitosan) dengan pelarut asam asetat dapat menurunkan TSS dan kekeruhan paling optimal sebesar 70% dan 53,2% pada dosis 10 ml dengan konsentrasi pelarut asam asetat sebesar 4%.

Pada uji statistika yang dilakukan pada biokoagulan komersil (kitosan) menyatakan bahwa variasi dosis tidak memberikan pengaruh yang signifikan pada penurunan TSS, akan tetapi variasi dosis memberikan pengaruh yang signifikan pada penurunan kekeruhan. Sedangkan pada variasi konsentrasi pelarut asam asetat memberikan pengaruh yang signifikan pada penurunan TSS dan juga kekeruhan pada pengolahan air limbah laundry.

5. Referensi

- [1] H. Rohana, "Pemanfaatan Ekstrak Daun Abelmoschus manihot L. sebagai Flokulan Pengolahan Air Tanah pada Kegiatan Praktikum Kimia Analisis Lingkungan," *Indones. J. Lab.*, vol. 1, no. 3, p. 196, 2024, doi: 10.22146/ijl.v1i3.91375.
- [2] Z. Rahimah, H. Heldawati, and I. Syauiqiah, "Pengolahan Limbah Deterjen Dengan Metode Koagulasi-Flokulasi Menggunakan Koagulan Kapur Dan Pac," *Konversi*, vol. 5, no. 2, p. 13, 2018, doi: 10.20527/k.v5i2.4767.
- [3] N. A. Rouf, D. Arseto, and Y. Bagastyo, "Kajian Pemanfaatan Koagulan Recovery Aluminium Dan Besi Dari Abu Terbang Study of Coagulant Recovery Utilization of Aluminum and Iron From Fly Ash," *J. Purifikasi*, vol. 20, no. 1, pp. 28–39, 2020.
- [4] S. F. Ekoputri, A. Rahmatunnissa, F. Nulfaidah, Y. Ratnasari, M. Djaeni, and D. A. Sari, "PengEkoputri, S. F., Rahmatunnissa, A., Nulfaidah, F., Ratnasari, Y., Djaeni, M., & Sari, D. A. (2023). Pengolahan Air Limbah dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Industri Kimia. Jurnal Serambi Engineering, 9(1), 7781–7787. <https://doi.org/10.32672/jse.>," *J. Serambi Eng.*, vol. 9, no. 1, pp. 7781–7787, 2023.

- [5] N. I. F. Nisa and A. Aminudin, "Pengaruh Penambahan Dosis Koagulan Terhadap Parameter Kualitas Air dengan Metode Jartest," *JRST (Jurnal Ris. Sains dan Teknol.*, vol. 3, no. 2, p. 61, 2019, doi: 10.30595/jrst.v3i2.4500.
- [6] A. P. Kristijarti, I. Suharto, and Marieanna, "Penentuan Jenis Koagulan Dan Dosis Optimum Untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi Dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamu X.," *Lemb. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy. Univ. Katolik Parahyangan*, pp. 1–33, 2019.
- [7] S. Bija, Yulma, Imra, Aldian, A. Maulana, and A. Rozi, "Biochoagulant Synthesis Based on Chitosan from Bandeng Fishing Waste and Its Application of Reduction of BOD and COD Value of Tofu Waste In Tarakan City," *J. Pengolah. Has. Perikan. Indones.*, vol. 23, no. 1, pp. 86–92, 2020, doi: 10.17844/jphpi.v23i1.30888.
- [8] H. Kristianto, S. Prasetyo, and A. K. Sugih, "Pemanfaatan Ekstrak Protein dari Kacang-kacangan sebagai Koagulan Alami: Review," *J. Rekayasa Proses*, vol. 13, no. 2, p. 65, 2019, doi: 10.22146/jrekpros.46292.
- [9] E. Hendriarianti and H. Suastri, "Penentuan Dosis Optimum Koagulan Biji Asam Jawa (*Tamarindia Indica L.*) Dalam Penurunan TDD Dan COD Limbah Cair Industri Penyamakan Kulit Di Kota Malang," *Spectra*, vol. IX, pp. 12–22, 2019.
- [10] H. Hendrawati, D. Syamsumarsih, and N. Nurhasni, "Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica L.*) dan Biji Kecap (*Psophocarpus tetragonolobus L.*) Sebagai Koagulan Alami Dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah," *J. Kim. Val.*, vol. 3, no. 1, pp. 23–34, 2018, doi: 10.15408/jkv.v3i1.326.
- [11] N. A. Zainol and N. Nasuha Mohd Fadli, "Surface Water Treatment Using Tamarind Seed as Coagulants via Coagulation Process," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 864, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/864/1/012172.
- [12] D. Nasriyanti, "Aktivitas Koagulasi Ekstrak NaCl Biji Lamtoro (*Leucaena leucocephala*) dan Biji Turi (*Sesbania grandiflora*) dalam Pengolahan Air Sungai Selokan Mataram," *Skripsi.FAKULTAS Mat. DAN ILMU Pengetah. ALAM. Univ. Islam Indones.*, pp. 1–79, 2020, [Online]. Available: <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/31109>
- [13] W. Zahiruddin and A. Ariesta, "Karakteristik Mutu Dan Kelarutan Kitosan Dari Ampas Silase Kepala Udang WindU (*Penaeus monodon*) Characteristics of Quality And ...," ... *Perikan.*, vol. XI, no. 0251, pp. 140–151, 2018, [Online]. Available: <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=1324141%5C&val=233%5C&title=C> haracteristics of Quality And Solubility Kitosan From Head Of Shrimp *Penaeus Monodon* Silase Dregs
- [14] R. H. Hakim Abdul Rahman, Norhayati, "Effectiveness Of Date Dry Seed as a Natural Coagulant in Wastewater Treatment Process." 2024.
- [15] U. Irawati, F. A. Hikmah, and A. B. Junaidi, "The Effect of Acetic Acid and Hydrochloric Acid as a Solvent for Chitosan to Reduce Turbidity in Eutrophic Water," *Int. J. Environ. Sci. Dev.*, vol. 14, no. 5, pp. 287–291, 2023, doi: 10.18178/ijesd.2023.14.5.1446.