

EFEKTIVITAS KOMBINASI KOAGULAN SINTETIK DAN BIOKOAGULAN TERHADAP PENINGKATAN MUTU BAKU AIR SUNGAI TABALONG

Effectiveness of Synthetic Coagulant and Biocoagulant Combination to Improve the Standard Quality of Tabalong River Water

Yunita Sari^{1*)}, Noor Arida Fauzana²⁾, Indira Fitriliani²⁾, Herliwati²⁾

¹⁾ Program Studi Magister Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan,
Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat

²⁾ Fakultas Perikanan dan Kelautan Universitas Lambung Mangkurat

^{*)} e-mail: yunita.sari.yunisa@gmail.com

Abstract

Tabalong River is used as the raw water source for PDAM Tabalong. The large number of industrial activities in the district produces residual products that eventually pollute the watershed, resulting in a decrease in water quality and availability. Parameters that do not meet the standard quality standards as clean water based on Government Regulation No. 22 of 2021 class I are turbidity, color, TSS, dissolved Fe, dissolved Mn, and *E. coli*. This river water requires treatment with coagulation - flocculation technology with the jar test method. The technology requires a coagulant whose role is to precipitate colloidal particles. The commonly used coagulant is poly aluminum chloride (PAC). It is abundant but produces high concentrations of sludge, so coagulants that are biodegradable, biocompatible, non-toxic, and abundant are needed. These properties are found in biocoagulants in the form of chitosan. The coagulant in this study is synthetic (PAC) and biocoagulant (chitosan) by determining the optimum dose in river water treatment in the rainy season. The optimum dose is used to combine the ratio between coagulants. The ratio is (100:0, 25:75, 50:50, 75:25, and 0:100) which is analyzed for its effectiveness from each parameter. The optimum dose of PAC is 10 ppm and chitosan is 20 ppm. The best effectiveness is the PAC-chitosan combination in the form of a ratio of 0:100, which is in the form of chitosan which is able to reduce the levels of these parameters to meet the quality standards.

Keywords: coagulation; flocculation; jar test; poly aluminum chloride; chitosan.

PENDAHULUAN

Provinsi Kalimantan Selatan memiliki kabupaten yang terdapat banyak sungai induk. Salah satunya Kabupaten Tabalong berupa Sungai Tabalong yang berperan sebagai sumber air baku PDAM Kabupaten Tabalong dan Pertamina Tanjung (Sudarningsih *et al.*, 2013). Sungai ini juga berperan sebagai sumberdaya hayati perikanan dan pertanian. Kabupaten ini memiliki beberapa industri seperti pertambangan, karet, sawit yang

menghasilkan air limbah dari kegiatan industri tersebut sehingga daerah aliran sungai tercemar. Ketersediaan dan kualitas air Sungai Tabalong akhirnya mengalami penurunan kualitas air. Beberapa parameter air tidak memenuhi baku mutu standar sebagai air bersih berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 kelas I. Parameter tersebut berupa kekeruhan, warna, TSS, Fe terlarut, Mn terlarut, dan *E. coli*.

Suatu teknologi diperlukan untuk mengolah air sungai tersebut agar memenuhi baku mutu air bersih yang dipersyaratkan.

Air bersih yang aman untuk dikonsumsi harus bebas dari organisme patogen, zat beracun, kelebihan mineral dan polutan organik. Harus tidak berwarna, tidak berasa dan tidak berbau agar menarik bagi konsumen (Ernest *et al.*, 2017). Penelitian yang dilakukan oleh Sutapa (2014) mengenai pengolahan air sungai menggunakan metode koagulasi-flokulasi. Metode ini membutuhkan bahan kimia berupa koagulan untuk mengendapkan partikel koloid. Pengendapan ini menurunkan kadar warna air sehingga air menjadi tidak berwarna. Penurunan juga terjadi untuk kekeruhan dan logam berat. Cara kerja metode ini yaitu partikel yang lebih kecil teragregat membuat flok yang lebih besar dengan bantuan koagulan yang dimasukkan ke dalam air. Ukuran flok yang membesar memberikan gaya gravitasi menuju bawah air hingga terjadi penengantapan.

Salah satu koagulan sintetik yang umum digunakan yaitu poli aluminium klorida (PAC). Polimer ini mudah digunakan, hemat biaya, dan banyak tersedia. Kekurangannya ketika digunakan menghasilkan lumpur yang mengandung tinggi konsentrasi koagulan. Lumpur tersebut tidak dapat terurai secara hayati dan dapat membahayakan lingkungan dan kesehatan manusia. Lumpur yang dihasilkan tidak mudah untuk didaur ulang (Engels *et al.*, 2022; Siswoyo *et al.*, 2021). Kekurangan tersebut memerlukan sifat koagulan yang mudah terbiodegradasi, biokompatibel, tidak beracun, dan ketersediannya melimpah. Kitosan memiliki semua sifat tersebut (Restuaji *et al.*, 2020). Kitosan yang digunakan dalam penelitian Triastiningrum *et al.*, (2016), berupa limbah kulit udang yang berperan dalam menurunkan kekeruhan air dari outlet bak prasidementasi instalasi pengolahan air minum. Penggunaan koagulan dalam penelitian Hendrawati *et al.*, (2015) juga digunakan untuk air danau dan limbah cair tahu dalam penelitian Bija *et al.*, (2020).

Koagulan yang digunakan dalam penelitian ini berupa sintetik (PAC) dan bikoagulan (kitosan) yang dilakukan

perbandingan dalam pengolahan air sungai. Koagulan menjadi faktor utama dalam menghabiskan biaya dari proses pengolahan air sehingga diperlukan pengefisiensi pemakaiannya dengan mencari dosis optimum. Faktor penggunaan koagulan juga dipengaruhi oleh kondisi musim. Debit air kecil saat musim kemarau sehingga kekeruhan air rata-rata 100 NTU sementara saat musim penghujan, debit meningkat sehingga kekeruhan lebih dari 100 NTU (Chamdan *et al.*, 2013). Data dari Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Tabalong parameter saat musim kemarau pada tahun 2022 sebesar 32 NTU sementara pada musim penghujan hingga 127 NTU. Peneliti melakukan penelitian ini pada Januari 2023. Analisis curah hujan yang diterima dari stasiun atau pos kerjasama di Provinsi Kalimantan Selatan pada bulan tersebut sebesar 301-400 mm dengan kriteria curah hujan di atas normal (Anonim, 2023). Tujuan penelitian ini, yaitu menentukan dosis optimum PAC dan kitosan sebagai koagulan untuk pengolahan air bersih Sungai Tabalong yang memenuhi persyaratan baku mutu untuk air baku yang diolah menjadi air bersih saat musim penghujan berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021. Tujuan kedua yaitu, menentukan efektivitas PAC, kitosan, serta kombinasi PAC-Kitosan sebagai koagulan untuk meningkatkan kualitas air Sungai Tabalong saat musim penghujan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan sampel air Sungai Tabalong berupa Intake PDAM Tabalong kemudian dilakukan karakteristik awalnya berupa pH, kekeruhan, warna, TSS, Fe dan Mn Terlarut serta *E. coli*. Tahap pertama menentukan dosis optimum masing-masing koagulan berupa PAC dan kitosan. Konsentrasi koagulan yang digunakan sebesar 2%. Preparasi larutan koagulan PAC 2% (b/v) sebanyak 100 mL dibuat dengan cara 2 gram PAC ditimbang dan dilarutkan dengan akuades hingga 100 mL. Preparasi larutan kitosan 2% (b/v) dibuat dengan cara

yaitu kitosan sebanyak 2 gram dilarutkan dalam 50 mL asam asetat 2%. Larutan diaduk dengan pengaduk magnetik selama 3 jam hingga homogen.

Merujuk dalam penelitian (Muruganandam *et al.*, 2017) yaitu, jar test dilakukan dengan cara sampel air Sungai Tabalong sebanyak 1000 mL dimasukkan ke dalam gelas piala. Pengadukan cepat dilakukan dengan kecepatan pengadukan 150 RPM selama 2 menit. Penambahan koagulan (PAC, tawas, dan kitosan) dengan konsentrasi larutan koagulan sebanyak 5, 10, 15, 20, dan 25 ppm dilakukan pada saat pengadukan cepat sedang berlangsung. Sampel tanpa larutan koagulan sebagai kontrol. Pengadukan selanjutnya, diperlambat sampai 35 RPM selama 20 menit. Pengendapan dilakukan selama 30 menit. Sampel setelah diberi perlakuan dianalisis berupa kekeruhan untuk menentukan efisiensi penggunaan koagulan. Nilai efisiensi proses koagulasi-flokulasi menjadi indikator pengolahan air. Efisiensinya dapat dihitung dengan cara membandingkan nilai parameter air sebelum dan sesudah proses koagulasi menggunakan rumus berikut:

$$E = ((T_0 - T_1) / T_0) \times 100\%$$

Keterangan:

- E : efisiensi proses koagulasi-flokulasi (%)
- T₀ : nilai parameter air sebelum perlakuan
- T₁ : nilai parameter air setelah perlakuan

Tahap kedua ini menggunakan langkah yang sama dengan tahap satu namun dosis koagulan yang digunakan dikombinasikan. Koagulan berupa dosis optimum PAC, kitosan, serta kombinasi antara PAC dan kitosan dosis optimum dengan nisbah (25:75, 50:50, dan 75:25). Masing-masing koagulan setelah diberi perlakuan dilakukan analisis berupa pH, kekeruhan, warna, *Total Suspended Solid* (TSS), Fe dan Mn Terlarut serta *E. coli*. Nilai efisiensinya dihitung untuk masing-masing parameter.

Pemakaian koagulan dalam penelitian Trastinigrum *et al.*, (2016) dihitung dengan rumus:

$$X = \frac{Q \times D}{10^6}$$

Keterangan:

X : bahan koagulan yang digunakan (kg/jam)

Q : debit air yang diolah (liter/jam)

D : dosis koagulan yang digunakan (ppm)

Biaya penggunaan koagulan per jam dengan rumus:

$$\text{Biaya per jam} = \text{pemakaian koagulan (kg/jam)} \times \text{harga per kg}$$

Biaya penggunaan koagulan per m³ masing-masing koagulan dengan rumus:

$$\text{Biaya per m}^3 = \frac{\text{biaya koagulan per jam}}{\text{debit air yang diolah } \left(\frac{\text{m}^3}{\text{jam}}\right)}$$

Analisis statistik didahului dengan uji normalitas dengan Shapiro Wilk dan uji homogenitas data menggunakan Levene Test. Data yang digunakan adalah data kualitas air sungai Tabalong meliputi pH, kekeruhan, warna, TSS, Fe dan Mn Terlarut serta *E. coli*. Setelah melakukan kedua uji tersebut, dilakukan analisis uji-t berpasangan.. Alat bantu uji statistik yang digunakan adalah IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versi 22,0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Air Sungai Tabalong

Pengambilan contoh uji dilakukan saat musim penghujan. Data pada Tabel 1 menunjukkan kualitas air sungai yang belum memenuhi baku mutu air baku untuk air bersih. Hasil uji parameter kekeruhan sebesar 115 NTU dengan baku mutu 5 NTU (baku mutu BPAM Banjarbakula), warna sebesar 55 PCU dengan baku mutu di bawah 15 PCU, dan TSS sebesar 99 mg/L dengan baku mutu 40 mg/L. Hasil uji parameter

logam berupa Fe terlarut sebesar 0,72 mg/L dengan baku mutu 0,3 mg/L sementara untuk logam Mn terlarut sebesar 0,23 mg/L dengan baku mutu 0,1 mg/L. Hasil uji untuk *E. coli* sebesar 621 MPN/100 mL dengan baku mutu 100 MPN/100 mL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa air sungai harus dikelola sebelum digunakan untuk air bersih. Pengolahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode koagulasi dan flokulasi dengan menggunakan suatu koagulan sintetik berupa PAC dan biokoagulan berupa kitosan.

Tabel 1. Karakteristik Awal Air Sungai Tabalong

Parameter	Satuan	Hasil Uji	Baku Mutu Air Bersih
pH	-	7,25	6 – 9
Kekeruhan	NTU	115	-
Warna	PCU	55	< 15
TSS	mg/L	99	40
Fe Terlarut	mg/L	0,72	0,3
Mn Terlarut	mg/L	0,23	0,1
<i>E. coli</i>	MPN/100 mL	621	100

Optimalisasi Dosis Koagulan (PAC dan Kitosan)

Optimalisasi ini sebagai tahap satu yang dilakukan untuk tahap lanjutan kombinasi masing-masing koagulan. Kekeruhan sebagai parameter penentu dalam optimalisasi ini meskipun dalam peraturan pemerintah nomor 22 tahun 2021 dalam pengolahan air yang diolah oleh PDAM menjadi parameter yang selalu dipantau setiap hari. BPAM Banjarkabula menggunakan batas maksimal sebesar 5 NTU. PDAM Tirta Moedal Kota Semarang juga menggunakan nilai tersebut dalam baku mutu (Rohmawati *et al.*, 2020).

Tabel 2. Optimalisasi Dosis PAC

Dosis koagulan (ppm)	PAC	
	Kekeruhan (NTU)	Efisiensi (%)
0	125,4	0,00
5	6,47	94,84
10	3,21	97,44
15	2,92	97,67
20	2,74	97,81
25	3,05	97,57
Baku Mutu Air Bersih	5	-

Indikatornya berupa dosis pemakaian yang digunakan saat jar test. Nilai yang pertama kali turun di bawah 5 NTU menjadi penentunya dan bukan dari tingkat kekeruhan terendah. Setelah proses tersebut masih ada filtrasi yang dapat menurunkan kekeruhan. Biaya yang dikeluarkan menjadi lebih rendah dalam pengolahan. Tabel 2 menunjukkan bahwa perlakuan dengan penambahan dosis PAC yang efisien adalah 10 ppm dengan nilai kekeruhan sebesar 3,21 NTU. Efisiensi penurunannya sebesar 97,44%. Kitosan sebesar 20 ppm dengan nilai kekeruhan sebesar 4,05 NTU (Tabel 3). Efisiensi penurunannya sebesar 96,77%.

Tabel 3. Optimalisasi Dosis Kitosan

Dosis koagulan (ppm)	Kitosan	
	Kekeruhan (NTU)	Efisiensi (%)
0	125,4	0,00
5	21,4	82,93
10	14,5	88,44
15	8,83	92,96
20	4,05	96,77
25	4,12	96,71
Baku Mutu Air Bersih	5	-

Optimalisasi Dosis Kombinasi PAC dan Kitosan

Dosis PAC sebesar 10 ppm dan kitosan sebesar 20 ppm digunakan untuk tahap

kedua. Kedua koagulan ini dikombinasikan dengan nisbah yang berbeda.

Pengaruh Kombinasi PAC – Kitosan terhadap pH pada Tahap Dua

Indikator untuk mengetahui tingkat keasaman ataupun basa dari suatu larutan disebut pH. Parameter ini besar pengaruhnya terhadap proses pengolahan air. Kualitas air yang dihasilkan buruk apabila pH tidak optimum (Wardani *et al.*, 2009). Perubahan pH pada air dapat menyebabkan perubahan pada bau, rasa maupun warna dari air tersebut (Nisa *et al.*, 2019). Nilai pH air sungai Tabalong meskipun nilainya berada dalam kondisi netral, dikhawatirkan dengan penggunaan koagulan akan menurunkan kualitasnya. Rentang nilai pH air Sungai Tabalong yang telah diolah dengan koagulasi dan flokulasi untuk kombinasi koagulan yaitu 6,78 – 7,25 (Tabel 4). Hasil uji T pada parameter pH untuk semua perlakuan < 0,05. Kombinasi PAC dan Kitosan yaitu 75: 25 yang efektif dengan penurunan pH dan hasil uji T yang rendah. Penggunaan kombinasi koagulan menunjukkan berpengaruh nyata terhadap pH sampel. Nilainya meskipun terjadi penurunan, penggunaan kedua koagulan tersebut tidak menurunkan nilainya hingga asam. Penurunan terjadi karena keberadaan polikationik yang terdapat pada PAC maupun kitosan. Sifat tersebut menyebabkan air menerima proton dan mengikat ion H⁺ yang didapat ketika koagulan bereaksi dengan air berupa reaksi hidrolisis (Rusdi *et al.*, 2014).

Tabel 4. Pengaruh Larutan Koagulan terhadap pH

Kombinasi PAC - Kitosan	pH	Efektivitas (%)	Uji T
0: 0 (kontrol)	7,25	0,00	-
100: 0	7,15	1,35	0,001
75: 25	7,09	2,14	0,000
50: 50	7,01	3,35	0,000
25: 75	6,92	4,59	0,001
0: 100	6,77	6,59	0,000

Penelitian yang dilakukan Budiman *et al.*, (2020), dengan menggunakan PAC air Sungai Kalimalas Surabaya menurunkan pH hingga 3,53%. Penelitian yang dilakukan Triastiningrum *et al.*, (2016), air baku PDAM Surya Sembada Surabaya terus mengalami penurunan yang linier dengan meningkatnya konsentrasi kitosan. Tabel 3 menunjukkan bahwa pH juga terus mengalami penurunan dengan meningkatnya konsentrasi kitosan. Penyebabnya yaitu pelarut kitosan berupa asam asetat dengan nilai pH 4,24 yang sifatnya mampu menurunkan pH. Pelarutan dilakukan dengan larutan asam karena kitosan tidak dapat larut dalam air, pelarut-pelarut organik maupun alkali atau asam-asam mineral pada pH di atas 6,5. Pelarutan ini dilakukan agar terjadi protonasi gugus amina (NH₂) pada kitosan membentuk NH₃⁺. Protonasi tersebut meningkatkan sifat polikationik kitosan. Keberadaan gugus hidroksil dan amina di sepanjang rantai polimernya menyebabkan kitosan sangat efektif dalam mengikat kation dari zat-zat organik (Hambali *et al.*, 2017).

Pengaruh Kombinasi PAC – Kitosan terhadap Kekeruhan pada Tahap Dua

Kekeruhan merupakan parameter yang harus selalu diukur untuk mengetahui efektivitas proses koagulasi flokulasi. Kekeruhan pada air dapat disebabkan karena adanya zat padat tersuspensi dalam air, baik zat organik maupun zat anorganik (Diharjo *et al.*, 2022). Hasil uji T masing-masing perlakuan berpengaruh nyata dan kombinasi PAC-Kitosan terbesar dalam menurunkan kekeruhan yaitu 100: 0 (Tabel 5).

Tabel 5. Pengaruh Larutan Koagulan terhadap Kekeruhan

Kombinasi PAC - Kitosan	Kekeruhan (NTU)	Efektivitas (%)	Uji T
0: 0 (kontrol)	115	0,0	-
100: 0	2,18	98,1	0,000
75: 25	2,80	97,6	0,000
50: 50	3,56	96,9	0,000
25: 75	3,90	96,6	0,000
0: 100	4,78	95,8	0,000

Penelitian yang dilakukan Sutapa (2014), PAC mampu menurunkan kekeruhan air sungai sebesar 66,1% sementara kitosan dalam penelitian Triastiningrum *et al.*, (2016) hanya mampu menurunkan kekeruhan sebesar 38%. Bobot molekul pada koagulan menjadi faktor penurunan kekeruhan. Semakin besar bobot molekul maka penurunannya semakin besar. PAC lebih cepat membentuk flok daripada koagulan biasa disebabkan gugus aktif aluminat yang bekerja efektif mengikat koloid. Ikatan tersebut diperkuat oleh rantai polimer dari gugus polielektrolit sehingga gumpalan floknya menjadi lebih padat (Sutapa, 2014). Penambahan gugus hidroksil ke dalam rantai koloid yang hidrofobik akan menambah bobot molekul. Kitosan apabila derajat deastilisasi semakin tinggi menyebabkan berat molekulnya semakin rendah. Kitosan yang digunakan dalam penelitian memiliki karakteristik deastiliasi 87,5 % sehingga bobot molekulnya rendah. Kitosan ini

membutuhkan waktu yang lebih lama untuk membentuk makroflok dengan bobot molekul yang rendah (Hambali *et al.*, 2017).

Pengaruh Kombinasi PAC – Kitosan terhadap Warna pada Tahap Dua

Warna pada air mengindikasikan adanya zat-zat terlarut dalam air yang berpengaruh terhadap kualitas air. Ketika kadarnya tinggi maka tidak cocok digunakan dalam kegiatan sehari-hari. Partikel koloid yang bermuatan negatif penyebab umum pembentuk warna air sehingga pemurniannya memerlukan wakoagulan yang bermuatan positif (Yusmidiarti, 2019). Air Sungai Tabalong secara visual berwarna cokelat keruh. Kadar warna yang diperbolehkan maksimal 15 PCU berdasarkan peraturan pemerintah nomor 22 tahun 2021. Nilai kontrolnya sebesar 55 PCU sehingga diperlukan pengolahan.

Tabel 6. Pengaruh Larutan Koagulan terhadap Warna

Kombinasi PAC - Kitosan	Warna (PCU)	Efektivitas (%)	Uji T
0: 0 (kontrol)	55	0,0	-
100: 0	8	86,4	0,002
75: 25	10	81,8	0,001
50: 50	13	77,3	0,003
25: 75	13	77,3	0,003
0: 100	15	72,7	0,001

Semua kombinasi koagulan kecuali nisbah 0:100 menurunkan kadar warna hingga di bawah baku mutu dengan pengaruh nyata berdasarkan hasil uji T (Tabel 6). Nisbah 75:25 dengan efektivitas besar dan hasil uji T yang rendah mampu menurunkan kadar warna sebesar 81,8%. PAC dalam

penelitian Rosi'nska *et al.*, (2021), mampu menurunkan warna hingga 80% sementara kitosan dalam penelitian (Purwaningsih *et al.*, 2020) mampu menurunkan warna hingga 96%. Warna mengalami penurunan karena ion organik bermuatan negatif dari partikel koloid yang berikatan dengan ion Al^{3+} pada

PAC sementara kitosan berupa ion NH_3^+ . Interaksi jembatan antar polimer merupakan mekanisme yang terjadi antara koagulan dengan molekul zat warna.

Pengaruh Kombinasi PAC – Kitosan terhadap TSS pada Tahap Dua

PAC dan kitosan ketika dilakukan jar test, ion-ion positif yang terdapat pada kedua koagulan tersebut mampu mengikat dan menarik ion negatif pada permukaan koloid. Kombinasi kedua koagulan tersebut mampu menurunkan kadar TSS. Kombinasi PAC dan kitosan dengan nisbah 100:0 memiliki efektivitas yang besar dan hasil uji T yang rendah (Tabel 7). Penelitian yang dilakukan Widiyanti (2018), menggunakan PAC mampu menurunkan kadar TSS hingga 89,6 dengan dosis koagulan 25 ppm. Maria *et al.*, (2020), menggunakan kitosan yang mampu

menurunkan kadar TSS 100% dengan dosis optimumnya 20 ppm.

PAC dinilai lebih efektif disebabkan $\text{Al}(\text{OH})_3$ pada PAC berupa hasil hidrolisis mengadsorpsi partikel-partikel tersuspensi, mengikatnya dengan kuat sehingga cepat terbentuk flok besar dan mengendap (Widiyanti, 2018). Kebutuhan koagulan PAC (10 ppm) juga lebih sedikit dibandingkan kitosan (20 ppm) untuk mencapai kondisi optimum. Semakin besar dosis sampai mencapai titik optimumnya maka penurunan kadar TSS semakin besar. Destabilisasi muatan partikel koloid dengan banyaknya muatan positif yang diberikan dari koagulan yang membuat TSS menurun. Destabilisasi muatan tersebut kembali menjadi stabil sehingga partikel kembali ke keadaan tersuspensi.

Tabel 7. Pengaruh Larutan Koagulan terhadap TSS

Kombinasi PAC - kitosan	TSS (mg/L)	Efektivitas (%)	Uji T
0: 0 (kontrol)	99	0,0	-
100: 0	25	75,3	0,000
75: 25	21	78,5	0,001
50: 50	28	72,2	0,000
25: 75	31	69,2	0,000
0: 100	40	59,3	0,002

Pengaruh Kombinasi PAC – Kitosan terhadap Fe dan Mn Terlarut pada Tahap Dua

Pencemaran pada lingkungan dapat menimbulkan rusaknya kelestarian lingkungan dan keseimbangan sumber daya alam. Limbah logam salah satu yang sering terdapat pada perairan. Logam dapat merusak lingkungan terutama jika tanpa disengaja dikonsumsi oleh manusia. Penyebabnya yaitu sifatnya yang toksik dan mengakibatkan kematian sehingga diperlukannya pengolahan agar dapat mengantisipasi keberadaan logam dalam perairan. Tabel 8 menunjukkan kombinasi PAC-Kitosan, peranannya dalam menurunkan kadar logam Fe terlarut di

bawah baku mutu yaitu nisbah 25:75 dan 0:100. Logam Mn terlarut dan kedua nisbah tersebut memberikan pengaruh nyata berdasarkan hasil uji T nyata (Tabel 9). Berturut-turut, efektifitasnya untuk Fe terlarut sebesar 64,5% dan 73,9%. Efektivitas untuk Mn terlarut berturut-turut sebesar 63% dan 71,7%.

Tabel 8. Pengaruh Larutan Koagulan terhadap Fe Terlarut

Kombinasi PAC - kitosan	Fe Terlarut (mg/L)	Efektivitas (%)	Uji T
0: 0 (kontrol)	0,72	0,0	-
100: 0	0,36	49,5	0,002
75: 25	0,43	40,1	0,000
50: 50	0,31	57,5	0,000
25: 75	0,26	64,5	0,001
0: 100	0,19	73,9	0,000

Penelitian yang dilakukan Krupińska (2021), PAC mampu menurunkan logam Fe sebesar 90,6%. Kitosan dalam penelitian Elkady *et al.*, (2017), mampu menurunkan logam Fe dan Mn masing-masing sebesar 99,8% dan 95,3%. Penurunan kedua kadar logam tersebut terjadi karena PAC maupun kitosan memiliki ion-ion positif yang mampu menarik ion-ion negatif pada partikel koloid yang membentuk flok. Saat ion Al^{3+} pada koagulan PAC berikatan dengan ion negatif pada partikel koloid dalam air membentuk

flok berupa $Al(OH)_3$. Flok tersebut kemudian mengikat logam-logam yang terkandung dalam air yang bersamaan dengan proses pengendapan (Krupińska, 2021). Kitosan juga dengan konsep koagulasi, mampu mengikat logam berat. Jika pada PAC dengan ion Al^{3+} sementara kitosan dengan gugus amina. Adsorben pada koagulan memberikan luas permukaan agar koagulan dan ion logam Fe maupun Mn dapat berinteraksi (Nurhayati *et al.*, 2020).

Tabel 9. Pengaruh Larutan Koagulan terhadap Mn Terlarut

Kombinasi PAC - Kitosan	Mn Terlarut (mg/L)	Efektivitas (%)	Uji T
0: 0 (kontrol)	0,23	0,0	-
100: 0	0,16	32,6	0,000
75: 25	0,13	45,7	0,004
50: 50	0,13	43,5	0,005
25: 75	0,09	63,0	0,000
0: 100	0,07	71,7	0,000

Penggunaan kitosan memiliki efektifitas terbesar dalam menurunkan kadar logam. pH rendah dari kitosan yang bermuatan positif dengan konsentrasi ion H^+ yang lebih tinggi menyebabkan protonasi gugus amino. Protonisasi ini kemudian menginduksi tolakan elektrostatis kation logam yang mengurangi jumlah pengikatan yang tersedia untuk ion logam. Serapan ion Fe dan Mn secara umum meningkat seiring dengan kenaikan pH hingga mencapai pH 7 (Elkady *et al.*, 2017). Penggunaan koagulan tersebut juga menurunkan di bawah ambang batas dari Peraturan Pemerintah nomor 22 tahun 2021.

Patogen yang telah mengkontaminasi air dapat dilihat dari indikator bakteri coliform. Kandungannya berbanding lurus dengan tingkat pencemaran air. *Escherichia coli* pada penelitian ini menggunakan metode *Most Probable Number* (MPN). Kontrol memiliki nilai *E. coli* sebesar 621 MPN/100 mL. Penambahan larutan kombinasi koagulan menurunkan *E. coli* hingga 52 – 142 MPN/100 mL. Kombinasi koagulan yang mampu menurunkan hingga dibawah baku mutu adalah 50: 50, 25: 75, dan 0: 100. Kombinasi tersebut juga memiliki perbedaan nyata berdasarkan hasil uji T yang memberikan nilai $< 0,05$ nyata (Tabel 10).

Pengaruh Kombinasi PAC – Kitosan terhadap Escherichia coli pada Tahap Dua

Tabel 10. Pengaruh Larutan Koagulan terhadap *Escherichia coli*

Kombinasi PAC - kitosan	<i>E. coli</i> (MPN/100 mL)	Efektivitas (%)	Uji T
0: 0 (kontrol)	621	0,0	-
100: 0	142	77,1	0,000
75: 25	113	81,9	0,000
50: 50	97	84,4	0,000
25: 75	75	88,0	0,000
0: 100	52	91,6	0,000

Penelitian yang dilakukan Mirzaiy *et al.*, (2012), menggunakan koagulan PAC dengan dosis 30 ppm mampu menurunkan *E. coli* hingga 94,46%. Kitosan dalam penelitian Hendrawati *et al.*, (2015), mampu menurunkan bakteri tersebut hingga 99,18%. Penurunan bakteri tersebut disebabkan kitosan memiliki gugus amina sebagai sisi reaktif untuk berikatan dengan dinding sel bakteri. Begitu pula dengan PAC yang memiliki ion Al^{3+} . Adanya perbedaan keelektronegatifan antara koagulan dengan permukaan sel bakteri yang menyebabkan adanya interaksi. Asam asetat sebagai pelarut kitosan juga memberikan daya hambat terhadap bakteri. Hambatan ini disebabkan oleh dinding sel bakteri gram negatif (*E. coli*) yang lebih tipis daripada gram positif sehingga dinding sel bakteri yang lebih tipis, mudah untuk dirusak (Damayanti *et al.*, 2016).

Biaya Produksi Kombinasi Koagulan Optimum

Pengolahan air selain mempertimbangkan kualitasnya juga mempertimbangkan biaya penggunaan bahan pengolahnya. Penggunaan masing-masing kombinasi koagulan dibandingkan biayanya dengan debit air yang diolah misalnya 100 liter per detik. Perhitungan biaya penggunaan koagulan (koagulan/m³) paling murah (Tabel 11) adalah kombinasi PAC: Kitosan (nisbah 100: 0) sebesar Rp 17.000,-/m³. Nilai kekeruhan setelah dilakukan pengolahan juga relatif sama dengan kombinasi koagulan nisbah yang lain. Faktor yang mendukung bahwa PAC lebih baik dibandingkan dengan kitosan adalah PAC dalam bentuk bubuk mudah larut dengan air sedangkan kitosan hanya dapat larut dengan pelarut yang bersifat asam sehingga penggunaannya kurang efisien.

Tabel 11. Biaya Produksi Kombinasi Koagulan

PAC-Kitosan	Pemakaian koagulan (kg/jam)
100: 0	3,6
75: 25	4,5
50: 50	5,4
25: 75	6,3
0: 100	7,2
PAC-Kitosan	Biaya penggunaan (koagulan/jam)
100: 0	Rp 61.200,00
75: 25	Rp 4.557.375,00
50: 50	Rp 10.845.900,00
25: 75	Rp 18.926.775,00
0: 100	Rp 28.800.000,00
PAC-Kitosan	Biaya penggunaan koagulan (koagulan/m ³)
100: 0	Rp 17.000
75: 25	Rp 9.114.750
50: 50	Rp 21.691.800
25: 75	Rp 37.853.550
0: 100	Rp 37.853.550

PAC-Kitosan	Kekeruhan (NTU)
100: 0	3,11
75: 25	3,92
50: 50	3,57
25: 75	3,03
0: 100	4,07

Efektivitas Kitosan dalam Jangka Panjang

PAC sebagai koagulan sintetik dapat menimbulkan berbagai risiko kesehatan manusia, seperti toksisitas jangka panjang dan efek karsinogenisitas. Koagulan tersebut juga menimbulkan risiko bagi lingkungan karena sebagian besar sifatnya yang sulit terbiodegradasi. Penanggulangannya menggunakan koagulan alami yang sifatnya lebih berkelanjutan dalam proses pengolahan air. Contoh koagulan tersebut seperti kitosan. Koagulan ini tidak berbahaya bagi kesehatan manusia kesehatan dan mudah terbiodegradasi. Limbah lumpur jauh lebih mudah untuk ditangani karena tidak serta merta harus dibuang. Lumpur limbah dalam penelitian Engels *et al.*, (2020), dari pengolahan kitosan tidak harus dibuang dan bahkan dapat digunakan sebagai pembenah tanah karena bahan organik alami yang diambil dari air hanyalah sebagian kecil dari humus tanah dan sisa tanaman yang membusuk. Penggunaan kitosan dari hasil limbah kepiting dalam penelitian ini dengan nisbah kombinasi PAC-Kitosan sebesar 0:100 dinilai efektif. Penurunan kadar kekeruhan, warna, TSS, Fe dan Mn Terlarut, serta *E. coli* hingga di bawah baku mutu standar sebagai air bersih kelas I sesuai peraturan pemerintah nomor 22 tahun 2021 sebagai niali efektivitasnya.

KESIMPULAN

Dosis optimum PAC sebesar 10 ppm dan kitosan sebesar 20 ppm sebagai koagulan untuk pengolahan air bersih Sungai Tabalong saat musim penghujan. Efektivitas PAC, kitosan, serta kombinasi PAC – Kitosan sebagai koagulan untuk meningkatkan kualitas air Sungai Tabalong saat musim

penghujan berupa nisbah 0: 100 dengan efektivitas terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. Februari 2023. Buletin Iklim Kalimantan Selatan Febuari 2023. BMKG KALIMANTAN SELATAN, hlm. 9.
- Bija, S., Maulana, A., & Rozi, A. (2020). Biokoagulan berbasis kitosan limbah sisik ikan bandeng dan aplikasinya terhadap nilai BOD dan COD limbah tahu di Kota Tarakan. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 23(1), 86-92.
- Budiman, A., Wahyudi, C., Irawati, W., & Hindarso, H. (2008). Kinerja koagulan poly aluminium chloride (PAC) dalam penjernihan air Sungai Kalimas Surabaya menjadi air bersih. *Widya Teknik*, 7(1), 25-34.
- Chamdan, A., & Purnomo, A. (2013). Kajian kinerja teknis proses dan operasi unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi pada instalasi pengolahan air (IPA) Kedunguling PDAM Sidoarjo. *Jurnal Teknik POMITS*, 2(2), 118-123.
- Damayanti, W., Rochima, E., & Hasan, Z. (2016). Aplikasi kitosan sebagai antibakteri pada filet patin selama penyimpanan suhu rendah. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 19(3), 321-328.
- Diharjo D. F. M. W., Jannie, Permatasari W. S. R., & Wikaningrum, T. (2022). Comparison of coagulant dose (poly aluminum chloride) use in the water treatments process of Kalimalang River. *Serambi Engineering*, 7(1), 2791-2797.
- Elkady, G. M., Fathallah, H., Elfadi, M. A., Elsayed, M., & Selim, A. (2017). Removal of Fe (II) and Mn (II) from wastewater using nano-chitosan prepared

- from shrimp waste. *Al-Azhar Bulletin of Science*, 28(1), 45-56.
- Engels, S., & O'Born R. J. (2022). Realizing the potential of humic acid recovery in Norway through chitosan treatment of drinking water. *Procedia CIRP*, 105(2022), 177-182.
- Ernest, E., Onyeka, O., David, N., & Blessing, O. (2017). Effects of pH, dosage, temperature and mixing speed on the efficiency of water melon seed in removing the turbidity and colour of Atabong river, Awka-Ibom state, Nigeria. *International Journal of Advanced Engineering, Management and Science*, 3(5), 427-434.
- Hambali, M., Wijaya, E., & Reski, A. (2017). Pembuatan kitosan dan pemanfaatannya sebagai agen koagulasi-flokulasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 2(23), 104-113.
- Hendrawati, H., Sumarni, S., & Nurhasni. (2015). Penggunaan kitosan sebagai koagulan alami dalam perbaikan kualitas air danau. *Jurnal Kimia Valensi*, 1-11.
- Krupińska, I. (2021). Removing iron and organic substances from water over the course of its treatment with the application of average and highly alkaline polyaluminium chlorides. *Molecules*, 26(5), 1-24
- Maria, A., Mayasari, E., Irawati, U., & Zulfikurrahman. (2020). Comparing the effectiveness of chitosan and conventional coagulants for coal wastewater treatment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 980(2020), 1-7.
- Mirzaiy, A., Takdastan, A., Alavi, N., & Mohamadian, H. (2012). Removal of turbidity, organic matter, coliform and heterotrophic bacteria by coagulants poly aluminium chloride from karoon river water in Iran. *Asian Journal of Chemistry*, 24(6), 2389-2393.
- Muruganandam, L., Kumar, M. P. S., Jena, A., Gulla, S., & Godhwani, B. (2017). Treatment of waste water by coagulation and flocculation using biomaterials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(3), 1-11.
- Nurhayati, I., Vigiani, S., & Majid, D. (2020). Penurunan kadar besi (Fe), kromium (Cr), COD dan BOD limbah cair laboratorium dengan pengenceran, koagulasi dan adsorpsi. *Ecotrophic*, 14(1), 74-87.
- Purwaningsih, D. Y., Anisa, D., Drezely, A., & Putri, A. D. O. (2020). *Kitosan sebagai koagulan untuk removal warna pada limbah cair industri pangan*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Sanis Dan Teknologi Terapan VIII Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya.
- Restuaji, I. M., & Oktavia, I. (2020). Penggunaan kitosan sebagai adsorben protein pada limbah cair tahu Desa Tinalan, Kota Kediri. *Jurnal Kimia Riset*, 5(2), 86-93.
- Rohmawati, Y., & Kustomo. (2020). Analisis kualitas air pada reservoir PDAM Kota Semarang menggunakan uji parameter fisika, kimia, dan mikrobiologi, serta dikombinasikan dengan analisis kemometri. *Walisongo Journal of Chemistry*, 3(2), 100-107.
- Rosińska, A., & Dabrowska, L. (2021). Influence of type and dose of coagulants on effectiveness of PAH removal in coagulation water treatment. *Water Science and Engineering*, 8(4), 1-8.
- Rusdi, Sidi, T. B. P., & Pratama, R. (2014). Pengaruh konsentrasi dan waktu pengendapan biji kelor terhadap pH, kekeruhan dan warna air Waduk Krenceng. *Jurnal Integrasi Proses*, 5(1), 46-50.
- Siswoyo, E., Tanjung, D. S., & Jalaly, M. J. D. (2021). Development of natural coagulant for turbidity removal created from marine product solid waste. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 799(2021), 1-7.
- Sudarningsih, Lestiana, E., & Wianto, T. (2013). Analisa Polusi Logam Berat Sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) Tabalong Kalimantan Selatan. *Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, Indonesia*, 2013, p. 111-117.
- Sutapa, I. D. A. (2014). Optimalisasi dosis koagulan aluminium sulfat dan poli-

aluminium florida (PAC) untuk pengolahan air Sungai Tanjung dan Krueng Raya. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 5(1), 29-42.

- Triastiningrum, C.D., & Purnomo, A. (2016). Perbandingan kemampuan kitosan dari limbah kulit udang dengan aluminium sulfat untuk menurunkan kekeruhan air dari outlet bak prasedimentasi IPAM Ngagel II. *Jurnal Teknik ITS*. 5(2), 272-278.
- Wardani, R.S., Iswanto, B., & Winarni. (2009). Pengaruh pH pada proses koagulasi dengan koagulan aluminum sulfat dan ferri klorida. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(2), 40-45.
- Widiyanti, S. E. (2018). Optimasi koagulan aluminium sulfat dan pac (poly aluminium chloride) pada pengolahan air Sungai Tello. *Konversi*, 7(1), 1-5.
- Yusmidiarti. (2019). Pengaruh air laut sebagai koagulan air sumur gali dalam penurunan kekeruhan, warna, TDS. *Jurnal Kesehatan*, 12(1), 160-167.