

PERBANDINGAN EFEKTIVITAS BIOKOAGULAN BIJI KELOR (*Moringa oleifera*) DAN KACANG KEDELAI (*Glycine max*) UNTUK MENURUNKAN BESI (Fe) DAN KEKERUHAN PADA AIR SUMUR BOR

COMPARISON BIOCOAGULAN EFFECTIVENESS OF MORINGA SEED (*Moringa oleifera*) AND SOYBEAN (*Glycine max*) TO REDUCE IRON (Fe) AND TURBIDITY IN BORED WELL WATER

Fahrizal Adnan*, Searphin Nugroho, Mardiana Lestari Tandil
Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman,
Jl. Sambaliung, Sempaja Selatan, Samarinda Utara, Samarinda, Indonesia
*Corresponding Author : fahrizaladnan@ft.unmul.ac.id

Diterbitkan: 30 Oktober 2023

ABSTRACT

Groundwater is a source of raw water for living things. Groundwater can be obtained from drilling wells. Groundwater from drilled wells can be directly used, but some require processing before it becomes usable raw water. This research conducted water treatment by means of coagulation, flocculation, and precipitation to reduce iron and turbidity in bore well water using coagulants from extracts of moringa seeds and soybeans. Compounds in moringa seeds and soybeans that act as coagulants are proteins. This research was conducted to determine the best coagulant between moringa seeds and soybeans using a concentration of 30 mL/L, as well as determine the optimum coagulant concentration from the selected coagulant extract. The concentration variations used in the selected coagulant extracts were 10 mL, 20 mL/L, 30 mL/L, 40 mL/L, and 50 mL/L. The results showed that the optimal coagulant extract was moringa seeds with a decrease in turbidity to 109.79 NTU (4.5%) from 115 NTU and iron to 0.36 mg/L (92.73%) from 4.95 mg/L. The optimal concentration of coagulant concentration variations of Moringa seed extract is 10 mL/L with a decrease in turbidity to 69.76 NTU (39.34%) from 115 NTU and iron to 0.034 mg/L (99.31%) from 4.95 mg/L.

Keywords: Coagulation, Moringa Seeds, Soybeans, Iron, Turbidty

ABSTRAK

Air tanah adalah salah satu sumber air baku bagi makhluk hidup. Air tanah dapat diperoleh dari pembuatan sumur bor. Air tanah dari sumur bor dapat langsung digunakan, namun beberapa memerlukan pengolahan sebelum menjadi air baku yang layak pakai. Penelitian ini melakukan pengolahan air dengan cara koagulasi, flokulasi, dan pengendapan untuk menurunkan besi dan kekeruhan dalam air sumur bor menggunakan koagulan dari ekstrak biji kelor dan kacang kedelai. Senyawa dalam biji kelor dan kacang kedelai yang berperan sebagai koagulan adalah protein. Penelitian ini dilakukan untuk menentukan koagulan terbaik antara biji kelor dan kacang kedelai menggunakan konsentrasi 30 mL/L, serta menentukan konsentrasi koagulan optimum dari ekstrak koagulan terpilih. Variasi konsentrasi yang digunakan pada ekstrak koagulan terpilih adalah 10 mL, 20 mL/L, 30 mL/L, 40 mL/L, dan 50 mL/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekstrak koagulan yang optimal adalah biji kelor dengan penurunan kekeruhan menjadi 109,79 NTU (4,5%) dari 115 NTU dan besi menjadi 0,36 mg/L (92,73%) dari 4,95 mg/L. Konsentrasi optimal dari variasi konsentrasi koagulan ekstrak biji kelor adalah 10 mL/L dengan penurunan kekeruhan menjadi 69,76 NTU (39,34%) dari 115 NTU dan besi menjadi 0,034 mg/L (99,31%) dari 4,95 mg/L.

Kata kunci: Koagulasi, Biji Kelor, Kacang Kedelai, Besi, Kekeruhan.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



PENDAHULUAN

Air tanah menjadi salah satu sumber air baku bagi kehidupan makhluk hidup. Air tanah merupakan air yang mengisi rongga pada lapisan geologi dengan jumlah yang cukup dan dalam keadaan jenuh [1]. Air tanah dapat diperoleh salah satunya dengan pengeboran sumur atau pembuatan sumur bor. Air tanah dengan metode sumur bor dapat diambil dengan pompa tangan atau pompa. Air tanah sebagai sumber air sumur bor biasanya dapat langsung digunakan untuk kegiatan sehari-hari menjadi air baku air minum atau air bersih. Namun pada beberapa kondisi air sumur bor tidak dapat langsung digunakan untuk keperluan sehari-hari karena adanya kandungan pencemar, yaitu logam besi dan partikel-partikel penyebab kekeruhan [2]. Menurut Hasni dkk [3], umumnya kadar logam besi dalam air tanah dapat mencapai 3,6 mg/L dan pada kawasan tertentu dapat mencapai 20 mg/L. Jumlah kadar besi dalam air yang berlebihan akan memiliki dampak buruk bagi penggunaannya, iritasi mata dan kulit, serta gangguan pada jantung, hati, dan pankreas [4]. Lokasi pengambilan air sampel merupakan rumah sewa berpenghuni 60-80 orang yang berada di Perjuangan 1, Sempaja Selatan, Samarinda Utara, Kota Samarinda. Penggunaan air sumur bor pada lokasi pengambilan air sampel karena terbatasnya air PDAM yang diperoleh. Air PDAM tidak mampu mencukupi kebutuhan air bersih bagi para penghuninya sehari-hari karena terbatasnya wadah air untuk menampung air PDAM dan pengantaran air PDAM hanya dilakukan sekali dalam sehari. Hal inilah yang menjadi alasan air sumur bor digunakan sebagai kebutuhan air bersih sehari-hari. Namun, air sumur bor tersebut memiliki kualitas yang buruk, seperti berwarna kuning kecoklatan dan berbau.

Permasalahan kualitas air tanah dapat diatasi dengan pengolahan air. Pengolahan air tanah yang biasa dilakukan adalah koagulasi dengan penambahan koagulan, seperti aluminium sulfat (tawas) untuk mengatasi pencemar dalam air, seperti besi. Koagulan merupakan zat atau bahan yang ditambahkan ke dalam air untuk mengendapkan atau mendestabilisasi partikel-partikel koloid penyebab kekeruhan di dalam air, seperti material organik yang berukuran 10^{-7} – 10^{-1} . Jenis koagulan yang umum digunakan adalah aluminium sulfat (tawas) dan PAC (*poly aluminium chloride*) karena murah dan mudah ditemukan [5]. Beberapa penelitian terdahulu menggunakan PAC [6] dan aluminium sulfat [7] untuk mengolah air tanah. PAC dan aluminium sulfat merupakan jenis koagulan kimia.

Penggunaan koagulan kimia secara terus-menerus dalam jangka panjang akan berdampak buruk bagi kesehatan dan lingkungan. Monomer dan polimer yang terdapat dalam koagulan kimia memiliki sifat nefrotosisitas (penyakit ginjal atau disfungsi karena paparan bahan kimia). Selain itu, aluminium ataupun senyawa aluminium, seperti pada tawas dapat memicu munculnya penyakit alzheimer [8]. Dampak bagi lingkungan dari penggunaan koagulan kimia adalah dapat meningkatkan keasaman pada air dan meningkatkan jumlah lumpur atau sedimen yang sulit didegradasi [9]. Penurunan pH air terjadi karena adanya kandungan aluminium dan sulfat, seperti yang terdapat dalam aluminium sulfat dan PAC sehingga meningkatnya pH air tanah menjadi lebih asam [10].

Penggunaan koagulan kimia dapat digantikan dengan menggunakan koagulan alternatif dalam mengolah air tanah, yaitu penggunaan biokoagulan atau koagulan alami. Biokoagulan adalah bahan atau zat berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui, seperti tanaman, hewan, dan mikroorganisme [11]. Saat ini, beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk tanaman yang dapat dijadikan sebagai biokoagulan. Berdasarkan penelitian terdapat beberapa tanaman yang dapat digunakan sebagai biokoagulan, yaitu biji asam jawa [12], biji kelor [13], biji kecipir [14], dan kulit pisang [15]. Beberapa peneliti telah membuktikan bahwa biokoagulan terbukti lebih efektif dalam menurunkan pencemar dibandingkan koagulan kimia, seperti pada penelitian Hendrawati dkk, [9] menunjukkan bahwa penggunaan kitosan sebagai biokoagulan mampu menurunkan kekeruhan sebesar 96,955, sedangkan PAC hanya mampu menurunkan 62,49%. Selain bersifat ramah lingkungan, biokoagulan dapat membentuk flok yang lebih kuat terhadap gesekan saat terjadi aliran turbulen dibandingkan dengan koagulan kimia atau sintetis [16]. Pada penelitian yang akan dilakukan, peneliti menggunakan biji kelor dan kacang kedelai sebagai biokoagulan. Biji kelor dan kacang kedelai terkenal memiliki kandungan protein yang tinggi sebanyak 44,8% untuk biji kelor dan 36,35% – 39,8% untuk kacang kedelai berdasarkan berat kering [17]. Protein inilah yang berperan sebagai kation untuk mendestabilisasi partikel-partikel koloid di dalam air.

Oleh karena itu, penelitian tentang Pengaruh Biokoagulan Biji Kelor (*Moringa oleifera*) dan Kacang Kedelai (*Glycine max*) untuk Menurunkan Kandungan Besi (Fe) pada

Air Sumur Bor dilakukan untuk mengetahui jenis biokoagulan yang paling baik untuk menurunkan kandungan besi (Fe) dan kekeruhan pada air sumur bor. Penelitian ini juga dilakukan untuk mengetahui konsentrasi optimum dari biokoagulan yang paling baik untuk menurunkan kandungan besi (Fe) dan kekeruhan pada air sumur bor.

METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan penelitian yang dilakukan, yaitu tahapan persiapan, tahapan pelaksanaan, dan tahapan analisis. Tahapan persiapan yang dilakukan, yaitu menentukan ide studi, mencari studi literatur/referensi, pengujian karakteristik sampel (besi dan kekeruhan), dan menyiapkan alat dan bahan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknologi Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Mulawarman. Penelitian dilakukan selama 2 bulan dari Maret-Mei 2023 terhitung mulai dari tahapan persiapan, tahap penelitian, dan tahap analisis. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *glassware*, neraca analitik, *turbidity meter*, desikator, pompa vakum, *jar test*, kerucut imhoff, *magnetic stirrer*, ayakan 100 mesh, dan *oven*. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel air sumur bor, biji kelor, kacang kedelai, larutan NaCl 1 M, akuades, kertas saring, dan *aluminium foil*.

Langkah pertama yang dilakukan adalah preparasi ekstrak koagulan. Biji kelor dan kacang kedelai dibersihkan terlebih dahulu, untuk biji kelor dibersihkan dari kulit arinya, lalu dicuci bersih untuk menghilangkan kotoran yang masih menempel. Kemudian, dihaluskan dengan mortar dan alu. Selanjutnya, biji kelor dan kacang kedelai yang telah menjadi bubuk dikeringkan pada *oven* untuk mengurangi kandungan air pada biji kelor dan kacang kedelai, lalu didinginkan di desikator. Setelah dikeringkan, serbuk biji kelor dan kacang kedelai diayak menggunakan ayakan 100 mesh. Selanjutnya, ditimbang serbuk biji koagulan yang telah diayak masing-masing 1 gram dan masing-masing koagulan dilarutkan dalam 100 mL larutan NaCl 1 M. Kemudian, dilakukan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit hingga larut, diendapkan selama 10 menit, lalu disaring dengan kertas saring.

Penentuan koagulan optimal biji kelor dan kacang kedelai menggunakan konsentrasi 30 mL/L. Masing-masing koagulan sebanyak 30 mL/L dimasukkan ke dalam sampel air 1 L. Kemudian, dilakukan *jar test* dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 4 menit, pengadukan

lambat 50 rpm selama 20 menit, lalu diendapkan air sampel selama 1 jam. Masing-masing koagulan dilakukan pengujian sebanyak 3 kali. Selanjutnya, diuji karakteristik akhir air sampel, yaitu kadar besi dan kekeruhan, lalu dipilih koagulan yang bekerja lebih optimal.

Setelah mendapatkan koagulan yang paling baik, dilanjutkan dengan penentuan konsentrasi optimum dari jenis ekstrak koagulan yang terpilih menggunakan konsentrasi 10 mL/L, 20 mL/L, 30 mL/L, 40 mL/L, dan 50 mL/L. Masing-masing konsentrasi dimasukkan ke dalam sampel air 1 L. Selanjutnya, dilakukan *jar test* dengan pengadukan cepat 100 rpm selama 4 menit, pengadukan lambat 50 rpm selama 20 menit, lalu diendapkan selama 1 jam. Masing-masing konsentrasi dilakukan pengujian sebanyak 3 kali. Selanjutnya, diuji karakteristik akhir air sampel, yaitu kadar besi dan kekeruhan, lalu ditentukan konsentrasi yang optimal dalam menurunkan besi dan kekeruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Karakteristik Awal Sampel

Parameter	Nilai	Baku Mutu (PERMENKES No. 32 Tahun 2017)
Kekeruhan	115 NTU	<3 NTU
Besi	4,95 mg/L	0,2 mg/L

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa nilai awal untuk pengukuran parameter kekeruhan adalah 115 NTU dengan standar baku mutu <3 NTU dan nilai awal untuk pengukuran parameter besi adalah 4,95 mg/L dengan standar baku mutu 0,2 mg/L. Berdasarkan hasil yang diperoleh tersebut, dapat disimpulkan bahwa semua parameter yang diukur melebihi nilai baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga perlu dilakukan pengolahan air sumur bor. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memperbaiki kualitas air sumur bor agar sesuai dengan standar baku mutu sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan sehari-hari dengan menentukan konsentrasi optimum dari koagulan yang digunakan.

Penentuan Koagulan Optimum

Hasil pengukuran parameter kekeruhan dan besi belum memenuhi standar baku mutu (tabel 2). Hasil pengukuran menggunakan koagulan ekstrak biji kelor konsentrasi 30 mL/L adalah 109,79 NTU dengan persentase

penyisihan 4,5% untuk parameter kekeruhan dan 0,36 mg/L dengan persentase 92,73% untuk parameter besi yang menunjukkan bahwa belum tercapainya konsentrasi koagulan optimum. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dilihat bahwa nilai kekeruhan dan besi belum sesuai dengan standar baku mutu. Hal tersebut terjadi karena flok tersebut tidak mampu mengendap secara gravitasi yang disebabkan oleh belum tercapainya konsentrasi koagulan optimum dan waktu pengendapan yang optimum. Hal tersebut dapat

terlihat saat penelitian, pada waktu proses pengendapan terdapat flok-flok kecil yang masih melayang di dalam air sampel sehingga menyebabkan air menjadi keruh dan besi belum mengendap dengan sempurna. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi koagulan yang digunakan bukan konsentrasi koagulan optimum, sehingga perlu dilanjutkan dengan uji variasi konsentrasi koagulan untuk mendapatkan dosis koagulan optimum.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kekeruhan dan Besi dengan Koagulan Ekstrak Biji Kelor Konsentrasi 30 mL/L

Parameter	Baku Mutu	Nilai Awal	Nilai Akhir	Persentase Penyisihan (%)
Kekeruhan	<3 NTU	115 NTU	109,79 NTU	4,5
Besi	0,2 mg/L	4,95 mg/L	0,36 mg/L	92,73

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kekeruhan dan Besi dengan Koagulan Ekstrak Kacang Kedelai Konsentrasi 30 mL/L

Parameter	Baku Mutu	Nilai Awal	Nilai Akhir	Persentase Penyisihan (%)
Kekeruhan	<3 NTU	115 NTU	112,9 NTU	1,82
Besi	10,2mg/L	4,95 mg/L	5,61 mg/L	-

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa hasil pengukuran parameter kekeruhan dan besi belum memenuhi standar baku mutu. Hasil pengukuran kekeruhan menggunakan koagulan ekstrak kacang kedelai konsentrasi 30 mL/L adalah 112,9 NTU dengan persentase penyisihan 4,5% yang menunjukkan bahwa belum tercapainya dosis koagulan optimum. Hasil pengukuran kadar besi menggunakan ekstrak kacang kedelai dengan konsentrasi 30 mL/L adalah 5,61 mg/L yang menunjukkan terjadinya peningkatan kadar besi dari 4,95 mg/L menjadi 5,61 mg/L. Peningkatan kadar besi pada air terjadi karena dalam kacang kedelai mengandung kadar besi yang cukup tinggi. Menurut Sumantri dan Sinurat [18], kandungan zat besi dalam 100 mg kacang kedelai adalah 15,7 mg. Hal ini menunjukkan bahwa untuk setiap 1 gram kacang kedelai mengandung 0,157 gram besi.

Setelah dilakukan penelitian dua jenis koagulan menggunakan konsentrasi 30 mL/L, maka ditentukan satu jenis koagulan yang optimum dalam menurunkan kadar kekeruhan dan besi di dalam air sumur bor. Koagulan ekstrak biji kelor mampu menurunkan kekeruhan menjadi 109,79, NTU, sedangkan koagulan ekstrak kacang kedelai 112,9 NTU. Kadar besi dengan koagulan ekstrak biji kelor mengalami

penurunan menjadi 0,36 mg/L, sedangkan koagulan ekstrak kacang kedelai mengalami kenaikan menjadi 5,61 mg/L. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa koagulan ekstrak biji kelor mampu menurunkan kekeruhan dan besi dalam air lebih baik daripada koagulan ekstrak kacang kedelai. Protein merupakan zat yang berperan sebagai koagulan. Protein akan bekerja sebagai ion positif untuk mengikat partikel koloid yang berperan sebagai ion negatif sehingga membentuk ikatan yang berupa flok-flok yang dapat mengendap secara gravitasi. Biji kelor memiliki kandungan protein sebanyak 44,8%, sedangkan kacang kedelai memiliki kandungan protein sebanyak 35,35% - 39,8% berdasarkan berat kering. Kedua jenis koagulan diekstrak dengan larutan NaCl 1 M untuk melarutkan fraksi protein globulin yang merupakan fraksi protein yang paling tinggi dalam kacang-kacangan. Kandungan protein globulin dalam biji kelor adalah 53%, sedangkan pada kacang kedelai 46,5% dari total keseluruhan protein [17]. Pada biji kelor, zat yang bekerja *4aL-rhamnosyloxybenzysothiocyanate* yang merupakan zat aktif yang berperan sebagai protein kationik [16]. Parameter pH menjadi salah satu faktor yang menyebabkan koagulan ekstrak biji kelor menjadi koagulan yang lebih

baik dibandingkan ekstrak kacang kedelai. Setiap koagulan memiliki titik isoelektrik yaitu koagulan akan bermuatan 0 (nol). Jika koagulan dilarutkan pada air dengan pH di bawah titik isoelektrik, maka koagulan akan bermuatan positif. Namun, jika koagulan dilarutkan pada air dengan pH di atas titik isoelektrik, maka koagulan akan bermuatan negatif. Menurut Kristanto dkk [17], titik isoelektrik biji kelor berkisar 10-11, sedangkan kacang kedelai 3,5-5. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah air sumur bor. Menurut Hasrianti dan Nurasia [19], rata-rata pH air sumur bor adalah 6-7. Hal inilah yang menyebabkan biji kelor yang bekerja lebih baik dibandingkan kacang kedelai. Berdasarkan hasil tersebut, maka penelitian dilanjutkan dengan memvariasikan konsentrasi dari koagulan ekstrak biji kelor. Variasi konsentrasi koagulan ekstrak biji kelor yang akan digunakan adalah 10 mL/L, 20 mL/L, 30 mL/L 40 mL/L, dan 50 mL/L. Pemilihan variasi konsentrasi tersebut didasarkan pada penelitian Hermida dkk [20], dimana nilai kekeruhan awal 561 NTU dengan variasi konsentrasi yang digunakan 10 mL/L, 20 mL/L, 40 mL/L, 80 mL/L, dan 160 mL/L dengan konsentrasi optimum yang diperoleh adalah 80 mL.L. Berdasarkan penelitian tersebut, untuk menurunkan nilai kekeruhan yang tinggi, maka konsentrasi koagulan yang dibutuhkan juga tinggi, sehingga peneliti menggunakan variasi

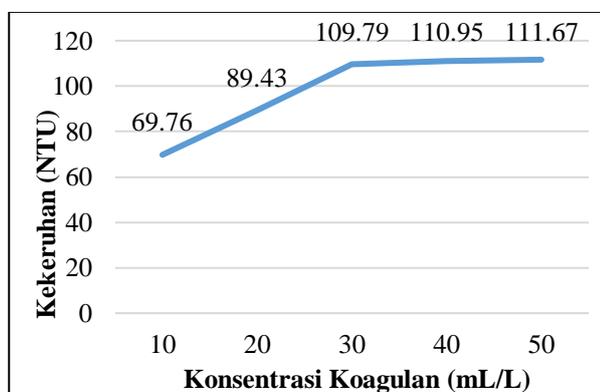
konsentrasi 10 mL/L, 20 mL/L, 30 mL/L 40 mL/L, dan 50 mL/L karena nilai kekeruhan yang jauh lebih dari dari penelitian sebelumnya, yaitu 115 NTU. Variasi konsentrasi dilakukan untuk menentukan variasi konsentrasi yang paling optimal dalam menurunkan kekeruhan dan besi di dalam air sumur bor.

Variasi Konsentrasi Koagulan dari Ekstrak Biji Kelor

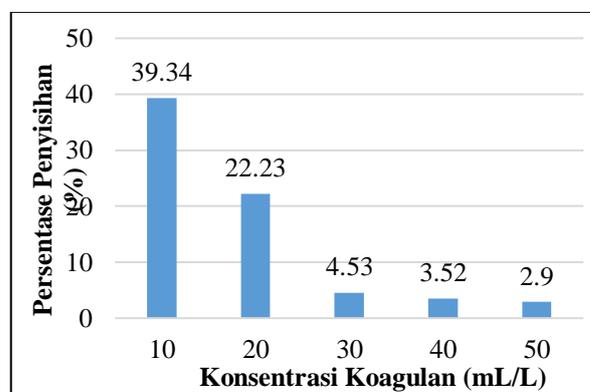
Hasil pengukuran nilai kekeruhan menggunakan koagulan ekstrak biji kelor disajikan pada tabel 4. Nilai kekeruhan menggunakan koagulan ekstrak biji kelor pada semua konsentrasi menunjukkan nilai kekeruhan berada di atas standar baku mutu berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan. Berdasarkan Tabel 4.4, penurunan kekeruhan tertinggi terdapat pada koagulan ekstrak biji kelor dengan konsentrasi 10 mL/L sebesar 69,76 NTU dengan persentase penyisihan 39,34%. Penurunan kadar kekeruhan terendah terdapat pada koagulan ekstrak biji kelor dengan konsentrasi 50 mL/L sebesar 111,67 mg/L dengan persentase penyisihan 2,9%. Grafik penurunan nilai kekeruhan dapat dilihat pada Gambar 1 dan grafik persentase penyisihan dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kekeruhan dengan Koagulan Ekstrak Biji Kelor

Konsentrasi Koagulan	Baku Mutu (NTU)	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)	Persentase Penyisihan (%)
10 mL/L	<3	115	69,76	39,34
20 mL/L	<3	115	89,43	22,23
30 mL/L	<3	115	109,79	4,53
40 mL/L	<3	115	110,95	3,52
50 mL/L	<3	115	111,67	2,9



Gambar 1. Grafik Hasil Pengukuran Kekeruhan dengan Koagulan Ekstrak Biji Kelor



Gambar 2. Grafik Persentase Penyisihan Kekeruhan dengan Koagulan Ekstrak Biji Kelor

Gambar 1 dan Gambar 2 adalah grafik yang menunjukkan nilai akhir kekeruhan dan persentase penyisihan kekeruhan pada masing-masing konsentrasi koagulan dari ekstrak biji kelor. Mekanisme penyisihan kekeruhan pada air menggunakan ekstrak biji kelor adalah adsorpsi dan netralisasi [20]. Pada proses penyisihan kekeruhan terjadi proses netralisasi, dimana protein yang terkandung dalam biji kelor berperan sebagai ion positif yang akan berikatan dengan partikel koloid penyebab kekeruhan yang berperan sebagai ion negatif sehingga muatan menjadi netral dan membentuk ikatan berupa flok-flok yang mampu mengendap secara gravitasi [16]. Gambar 1 dan Gambar 2 menunjukkan penurunan kadar kekeruhan optimum terdapat pada konsentrasi 10 mL/L sebesar 69,76 NTU dengan persentase penyisihan 39,34% dan penurunan kadar kekeruhan terendah terdapat pada konsentrasi 50 mL/L dengan persentase penyisihan 2,9%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa semakin tinggi konsentrasi yang digunakan, maka semakin tinggi tingkat kekeruhannya, dan begitu sebaliknya. Menurut Kristijarti dkk [21],

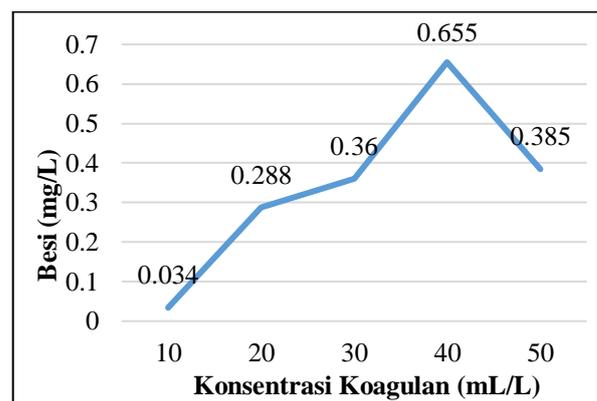
penambahan dosis koagulan yang tinggi tidak selalu menghasilkan kekeruhan yang lebih rendah. Kekeruhan yang tinggi tidak selalu membutuhkan konsentrasi koagulan yang tinggi tergantung pada penyebab kekeruhan di dalam air. Jika kekeruhan dominan disebabkan oleh lumpur halus atau lumpur kasar, maka koagulan yang dibutuhkan lebih sedikit. Namun, jika kekeruhan yang dominan disebabkan oleh koloid, maka koagulan yang dibutuhkan lebih banyak.

Berdasarkan Gambar 1 dan Gambar 2, dapat dilihat bahwa semakin tinggi konsentrasi koagulan dari ekstrak biji kelor yang digunakan, maka nilai kekeruhan akan semakin meningkat, sehingga persentase penyisihan kekeruhan akan semakin menurun. Peningkatan kekeruhan terjadi disebabkan kelebihan dosis koagulan yang ditambahkan pada air yang tidak dapat mengikat koloid karena sudah berikatan dengan dosis koagulan optimum [20]. Ketika ekstrak biji kelor ditambahkan berlebih ke dalam air, maka dapat menyebabkan air menjadi keruh sehingga terjadi peningkatan kekeruhan karena tidak adanya partikel koloid (anion) yang berikatan dengan ekstrak biji kelor (kation) [20].

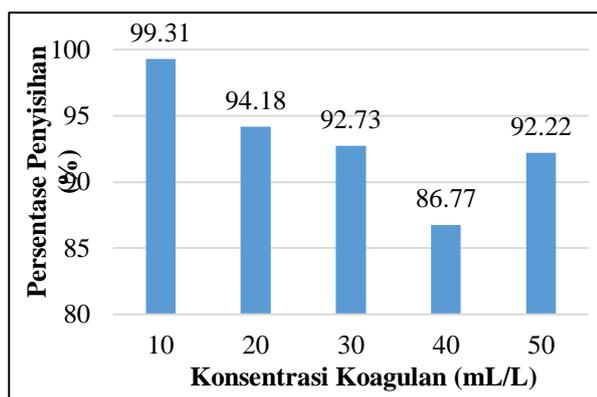
Tabel 5. Hasil Pengukuran Besi dengan Koagulan Ekstrak Biji Kelor

Konsentrasi Koagulan	Baku Mutu (mg/L)	Besi Awal (mg/L)	Besi Akhir (mg/L)	Persentase Penyisihan (%)
10 mL/L	0,2	4,95	0,034	99,31
20 mL/L	0,2	4,95	0,288	94,18
30 mL/L	0,2	4,95	0,36	92,73
40 mL/L	0,2	4,95	0,655	86,77
50 mL/L	0,2	4,95	0,385	92,22

Berdasarkan Tabel 5, diketahui bahwa hasil pengukuran nilai besi menggunakan koagulan ekstrak biji kelor menunjukkan kadar besi yang memenuhi standar baku mutu adalah koagulan ekstrak biji kelor dengan konsentrasi 10 mL/L berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan. Berdasarkan Tabel 5 penurunan kadar besi tertinggi terdapat pada koagulan ekstrak biji kelor konsentrasi 10 mL/L sebesar 0,034 mg/L dengan persentase penyisihan 99,31%. Penurunan kadar besi terendah terdapat pada koagulan ekstrak biji kelor konsentrasi 40 mL/L sebesar 0,655 mg/L dengan persentase penyisihan 86,77%. Grafik penurunan kadar besi data dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Grafik Hasil Pengukuran Besi dengan Koagulan Ekstrak Biji Kelor



Gambar 4. Grafik Persentase Penyisihan Besi dengan Koagulan Ekstrak Biji Kelor

Gambar 3 dan Gambar 4 adalah grafik yang menunjukkan nilai akhir besi dan persentase penyisihan besi pada masing-masing konsentrasi koagulan dari ekstrak biji kelor. Mekanisme penyisihan besi pada air menggunakan ekstrak biji kelor adalah adsorpsi dan netralisasi [20]. Mekanisme penyisihan besi menggunakan ekstrak biji kelor adalah mekanisme adsorpsi. Proses yang terjadi yaitu terjadinya gaya adsorpsi antara besi dan ion karboksilat ($-\text{COO}^-$) yang terdapat protein pada ekstrak biji kelor. Ion karboksilat ($-\text{COO}^-$) berperan sebagai jembatan antarpartikel bermuatan dan membentuk agregat yang besar sehingga mampu mengendap secara gravitasi. Ion karboksilat diperoleh dari asam glutamat yang merupakan bagian dari asam amino yang terdapat dalam protein biji kelor [13]. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan penurunan kadar besi optimum terdapat pada konsentrasi 10 mL/L sebesar 0,034 mg/L dengan persentase penyisihan 99,31%. Kemudian, pada grafik menunjukkan penurunan persentase penyisihan dengan terjadinya peningkatan kadar besi pada konsentrasi 20 mL/L sebesar 0,288 mg/L dengan persentase penyisihan 94,18%; 30 mL/L sebesar 0,36 mg/L dengan persentase penyisihan 92,73%; dan 40 mL/L sebesar 0,655 mg/L dengan persentase penyisihan 86,77%.

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4, dapat dilihat bahwa terjadi penurunan persentase penyisihan besi yang fluktuatif. Hal ini dapat terjadi karena penambahan konsentrasi koagulan yang melebihi konsentrasi optimum dari koagulan, sehingga terjadi kegagalan dalam pembentukan flok. Mekanisme yang terjadi adalah polimer-polimer dalam koagulan alami menutupi seluruh permukaan partikel koloid sehingga rantai akhir tidak dapat menempel satu sama lain untuk membentuk flok yang lebih besar yang menyebabkan proses flokulasi tidak terjadi.

Kedadaan ini menyebabkan partikel koloid akan kembali stabil [22]. Penambahan konsentrasi koagulan yang melebihi konsentrasi optimum dapat menghambat pembentukan flok karena jumlah kation yang berlebih dapat menyebabkan kinerja yang buruk dalam proses koagulasi [23]. Hal ini memungkinkan terjadinya fluktuasi pada penurunan kadar besi dalam air sampel. Fluktuasi data juga terjadi pada penelitian Prihatinningtyas dan Jasalesmana [22], dimana terjadi fluktuasi data pada nilai kekeruhan saat dosis koagulan yang digunakan melebihi konsentrasi optimum.

KESIMPULAN

1. Penelitian yang dilakukan menggunakan ekstrak koagulan biji kelor dan ekstrak kacang kedelai dengan konsentrasi 30 mL/L. Koagulan yang paling optimal dalam menurunkan kadar kekeruhan dan besi dalam air sumur adalah koagulan ekstrak biji kelor. Hal ini terlihat dari koagulan ekstrak biji kelor yang menurunkan kekeruhan menjadi 109,79 NTU (4,5%) dan kadar besi menjadi 0,36 mg/L (92,73%). Sedangkan, pada koagulan ekstrak kacang kedelai, nilai kekeruhan menurun menjadi 112,9 NTU (1,82%) dan kadar besi menjadi 5,61 mg/L. Nilai kadar besi pada penelitian menggunakan koagulan ekstrak kacang kedelai meningkat karena adanya kandungan besi pada kacang kedelai.
2. Variasi konsentrasi koagulan ekstrak biji kelor yang digunakan adalah 10 mL/L, 20 mL/L, 30 mL/L, 40 mL/L, dan 50 mL/L. Konsentrasi ekstrak biji kelor yang optimal dalam menurunkan kadar kekeruhan dan besi adalah konsentrasi 10 mL/L. Konsentrasi koagulan ekstrak biji kelor 10 mL/L mampu menurunkan kekeruhan menjadi 69,76 NTU dengan persentase penyisihan 39,34% dan kadar besi menjadi 0,034 mg/L dengan persentase penyisihan 99,31%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Mulawarman yang sudah membantu dalam pendanaan. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Kepala Laboratorium Teknologi Lingkungan Universitas yang telah menyediakan fasilitas laboratorium selama proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bisri. (2012). *Air Tanah*. UB Press.
- [2] Afrizal, Ildayat Doni., Askari, M., & Andayono, T. (2013). Perbedaan Kualitas Air Sumur Gali dan Sumur Bor Perumahan Griya Cahaya 2 Gunung Sariak Kota Padang. *Journal of Civil Engineering and Vocational Education*, 1(2), 147-154.
- [3] Hasni., Arahman, N., & Mulyani, S. (2015). Penyisihan Fe dalam Air Tanah Menggunakan Zeolit Alam Banda Aceh Teraktivasi. *Jurnal Rekayasa Kimia & Lingkungan*, 10(3), 142-147.
- [4] Sumakul, Hendra Wijaya., Susilawaty, A., & Habibi. (2020). Efektivitas Penurunan Kadar Besi (Fe) dan Kekeruhan pada Air Tanah dengan Penambahan Media Kulit Ubi Kayu (*Manibot esculenta crantz*). *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 6(1), 8-14.
- [5] Prihatinnigtyas, Eka., & Effendi, Agus Jatnika. (2013). Aplikasi Koagulan Alami dari Tepung Jagung dalam Pengolahan Air Bersih. *Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 2(2), 93-102.
- [6] Niswan, Ery., Dami., & Rawa, R. D. (2021). Teknik Penjernihan Air Sumur Gali dengan PAC (*Polyaluminium Chloride*) dan Tawas di Desa Punggur Besar Kecamatan Kakap Kabupaten Kubu Raya Rizki. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Manajemen*, 1(1), 1-11.
- [7] Rizki, Zuriani., Syahnita, H., & Rahmad, M. U. (2021). Optimasi Peningkatan Kualitas Air Sumur Gali melalui Penggunaan Tawas (*Aluminium Potassium Sulfate*) terhadap *Escherichia coli*. *Jurnal Sago Gizi dan Kesehatan*, 3(1), 22-27.
- [8] Hendrawati., Syamsumarsih, D., & Nurhasni. (2013). Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica L.*) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus L.*) sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah. *Jurnal Kimia Valensi*, 3(1), 23-34.
- [9] Hendrawati., Sumarni, S., & Nurhasni. (2015). Penggunaan Kitosan sebagai Koagulan Alami dalam Perbaikan Kualitas Air Danau. *Jurnal Kimia Valensi*, 1(1), 1-11.
- [10] Trimaily, Devita., Nofrizal., & Maryanti, E. (2017). Efektivitas Penggunaan Tawas dan Tanah Lempung pada Pengolahan Air Gambut Menjadi Air Bersih. *Jurnal Dinamika Lingkungan Indonesia*, 4(1), 39-52.
- [11] Martina, Angela., Effendi, D. S., & Sutedjo, J. N. M. (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), 98-103.
- [12] Poerwanto, Dyah Dwi., Hadisantoso, E. P., & Isnaini, S. (2015). Pemanfaatan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) sebagai Koagulan Alami dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Farmasi. *Jurnal Ilmu Kima dan Terapan*, 2(1), 24-29
- [13] Akbar., Said, I., & Diah A. W. M. (2015). Efektivitas Biji Kelor (*Moringa oleifera Lamk*) sebagai Koagulan Besi (Fe) dan Kalsium (Ca). *Jurnal Akademika Kimia*, 4(2), 64-70.
- [14] Ningsih, Erlinda., Sato, A., Azizah, N., & Rumanto, P. (2018). Pengaruh Waktu Pengendapan dan Dosis Biokoagulan dari Biji Kelor dan Biji Kecipir terhadap Limbah Laundry. *Jurnal UPN Veteran Yogyakarta: Sminar Nasional Teknik Kima "Kejuangan"*, ISSN 1693-4393, 1-7.
- [15] Hanifah, Hesti Nuur., Hadisoebroto, G., Turyati., & Anggraeni, I. S. (2020). Efektivitas Biokoagulan Cangkang Telur Ayam Ras dan Kulit Pisang Kepok (*Musa balbisiana ABB*) dalam Menurunkan Turbiditas, TDS, dan TSS dari Limbah Cair Industri Farmasi. *Jurnal Ilmu Kimia dan Terapan*, 7(1), 47-54.
- [16] Setyawati, Harimbi., Kriswantono, M., Nisa, D. A., & Hatuti, R. (2017). Serbuk Biji Kelor Sebagai Koagulan pada Proses Koagulasi Flokulasi Limbah Cair Pabrik Tahu. *Jurnal Teknik Industri*, 7(2), 1-6.
- [17] Kristanto, Hans., Prasetyo, S., & Sugih, A. K. (2019). Pemanfaatan Ekstrak Protein dari Kacang-Kacangan sebagai Koagulan Alami: Review. *Jurnal Rekayasa Proses*, 13(2), 64-80.
- [18] Sumantri, Bambang., & Sinurat, Jhon Patar. (2021). Seminar Analisis Kadar Besi (Fe) pada Kacang Kedelai (*Glycine max (L)*) dan Sari Kedelai Kemasan dengan Metode Spektrofotometer UV-VIS. *Farmatra Jurnal*, 4(2), 558-565.
- [19] Hasrianti., & Nurasia. (2016). Analisis Warna, Suhu, pH, dan Salinitas Air Sumur Bor di Kota Palopo. *Jurnal Universitas Cokroaminoto Palopo*, 2(1), 747-753.

- [20] Hermida, Lilis., Agustian., & Kurniasari, B. (2021). Penggunaan Ekstrak Biji Kelor sebagai Biokoagulan pada Pengolahan Limbah Cair Laundry. *Jurnal Teknologi dan Inovasi Industri*, 2(2), 28-34.
- [21] Kristijarti, A Prima., Suharto, I., & Marieanna. (2013). Penentuan Jenis Koagulan dan Dosis Optimum untuk Meningkatkan Efisiensi Sedimentasi dalam Instalasi Pengolahan Air Limbah Pabrik Jamur X. *Jurnal Universitas Parahyangan*, 2.
- [22] Prihatinningtyas, Eka., & Jasalesmana, Taofik. (2021). Studi Penurunan Kekeruhan dengan Aplikasi Ekstrak Tapioka sebagai Koagulan Lama pada Pengolahan Air Bersih. *Jurnal Riset Teknologi Industri*, 15(2), 200-208.
- [23] Pratiwi, N. P. R. K., Sibarani, J., & Puspawati, N. M. (2019). Aplikasi Koagulan Alami Ekstrak Air Kulit Singkong (*Manihot esculenta*) dalam Pengolahan Limbah Zat Warna *Malachite Green*, *Remazol Blue*, dan *Indigosol Violet*. *Jurnal Cakra Kimia*, 7(2), 75-83