



**EFEKTIVITAS PENGOLAHAN AIR MENGGUNAKAN
BIOKOAGULAN BIJI ASAM JAWA DENGAN METODE
KOAGULASI FLOKULASI PADA MEDIA BERBUTIR**

SKRIPSI

Oleh :

**Dhita Yusnia Putri
NIM. 191910601008**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2023**



**EFEKTIVITAS PENGOLAHAN AIR MENGGUNAKAN
BIOKOAGULAN BIJI ASAM JAWA DENGAN METODE
KOAGULASI FLOKULASI PADA MEDIA BERBUTIR**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Lingkungan dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

**Dhita Yusnia Putri
NIM. 191910601008**

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2023**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan sebagai rasa terimakasih yang tidak terkira kepada:

1. Kedua orang tua saya yang senantiasa mendoakan dan mengharapkan yang terbaik bagi anaknya.
2. Bu Ririn dan Bu Noven selaku dosen pembimbing utama dan dosen pembimbing anggota atas bimbingan selama mengerjakan tugas akhir.
3. Galuh, Denissa dan Riski yang membantu selama pengujian di laboratorium.
4. Deni yang selalu menemani dan mendukung selama pengerjaan tugas akhir.
5. Almamater tercinta Fakultas Teknik Universitas Jember.

MOTTO

"Sesungguhnya kegagalan adalah pilar kesuksesan. Jadi jangan pernah takut gagal, namun belajarlah dan lakukan langkah-langkah yang lebih baik."

(John Andrew Holmes)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dhita Yusnia Putri

NIM : 191910601008

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “Efektivitas Pengolahan Air Menggunakan Biokoagulan Biji Asam Jawa dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Media Berbutir” adalah benar – benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada instalasi manapun, dan bukan karya jiplakan. Data – data penelitian yang terdapat pada karya tulis ilmiah ini dapat digunakan untuk kepentingan publikasi dan sepenuhnya milik Laboratorium Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Jember. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 24 Januari 2023

Yang menyatakan



Dhita Yusnia Putri

NIM. 191910601008



**EFEKTIVITAS PENGOLAHAN AIR MENGGUNAKAN
BIOKOAGULAN BIJI ASAM JAWA DENGAN METODE
KOAGULASI FLOKULASI PADA MEDIA BERBUTIR**

SKRIPSI

Oleh :

Dhita Yusnia Putri
NIM. 191910601008

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama: Ririn Endah Badriani S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota: Noven Pramitasari, S.T.,M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “ Efektifitas Pengolahan Air Menggunakan Biokoagulan Biji Asam Jawa dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Media Berbutir “ telah diuji dan disahkan pada:

Hari : Rabu

Tanggal : 24 Januari 2023

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing

PEMBIMBING UTAMA

PEMBIMBING ANGGOTA

Ririn Endah Badriani., S.T.,M.T

NIP. 197205281998022001

Noven Pramitasari, S.T.,M.T

NIP. 199211062019032017

Tim Penguji

KETUA PENGUJI

ANGGOTA PENGUJI

Dr. Ir. Yeny Dhokhikah, S.T.,M.T

NIP. 197301271999032002

Ir. Audiananti Meganandi Kartini, S.Si.,M.T

NIP. 198807272022032006

Mengesahkan

DEKAN FAKULTAS TEKNIK



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T.,M.T.

NIP. 19700826199702001

RINGKASAN

Kekeruhan pada Sungai Bedadung umumnya mengakibatkan turunnya kualitas air dan menyebabkan terganggunya kesehatan manusia. Air yang mengandung kekeruhan tinggi dapat mengakibatkan penyakit kulit, sesak napas dan lain lain. Salah satu upaya untuk menurunkan kekeruhan air yaitu dengan pengolahan koagulasi dan flokulasi. Penelitian ini bertujuan untuk pengaruh jenis media berbutir (*single media* dan *multiple media*) sebagai flokulator terhadap efisiensi penurunan kekeruhan air.

Penelitian yang dilakukan yaitu sebanyak 3 kali pengulangan dengan menggunakan jenis *single media* dan *multiple media*. Jenis *single media* menggunakan kerikil dengan ukuran diameter 0,005 mm dan jenis *multiple media* menggunakan kerikil, pasir kasar dan pasir halus dengan diameter 0,005 mm, 0,002 mm, dan 0,001 mm. Metode pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu melakukan percobaan berapa dosis optimum biokoagulan biji asam jawa yang efisien dalam penurunan kekeruhan air dan pengaruh jenis media berbutir (*single media* dan *multiple media*) sebagai flokulator dalam penurunan kekeruhan air. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yaitu volume air sampel sebesar 112,65 liter, 130,45 liter dan 148,86 liter. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu debit air (0,5 L/menit, 0,6 L/menit, 0,7 L/menit), biokoagulan biji asam jawa, dan jenis media yaitu *single media* (pasir halus) dan *multiple media* (kerikil, pasir, dan pasir halus). Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu, pH dan nilai kekeruhan. Untuk parameter penelitian yang digunakan yaitu kekeruhan air.

Hasil penelitian ini diperoleh dosis optimum biokoagulan biji asam yang efisien dalam penurunan kekeruhan air pada rentang 74,4 NTU – 64 NTU yaitu 75 ppm dengan efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 77,69% - 98,37%. Berdasarkan analisis statistik menggunakan uji anova didapat bahwa jenis media berbutir berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan kekeruhan dengan $p\text{-value} < 0,05$. Hasil penurunan kekeruhan ini memenuhi baku mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010 dengan rentang kekeruhan 1,11 NTU – 3,9 NTU.

SUMMARY

Turbidity in the Bedadung River generally results in a decrease in water quality and causes disruption to human health. Water containing high turbidity can cause skin diseases, shortness of breath and others. One of the efforts to reduce the turbidity of water is coagulation and flocculation treatment. This study aims to determine the effect of granular media (single media and multiple media) as a flocculator on the efficiency of reducing water turbidity.

The research was carried out in 3 repetitions using single media and multiple media types. The single media type uses gravel with a diameter of 0.005 mm and the multiple media type uses gravel, coarse sand and fine sand with a diameter of 0.005 mm, 0.002 mm and 0.001 mm. The methodology in this study used an experimental method, namely to experiment with the optimum dose of tamarind seed biocoagulant which is efficient in reducing water turbidity and the effect of grained media (single media and multiple media) as a flocculator in reducing water turbidity. The control variables used in this study were the sample water volume of 112.65 liters, 130.45 liters and 148.86 liters. The independent variables used in this study were water discharge (0.5 L/minute, 0.6 L/minute, 0.7 L/minute), tamarind seed biocoagulant, and the type of media, namely single media (fine sand) and multiple media (gravel, sand, and fine sand). The dependent variables used in this study were temperature, pH and turbidity values. The research parameter used is water turbidity.

The results of this study obtained the optimum dose of tamarind seed biocoagulant which was efficient in reducing water turbidity in the range of 74.4 NTU – 64 NTU, namely 75 ppm with a turbidity reduction efficiency of 77.69% - 98.37%. Based on statistical analysis using the ANOVA test, it was found that the type of grained media has a significant effect on the efficiency of reducing turbidity with a p -value <0.05 . The results of this turbidity reduction meet the quality standards of Permenkes No. 492 of 2010 with a turbidity range of 1.11 NTU – 3.9 NTU.

PRAKATA

Puji dan syukur saya sampaikan kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan pengetahuan dan kesempatan kepada saya, sehingga mampu menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Efektivitas Pengolahan Air Menggunakan Biokoagulan Biji Asam Jawa dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Media Berbutir”. Sesuai dengan judulnya, dalam laporan tugas akhir ini akan dibahas mengenai pengolahan air dengan metode koagulasi flokulasi pada media berbutir menggunakan biokoagulan biji asam. Proses pembuatan laporan tugas akhir ini, saya telah mendapatkan bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak, oleh karena itu, sudah selayaknya penulis menyampaikan terima kasih banyak kepada:

1. Yth. Ririn Endah Badriani S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Yth. Noven Pramitasari, S.T.,M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktunya, tenaga dan pikirannya untuk membimbing kami dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini.
2. Seluruh dosen pengajar program studi Teknik Lingkungan yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu, yang telah rela membagikan ilmu-ilmu yang telah mereka peroleh kepada kami.
3. Kedua orang tua kami di rumah yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil.
4. Teman-teman S1 Teknik Lingkungan angkatan 2019 yang telah berjuang bersama dan saling memberikan dukungan hingga berbagi ilmu dengan kami.

Akhirnya, saya mengucapkan terima kasih kepada semua pihak dan apabila ada yang tidak disebutkan, kami mohon maaf dengan besar harapan semoga Laporan Tugas Akhir yang saya tulis ini dapat bermanfaat bagi saya sendiri dan umumnya bagi pembaca. Bagi para pihak yang telah membantu dalam penulisan Laporan Tugas Akhir ini semoga amal dan kebaikannya mendapatkan balasan yang berlimpah dari Allah SWT Aamiin.

Jember, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Baku Mutu Air	4
2.2 Kekeruhan	4
2.3 Pengolahan Koagulasi	4
2.4 Pengolahan Flokulasi.....	5
2.5 Sistem Pengolahan Media Berbutir	6
2.6 Koagulan.....	6
2.7 Biokoagulan Biji Asam Jawa	7
2.8 Jar Test.....	8
2.9 Penelitian Terdahulu.....	8
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	12
3.1 Konsep Penelitian	12
3.2 Lokasi Penelitian	12
3.3 Pengumpulan Data.....	12
3.4 Alat dan Bahan	13
3.5 Variabel Penelitian	13
3.6 Tahapan Penelitian	14
3.7 Rancangan Percobaan.....	16
3.8 Analisis	17
BAB 4 PEMBAHASAN.....	19
4.1 Proses pembuatan Biokoagulan dari Biji Asam Jawa.....	19
4.2 Karakteristik Awal Sungai Bedadung.....	19

4.3 Penentuan Dosis Biokoagulan pada Hasil Uji Jar Test.....	20
4.4 Efisiensi Penyisihan Keketuhan pada Flokulator Media Berbutir dan Analisis Data Berdasarkan Baku Mutu Permenkes No.492 Tahun 2010..	26
4.5 Analisis Data Menggunakan Uji Anova.....	31
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	33
5.1 Kesimpulan.....	33
5.2 Saran.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 (a) Biji Asam Warna Hitam, (b) Biji Asam Warna Cokelat	10
Gambar 3. 1 Sketsa Rancangan Alat Penelitian Menggunakan Koagulasi Flokulasi dengan Media Berbutir.....	15
Gambar 3.2 Proses Pengayakan.....	14
Gambar 3. 2 Diagram Alir Penelitian	19
Gambar 4. 1 Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,5 L/menit.....	22
Gambar 4. 2 Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,6 L/menit.....	23
Gambar 4. 3 Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,7 L/menit.....	23
Gambar 4. 4 Hasil Uji Tukey	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu.....	11
Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan.....	18
Tabel 4. 1 Parameter Kualitas Air Sungai.....	20
Tabel 4. 2 Hasil Jar Test Air Sungai Bedadung Tahap 1	21
Tabel 4. 3 Hasil Jar Test Air Sungai Bedadung Tahap 2	20
Tabel 4. 4 Uji Normalitas	27
Tabel 4. 5 Uji Signifikasi	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Baku Mutu Air Untuk Persyaratan Kualitas Air Minum	31
Lampiran 2 Pembuatan Biokoagulan Biji Asam Jawa	32
Lampiran 3 Jarrest.....	33
Lampiran 4 Running Reaktor	34
Lampiran 5 Perhitungan Desain Reaktor.....	35
Lampiran 6 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 1.....	37
Lampiran 7 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 2.....	38
Lampiran 8 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 3.....	39
Lampiran 9 Grafik Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 1.....	40
Lampiran 10 Grafik Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 2.....	41
Lampiran 11 Grafik Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 3.....	42

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu kebutuhan air minum khusus di kota Jember dipenuhi oleh dua IPA yaitu IPA Tegal Gede dan IPA Tegal Besar. IPA Tegal Gede terletak di Desa Tegal Gede, dan kondisi lingkungan didominasi oleh lahan pertanian dan pemukiman. Kebutuhan air di kedua IPA dipenuhi oleh sumber Sungai Bedadung. Berdasarkan laporan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur (2017), status DAS Bedadung masuk dalam kategori sangat buruk dan memiliki tingkat patogen dan bahan organik yang tinggi. Sungai Bedadung mempunyai parameter kekeruhan 74,2 NTU dan tidak memenuhi persyaratan baku mutu pada Permenkes No. 492 Tahun 2010 tentang persyaratan kualitas air minum yaitu sebesar 5 NTU. Salah satu indikator baku mutu adalah kekeruhan. Sungai Bedadung mempunyai kekeruhan yang tinggi yang mengakibatkan turunnya kualitas air dan menyebabkan terganggunya kesehatan manusia. Dampak kekeruhan dapat mengakibatkan penyakit kulit, sesak napas dan lain lain. Salah satu upaya untuk menurunkan kekeruhan air yaitu dengan pengolahan koagulasi dan flokulasi.

Koagulasi adalah proses penambahan koagulan dan pengadukan cepat yang menghasilkan destabilisasi partikel koloid dan merupakan awal dari penggabungan partikel-partikel koloid yang telah terdestabilisasikan (Reynolds, 1996). Flokulasi adalah proses pengadukan lambat yang mengikuti proses koagulasi. Flokulasi ini bertujuan untuk mempercepat laju penggabungan antar partikel sehingga terbentuk suatu partikel yang lebih besar (Kawamura, 1991). Flokulasi didefinisikan sebagai proses pengadukan lambat untuk menggabungkan partikel-partikel yang telah terdestabilisasikan agar dapat mengendapkannya dengan cepat (Reynolds, 1996).

Flokulator dengan media berbutir merupakan flokulator jenis hidrolis. Nilai gradien kecepatan (G) pada proses flokulasi yaitu 10-100/detik dan nilai jumlah tumbukan antar partikel (Gtd) yaitu $10^4 - 10^5$ (Hamzani, 2020). Hasil flokulasi yang baik harus sesuai dengan nilai Gtd dengan rentang 944,716 sampai dengan 22.535,979, sedangkan flokulasi melalui media butir lebih baik jika nilai Gtd relatif

lebih rendah dari persyaratan yaitu 941,849 sampai dengan 25.304,741 (Sarwono *et al.*, 2017).

Koagulan banyak digunakan dalam proses koagulasi – flokulasi dengan bahan kimia. Bahan Kimia yang sering digunakan yaitu tawas dan PAC. Bahan kimia ini memiliki efek negatif ketika dilepaskan ke lingkungan, dimana pada proses koagulan akan menghasilkan lumpur yang mengandung alum berbahaya kesehatan. Untuk mengatasi pencemaran yang ada digunakan koagulan alami untuk biji asam jawa. Berdasarkan penelitian sebelumnya, efektivitas biji asam jawa mampu menurunkan kekeruhan dengan dosis 600 mg/L sebesar 20.64%, 800 mg/L sebesar 23.51%, 1000 mg/L sebesar 34,30%, 1200 mg/L sebesar 33.14%, dan 1400 mg/L sebesar 32.62% (Mu'min, 2017). Biji – bijian ini mudah ditemukan dan tidak mempunyai nilai jual. Media berbutir terdiri dari *single* media, *dual* media dan *multiple* media. *Single* media adalah media yang menggunakan satu jenis media pasir. *Dual* media adalah media yang menggunakan dua jenis media. *Multiple* media adalah media yang menggunakan beberapa media. Media yang digunakan pada penelitian ini yaitu *single* media dan *multiple* media agar diperoleh perbandingan yang signifikan dalam penurunan kekeruhan air. Berdasarkan latar belakang permasalahan yang ada sehingga dilakukan penelitian berapa dosis optimum biokoagulan biji asam jawa yang efisien dalam penurunan kekeruhan air dan pengaruh jenis media berbutir (*single* media dan *multiple* media) sebagai flokulator terhadap efisiensi penurunan kekeruhan air. Penelitian ini diharapkan mampu menurunkan kekeruhan dalam air sungai.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah di penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Berapa dosis optimum biokoagulan biji asam jawa yang efisien dalam penurunan kekeruhan air?
2. Bagaimana pengaruh jenis media berbutir (*single* media dan *multiple* media) sebagai flokulator terhadap efisiensi penurunan kekeruhan air ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Mengetahui dosis optimum biokoagulan biji asam jawa yang efisien dalam penurunan kekeruhan air
2. Mengetahui pengaruh jenis media berbutir (*single* media dan *multiple* media) sebagai flokulator terhadap efisiensi penurunan kekeruhan air

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ada dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Sebagai informasi mengenai dosis optimum biokoagulan biji asam jawa yang efisien dalam penurunan kekeruhan air
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh jenis media berbutir (*single* media dan *multiple* media) sebagai flokulator terhadap efisiensi penurunan kekeruhan air

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup yang ada dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Sampel yang digunakan adalah air Sungai Bedadung
2. Metode yang digunakan koagulasi-flokulasi
3. Media yang digunakan adalah media berbutir
4. Koagulan yang digunakan biji asam jawa

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baku Mutu Air

Baku mutu air merupakan batas kadar pencemar sesuai peraturan. Peraturan yang digunakan yaitu Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum. Baku mutu air ini dijadikan patokan agar air yang dibuang ke lingkungan tidak mencemari lingkungan. Baku mutu untuk kekeruhan yaitu 5 NTU. Tabel Baku Mutu Air Untuk Persyaratan Kualitas Air Minum dapat dilihat pada lampiran 1.

2.2 Kekeruhan

Kekeruhan adalah suatu keadaan dimana suatu cairan tidak tembus cahaya karena banyaknya partikel terlarut seperti bahan anorganik dan bahan organik yang terperangkap di dalam air, yang dapat mempengaruhi kesehatan, estetika dan proses desinfeksi (Nurmala *et al.*, 2017). Kekeruhan air disebabkan oleh padatan tersuspensi yang lebih besar dalam bentuk lapisan permukaan tanah yang terbawa oleh air saat hujan. Partikel tersuspensi dalam air dapat berupa partikel bebas atau koloid yang berukuran sangat kecil, seperti padatan terlarut dengan ukuran partikel 10^{-3} . Kekeruhan dapat diatasi dengan proses koagulasi-flokuasi agar hasilnya melebihi ambang batas maksimum yang diizinkan (Nurmala *et al.*, 2017).

2.3 Pengolahan Koagulasi

Koagulasi adalah proses destabilisasi partikel koloid dan suspended solid, termasuk di dalamnya merupakan virus dan bakteri dengan menggunakan koagulan. Koagulasi ini bertujuan untuk mempercepat dan menyeragamkan penyebaran senyawa kimia yang ditambahkan koagulan dalam air (Reynolds, 1996). Penambahan koagulan mempunyai batas optimum, dimana kekeruhan pada air baku akan mengalami penurunan terus menerus sampai dosis optimum tercapai, namun setelah melewati dosis ini kekeruhannya semakin meningkat. Hal ini karena kelebihan ion positif yang ada pada air baku dengan koagulan yang berlebih sudah

tidak mampu lagi mengadsorpsi ion negatif yang terdapat dalam koloid (Reynolds, 1996).

Koagulasi adalah suatu metode suspended solid halus, destabilisasi muatan partikel koloid dengan pengadukan cepat untuk mendispersikan bahan kimia secara merata melalui penambahan koagulan. Suspensi koloid tidak bersifat stabil dan pada kondisi terdispersi, karena ada gaya elektrostatis yang didapat pada permukaan maupun absorpsi ion-ion dari larutan sekitar. Koloid mempunyai sifat sukar larut dalam air (*insoluble*) dan mudah larut dalam air (*soluble*) (Moelyo, 2012). Koagulan jika ditambahkan ke dalam air akan mengalami reaksi sebagai berikut.

1. Agregasi partikel menggunakan rangkaian inter partikulat antara koloid dan grup reaktif
2. Flok - flok hidroksida yang mengendap ditangkap oleh partikel koloid negatif
3. Potensial elektrostatis dan agitasi menyebabkan partikel yang tidak stabil bergabung hingga membentuk flok (Moelyo, 2012).

2.4 Pengolahan Flokulasi

Flokulasi merupakan proses pengadukan lambat setelah proses koagulasi. Tujuan flokulasi yaitu mempercepat laju penggabungan antar partikel sehingga terbentuk suatu partikel yang lebih besar. Ada dua jenis proses aglomerasi yaitu sebagai berikut.

1. Flokulasi perikinetik

Flokulasi yang disebabkan oleh gerak termal disebut gerak Brown dan prosesnya disebut flokulasi perikinetik. Gerak acak partikel koloid yang disebabkan oleh adanya molekul air pada tumbuhan menimbulkan kombinasi partikel kurang dari 1 dan partikel lt 100 milimikron (Rizkya, 2020).

2. Flokulasi ortokinetik

Flokulasi ortokinetik adalah proses agregasi yang disebabkan oleh terbentuknya gerak dalam suatu medium seperti air. Perubahan kecepatan dari satu titik ke titik lain dikenal sebagai gradien kecepatan dan dilambangkan dengan notasi

G. Kecepatan aliran yang berbeda dalam media cair menghasilkan kecepatan aliran yang berbeda karena kontak antar partikel (Rizky, 2020).

2.5 Sistem Pengolahan Koagulasi – Flokulasi pada Media Berbutir

Proses destabilisasi koloid pada koagulasi-flokulasi ada 4 metode yaitu pemampatan lapisan ganda elektrik, adsorpsi untuk menghasilkan netralisasi muatan, penjeratan oleh presipitat (*sweep-floc coagulation*), adsorpsi dan jembatan antar partikel. Proses destabilisasi koloid pada koagulasi-flokulasi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pemampatan lapisan ganda elektrik adalah penambahan ion yang mempunyai muatan berlawanan dengan muatan partikel akan menimbulkan destabilisasi partikel koloid sehingga lapisan difusi akan mampat dan memungkinkan terjadinya gaya tarik menarik antar partikel. Aspek terpenting dalam pemampatan lapisan ganda elektrik yaitu jumlah elektrolit yang dibutuhkan untuk mencapai koagulasi pada lapisan ganda yang tidak bergantung pada konsentrasi koloid dalam dispersi dan penambahan muatan koloid oleh lapisan ganda elektrik tidak mungkin terjadi tanpa melibatkan penambahan jumlah elektrolit.
2. Adsorpsi untuk menghasilkan netralisasi muatan terjadi apabila sesi yang diserap membawa muatan yang berlawanan dengan muatan partikel koloid maka adsorpsi akan menyebabkan terjadinya pengurangan potensial permukaan dan menghasilkan destabilisasi partikel koloid. Proses destabilisasi pada adsorpsi menggunakan stoikiometri, sehingga dosis yang dibutuhkan koagulan bertambah dengan bertambahnya konsentrasi koloid.
3. Penjeratan oleh presipitat (*sweep floc coagulation*) adalah penambahan dari garam logam, oksida atau hidroksida didalam air, dengan dosis koagulan yang cukup tinggi akan menghasilkan bentuk presipitat. Presipitat ini akan menjerat partikel sebagai endapan. Pengendapan partikel koloid pada proses ini dinamakan *sweep floc coagulation* karena *sweep coagulation* tidak bergantung pada netralisasi muatan permukaan, dan kondisi untuk koagulasi optimum tidak berhubungan dengan minimumnya zeta potensial,

namun pH optimum tetap ada untuk masing – masing koagulan yang bergantung pada hubungan antara solubilitas-pH.

4. Adsorpsi dan jembatan antar partikel dapat terjadi distabilisasi apabila dimasukkan polimer dengan struktur rantai panjang dan bersegmen ke dalam kolid. Molekul polimer akan melekat pada permukaan koloid dan membentuk jembatan kimia. Jembatan kimia ini akan menghasilkan partikel flok yang lebih kompak dan lebih mudah diendapkan sehingga mengakibatkan formasi partikel flok mempunyai formasi karakteristik pengendapan yang baik (Benefield, 1982).

Dari keempat metode destabilisasi koloid yang terjadi, untuk proses destibilisasi koloid pada koagulasi-flokulasi dengan biokoagulan biji asam jawa cenderung pada proses destabilisasi koloid dengan jembatan antar partikel dan netralisasi muatan karena hanya mekanisme ini yang memungkinkan untuk koagulan alami berbasis tumbuhan. Dasar jembatan antar partikel adalah jembatan antar partikel didahului oleh adsorpsi polimer yang merupakan rantai panjang menempel pada permukaan koloid karena adanya afinitas diantara mereka, dimana densitas muatan polielektrolit akan menentukan dosis optimum polielektrolit yang dibutuhkan karena densitas muatan yang lebih tinggi sesuai dengan dosis koagulan yang lebih rendah. Dasar netralisasi muatan adalah bahwa absorpsi polielektrolit dengan kerapatan muatan tinggi oleh partikel koloid dengan kerapatan muatan rendah terjadi dengan cara “patchwise” (Amran, 2018).

Faktor nilai Gtd memiliki peran penting untuk mendapatkan hasil flokulasi yang optimal. Nilai Gtd merupakan nilai kecepatan hidrolis terhadap waktu detensinya (Mu'min, 2017). Teori Camp dan Stein menyatakan bahwa nilai Gtd tertentu harus dipertahankan untuk hasil agregasi yang baik. Berdasarkan hal tersebut, diduga ada faktor lain yang mempengaruhi proses flokulasi ketika aliran melalui media berbutir selain Gtd digunakan. Hal ini ditandai dengan tingkat penurunan kekeruhan yang tinggi dan kualitas yang dihasilkan (Mu'min, 2017). Persamaan G dapat dilihat pada persamaan 2.1 dan persamaan headloss dapat dilihat pada persamaan 2.2 (Hamzani, 2013).

$$G \text{ hitung} = \left[\left(\frac{HL \cdot \rho \cdot g \cdot Q}{\mu \cdot \alpha \cdot V} \right) \right]^{1/2} \dots\dots\dots 2.1$$

Dengan:

G = gradien kecepatan (detik⁻¹), kriteria 10–100 detik⁻¹

Q = debit aliran (m³ /detik)

Td = waktu kontak (detik), kriteria 180-300 detik

Gtd = banyaknya jumlah tumbukan, kriteria 10⁴–10⁵

V = volume air (m³)

NRe = bilangan Reynold, kriteria aliran laminar < 2000

HL = headloss atau kehilangan tekanan (m)

μ = viskositas dinamik air (0,8x 10⁻³ kg/m.detik) 30°C

ρ = massa jenis air (996 kg/m³) 30°C

g = percepatan gaya gravitasi (9,8 m/detik²)

α = porositas butiran (0,4)

$$\text{Headloss (HL)} = \frac{f}{\theta} \left[\frac{1-\alpha}{\alpha^3} \right] \left(\frac{L}{D_b} \right) \left(\frac{V \alpha^2}{g} \right) \dots\dots\dots 2.2$$

Dengan:

HL = headloss atau kehilangan tekanan (m)

f = faktor gesekan

θ = faktor bentuk (0,8)

α = porositas butiran (0,4)

D_b = diameter butiran (m)

V = volume air (m³)

g = percepatan gaya gravitasi (9,8 m/detik²)

Jenis media berbutir yaitu *single* media dan *multiple* media. *Single* media adalah media yang mempergunakan satu jenis media kerikil atau pasir contohnya pasir silika. Jenis yang kedua yaitu *multiple* media, media ini mempergunakan beberapa media seperti garnet, pasir saringan dan kerikil yang pengaplikasiannya dari atas ke bawah yang disesuaikan dengan ketinggian tertentu (Luthfiyanti, 2019).

Keunggulan penggunaan media berbutir dalam flokulator adalah waktu flokulasi yang diperlukan menjadi lebih singkat daripada metode lainnya (Hamzani, 2020).

2.6 Koagulan

Proses koagulasi flokulasi memerlukan penambahan zat yang membantu proses pengendapan partikel yang disebut sebagai koagulan. Koagulan akan membentuk partikel-partikel yang lebih besar kemudian akan mengendap. Partikel besar yang dimaksud adalah flok. Koagulan mempunyai 2 jenis yaitu koagulan kimia dan koagulan alami. Koagulan kimia adalah koagulan yang didalamnya mengandung bahan-bahan kimia seperti logam (Martina *et al.*, 2018).

Koagulan kimia yang umum digunakan adalah aluminium dan PAC. Senyawa ini dapat menyebabkan perkembangan penyakit Alzheimer dan bersifat neurotoksik. Flokulan anorganik dengan kandungan logam tinggi digunakan untuk lumpur flokulasi. Koagulan kimia sangat berbahaya pada saat dibuang ke lingkungan terutama pencemaran pada tanah.

2.7 Biokoagulan Biji Asam Jawa

Biokoagulan adalah koagulan alami yang aman bagi lingkungan dan dapat berperan pada proses sedimentasi. Fungsi Biokoagulan yaitu untuk mengikat partikel-partikel yang ada di air. Berkembangnya teknologi sekarang membuat pembuatan dan penggunaan koagulan alami dapat mudah ditemukan yaitu berasal dari sumber daya alam terbaharui seperti tanaman, hewan, atau bahkan dari mikroorganisme. Penggunaan biokoagulan tidak sembarangan menggunakan tanaman terutama tanaman pangan. Penggunaan biokoagulan biasanya dimanfaatkan dari limbah tanaman yang sudah tidak terpakai lagi. Beberapa penelitian sudah membuktikan biokoagulan dapat mengurangi kekeruhan air dengan menggunakan biji kelor, biji kecipir dan biji asam. Salah satu koagulan alami yang dapat dimanfaatkan yaitu biji asam jawa untuk mengurangi efek pencemaran yang ada, karena pada dasarnya tanaman asam jawa hanya dimanfaatkan dagingnya saja dan untuk biji asam jawa akan dibuang (Martina *et al.*, 2018).

Biji asam jawa merupakan biokoagulan yang mengandung protein yang berperan sebagai polielektrolit alami yang fungsinya mirip dengan koagulan sintetik. Mekanisme proses koagulasi senyawa organik oleh koagulan biji asam jawa terdiri dari beberapa tahap yaitu koagulan biji asam bereaksi dengan H dan gugus amino sehingga koagulan biji asam menjadi bermuatan positif (NH_3). Gugus amino yang terdapat pada protein dalam larutan asam bereaksi dengan ion H yang membuat protein bermuatan positif. Gugus amino yang bermuatan positif akan bereaksi melalui interaksi elektrostatis dengan air baku. Interaksi elektrostatis ini menyebabkan terjadinya proses adsorpsi pada air baku yang bermuatan negatif. Muatan negatif dari senyawa organik terikat pada permukaan biji asam jawa yang bermuatan positif, selanjutnya akan terjadi proses koagulasi dan membentuk endapan (Pembayun, 2020). Jenis biji asam yang digunakan yaitu biji asam jawa warna cokelat. Berikut gambar biji asam jawa dapat dilihat pada Gambar 2.1



(a) (b)
Gambar 2. 1 (a) Biji Asam Warna Hitam, (b) Biji Asam Warna Cokelat
Sumber: Rini, 2017

2.8 Jar Test

Koagulasi dan flokulasi adalah metode berkelanjutan yang didalamnya terdapat pencampuran koagulan hingga membentuk flok, dimana flok ini dipengaruhi oleh dosis koagulan dan proses pengadukan. Proses koagulasi-flokulasi skala laboratorium dapat ditentukan dengan melakukan jar test (Oktaviasari, 2016).

Jar test adalah percobaan skala laboratorium yang digunakan untuk penentuan dosis optimum pada koagulan. Jar Test umumnya digunakan pada pengolahan air bersih. Hasil percobaan yang dilakukan harus sesuai prosedur supaya dapat mengoptimalkan dalam pengolahan koagulasi flokulasi dan

penjernihan. Metode jar test ini dapat memberikan pengaruh yang signifikan terhadap parameter kekeruhan (Hadi, 2012).

2.9 Penelitian Terdahulu

Berikut penelitian terdahulu dari pengolahan air menggunakan biokogulan biji asam jawa dengan metode koagulasi flokulasi media berbutir dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

Nama Peneliti	Metode	Hasil
Rizkya, 2020.	Penggunaan koagulan polialuminium klorida dan flokulasi media granular dengan flokulan gravel bed dapat mengurangi waktu flokulasi (3-5 menit).	Hasil penelitian menunjukkan dosis koagulan optimal 95 mg/l, waktu kontak aglomerasi 5 menit, dan rasio tinggi ukuran media kerikil 20 mm:30 mm (1:2) dengan total padatan tersuspensi (TSS) 83,22. menunjukkan bahwa adalah mungkin untuk penurunan Kekeruhan 92,06%
Sarwono, 2017.	Penggunaan flokulan dengan media berbutir tipe gravel bed flokulan dapat mengurangi waktu flokulasi sekitar 3-5 menit.	Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa konsentrasi TSS mengalami peningkatan pada nilai awal sebesar 27,8 mg/L, sedangkan pada koagulasi plant menggunakan gravel bed dengan kekeruhan awal 20,70 NTU mengalami penurunan dari kekeruhan awal sebesar 20,70 NTU menjadi 9, 5 NTU dengan efisiensi sebesar 5,3 % adalah perubahan. 16,73 mg/L dan menurun sebesar 26 mg/L dari konsentrasi TDS awal 308 mg/L saat konsentrasi TDS menurun.
Mu'min, 2017	Menggunakan koagulasi – flokulasi media berbutir dengan variasi debit yang digunakan 1 liter/menit, 1,5 liter/menit, 1,7 liter/ menit 2 liter/menit, dan 2,2 liter/menit. Metode yang digunakan adalah flokulan saluran terbuka setengah lingkaran dan flokulan saluran terbuka persegi panjang.	Hasilnya, ditemukan bahwa penurunan kekeruhan mencapai lebih dari 98% untuk air baku buatan dan 94,49% untuk air baku alami. Nilai G berkisar antara 33.035 hingga 166.751/s dan nilai Gtd 245,392 sampai 708,225. Nilai bilangan Froude untuk kedua flokulan berkisar antara 0,030 hingga 0,06. Kecepatan pelindian untuk flokulan setengah lingkaran berkisar antara 0,026 hingga 0,025 cm/s untuk flokulan persegi panjang. Waktu tinggal sebenarnya untuk kedua flokulan lebih kecil dari waktu tinggal teoritis.
Pawestri, 2018	Menggunakan koagulasi-flokulasi dengan koagulan gulan biji asam jawa untuk menurunkan kekeruhan air baku di PDAM Tirta Wijaya Cilacap. Untuk uji statistiknya menggunakan analisis Anova One Way dan Paired T-test	Hasil penelitian didapatkan proses koagulasi-flokulasi menggunakan koagulan biji asam jawa dapat optimum dalam penurunan kekeruhan air di PDAM Tirta Cilacap. Hasil penurunan kekeruhannya sebesar 34,40%.
Putri, 2014	Menggunakan koagulasi-flokulasi dengan tipe Gravel	Hasil penelitian yang didapatkan yaitu mampu meremoval secara efektif yaitu sebesar 65,9% dan

Nama Peneliti	Metode	Hasil
	bed flocculator dan macam koagulan yang digunakan $Al_2(SO_4)_3$ dan $FeCl_3$ serta td 3 menit – 4 menit.	dapat menurunkan zat organik sebesar 63,8% dengan koagulan $Al_2(SO_4)_3$ dan td 4 menit.
Munardy, 2019	Menggunakan pengolahan air dengan media filter kerikil dan pasir aktif dengan debit 10 liter/menit, 15 liter/menit dan 20 liter/menit.	Hasil penelitian yang didapatkan yaitu mmapu menurunkan kekeruhan sebesar 98,447% tanpa menggunakan bioball.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Konsep Penelitian

Metode pada penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yaitu melakukan percobaan berapa dosis optimum biokoagulan biji asam jawa yang efisien dalam penurunan kekeruhan air dan pengaruh jenis media berbutir (*single media* dan *multiple media*) sebagai flokulator dalam penurunan kekeruhan air. Maksud dari penelitian ini yaitu untuk melakukan analisis terhadap efektifitas pengolahan air menggunakan biokoagulan biji asam jawa dengan metode koagulasi-flokulasi pada media berbutir.

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan, Universitas Jember. Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan Oktober hingga Desember 2022.

3.3 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian menggunakan jenis data kuantitatif. Data kuantitatif didapat dari kegiatan pengujian dan pengukuran sampel. Berdasarkan sumbernya data kuantitatif yang dikumpulkan untuk pendukung penelitian tergolong menjadi dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder.

3.3.1 Data primer

Data primer yang digunakan dalam penelitian diperoleh dengan melaksanakan pengujian dan identifikasi secara langsung baik di laboratorium atau di lapangan. Data primer didapat dari uji kualitas air sampel sebelum dan sesudah perlakuan di laboratorium. Data primer yang digunakan pada penelitian terdiri atas pH, desain reaktor, nilai kekeruhan sebelum dan sesudah perlakuan.

3.3.2 Data sekunder

Data sekunder dalam penelitian diperoleh melalui studi literatur terhadap penelitian terdahulu. Data sekunder digunakan sebagai data penunjang dalam

penelitian. Data sekunder yang diperoleh dari studi literatur antara lain jenis media yang digunakan, dan kriteria desain koagulasi flokulasi.

3.4 Alat dan Bahan

Penelitian ini membutuhkan alat dan bahan sebagai penunjang percobaan. Alat yang digunakan yaitu pH meter, timbangan analitik, saringan 100 mesh, oven, blender, pipet tetes, pipet volume, turbidimeter, batang pengaduk, wadah air baku, jas test. Bahan yang digunakan yaitu air sungai, biji asam jawa dan aquadest. Media yang digunakan ada dua yaitu *single* media dan *multiple* media. *Single* media menggunakan kerikil dengan diameter partikel 0,005 mm. *Multiple* media menggunakan kerikil dengan diameter partikel 0,005 mm, pasir dengan diameter partikel 0,002 mm dan pasir halus dengan diameter partikel 0,001 mm.

3.5 Variabel Penelitian

Variabel penelitian ada beberapa macam yaitu variabel kontrol, bebas dan terikat. Air sampel yang digunakan yaitu dari Sungai Bedadung. Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini yaitu volume air sampel sebesar 112,65 liter, 130,45 liter dan 148,86 liter. Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini yaitu debit air (0,5 L/menit, 0,6 L/menit, 0,7 L/menit), biokoagulan biji asam jawa, dan jenis media yaitu *single* media (pasir halus) dan *multiple* media (kerikil, pasir, dan pasir halus). Variabel terikat yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu, pH dan nilai kekeruhan.

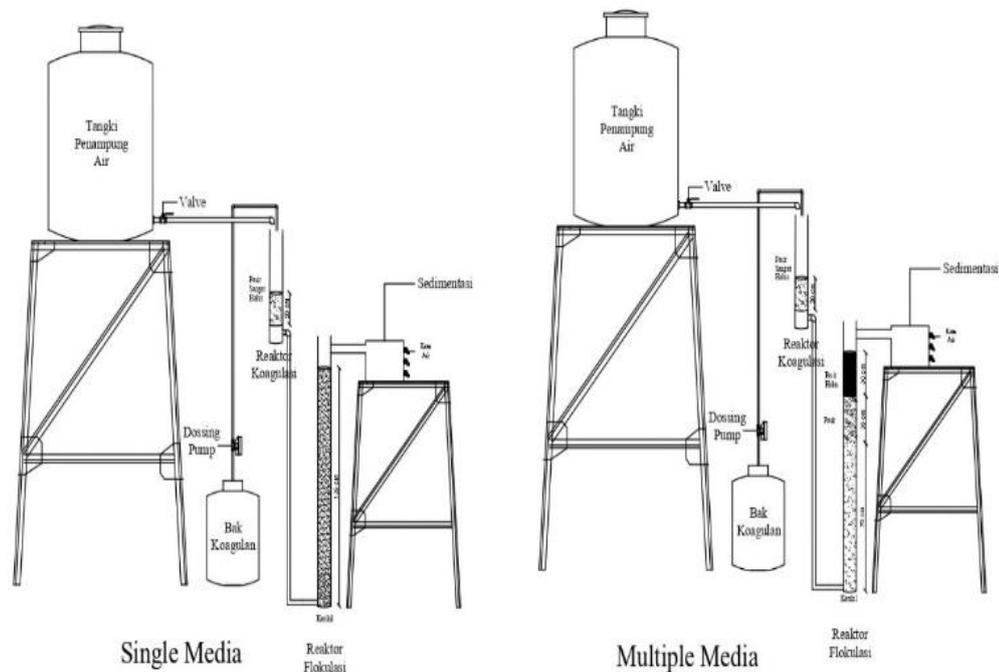
3.6 Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian ada beberapa cara yaitu:

1. Instalasi

Koagulator dalam penelitian ini menggunakan pipa akrilik 0,1 m sepanjang 0,6 m yang diletakkan vertikal dan dua flokulator menggunakan pipa PVC 0,1 m dengan panjang 1,4 m. Biokoagulan yang digunakan yaitu biji asam jawa. Jenis media berbutir yang digunakan yaitu *single* media dan *multiple* media. Sebelum proses koagulator, biokoagulan diinjeksikan dengan bantuan dosing pump agar air

baku dapat dialirkan dari tangki penampungan menuju koagulator. Berikut sketsa rancangan alat penelitian menggunakan koagulasi flokulasi dengan media berbutir dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3. 1 Sketsa Rancangan Alat Penelitian Menggunakan Koagulasi Flokdengan Media Berbutir

2. Sampling Air Sungai

Metode sampling air sungai memerlukan alat pengambil sampel. Air sampel di cuci menggunakan alat pengambil sampel sebanyak 3 (tiga) kali. Air sampel dicampurkan dalam penampung sementara, selanjutnya dihomogenkan. Air sampel dimasukkan ke dalam wadah yang telah disediakan dan dilakukan pengujian untuk parameter kekeruhan. Hasil pengujian dicatat dan dilakukam pengawetan sampel untuk pengujian di laboratorium.

3. Pembuatan Biokoagulan dari Biji Asam Jawa

Biokoagulan yang digunakan di penelitian ini yaitu biji asam jawa yang berjenis coklat. Pemilihan ini didasarkan dari biji asam jawa berwarna coklat mudah didapatkan di pasaran. Proses pembuatan biokoagulan diawali dengan mencuci bersih biji asam jawa dengan air mengalir. Biji asam jawa dioven sampai

biji asam jawa benar-benar kering lalu dipisahkan dari cangkangnya. Biji asam jawa yang sudah terlepas dari cangkangnya kemudian dihaluskan dengan blender hingga berbentuk serbuk. Serbuk biji asam jawa diayak dengan ayakan 100 mesh agar menghasilkan kualitas yang baik. Serbuk yang sudah diayak digunakan sebagai biokoagulan dalam pengujian penurunan kekeruhan air. Gambar proses pengayakan dengan ayakan 100 mesh dapat dilihat pada Gambar 3.2



Gambar 3. 2 Proses Pengayakan dengan Ayakan 100 mesh

4. Pengukuran Kekeruhan

Pengukuran kekeruhan mempunyai tahapan yaitu proses kalibrasi alat. Kalibrasi alat digunakan untuk mengetahui angka kekeruhan. Pengujian kekeruhan dilakukan dengan turbidimeter. Sampel air dimasukkan ke alat turbidimeter dan ditunggu hingga menunjukkan nilai kekeruhan. Alat turbidimeter akan berkerja optimal saat dibiarkan terlebih dahulu hingga alat menunjukkan nilai pembacaan yang stabil. Efisiensi penurunan kekeruhan dapat dilihat pada persamaan 3.1(Sulianto, 2020)

$$\eta = \frac{a-b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots 3.1$$

Dengan:

- η = efisiensi penurunan
- a = kekeruhan awal
- b = kekeruhan akhir

5. Uji Jar Tes

Pengujian jar tes dilakukan sebelum proses koagulasi-flokulasi pada reaktor. Hal ini bertujuan untuk mengetahui dosis optimal koagulan yang harus

dibubuhkan pada air sampel. Tahapan pengujian jar tes yaitu dengan pengisian sampel pada gelas beker dan diberi label. Air sampel dibubuhkan biokoagulan biji asam jawa dengan dosis berbeda setiap gelas bekernya. Uji jar tes dilakukan dengan dua tahapan yaitu pengadukan cepat dan lambat. Air sampel dengan debit 0,5 L/menit diaduk dengan jar test dengan pengadukan cepat 152 rpm selama 188 detik. Air sampel diaduk kembali dengan pengadukan lambat 15 rpm selama 42 menit. Air sampel dilakukan pengendapan terlebih dahulu selama 60 menit agar mempermudah pengukuran. Air sampel dengan debit 0,6 L/menit diaduk dengan jar test dengan pengadukan cepat 142 rpm selama 157 detik. Air sampel diaduk kembali dengan pengadukan lambat 14 rpm selama 35 menit. Air sampel dilakukan pengendapan terlebih dahulu selama 60 menit agar mempermudah pengukuran. Air sampel dengan debit 0,7 L/menit diaduk dengan jar test dengan pengadukan cepat 135 rpm selama 135 detik. Air sampel diaduk kembali dengan pengadukan lambat 13 rpm selama 30 menit. Air sampel dilakukan pengendapan terlebih dahulu selama 60 menit agar mempermudah pengukuran.

6. Proses Koagulasi-Flokulasi

Proses koagulasi-flokulasi mempunyai beberapa tahap yaitu air sampel ditambahkan biokoagulan serbuk biji asam dengan dosis 75 ppm yang didapatkan dari dosis optimum pada jar test. Air sampel kemudian di runingkan ke alat reaktor melalui reaktor koagulasi-flokulasi-sedimentasi. Air sampel yang sudah diendapkan dilakukan pengukuran kekeruhan serta dilakukan analisis pengaruh jenis media berbutir (*single media* dan *multiple media*) sebagai flokulator dalam penurunan kekeruhan air.

3.7 Rancangan Percobaan

Rancangan percobaan merupakan perencanaan awal dalam sebuah penelitian. Rancangan percobaan merupakan langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian. Perencanaan rancangan penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan

Jenis media Debit air (L/detik)	Single (A1)	Multiple (A2)	Kontrol	
0,5 (B1)	A1B1Ci	A2B1Ci	A1B1	A2B1
Pengulangan ke-2	A1B1Ci	A2B1Ci	A1B1	A2B1
Pengulangan ke-3	A1B1Ci	A2B1Ci	A1B1	A2B1
0,6 (B2)	A1B2Ci	A2B2Ci	A1B2	A2B2
Pengulangan ke-2	A1B2Ci	A2B2Ci	A1B2	A2B2
Pengulangan ke-3	A1B2Ci	A2B2Ci	A1B2	A2B2
0,7 (B3)	A1B3Ci	A2B3Ci	A1B3	A2B3
Pengulangan ke-2	A1B3Ci	A2B3Ci	A1B3	A2B3
Pengulangan ke-3	A1B3Ci	A2B3Ci	A1B3	A2B3

Keterangan

Ci : Dosis koagulan biji asam jawa (ppm)

A1B1 : Air dengan debit x1 dengan koagulasi-flokulasi single media

A1B2 : Air dengan debit x2 dengan koagulasi-flokulasi single media

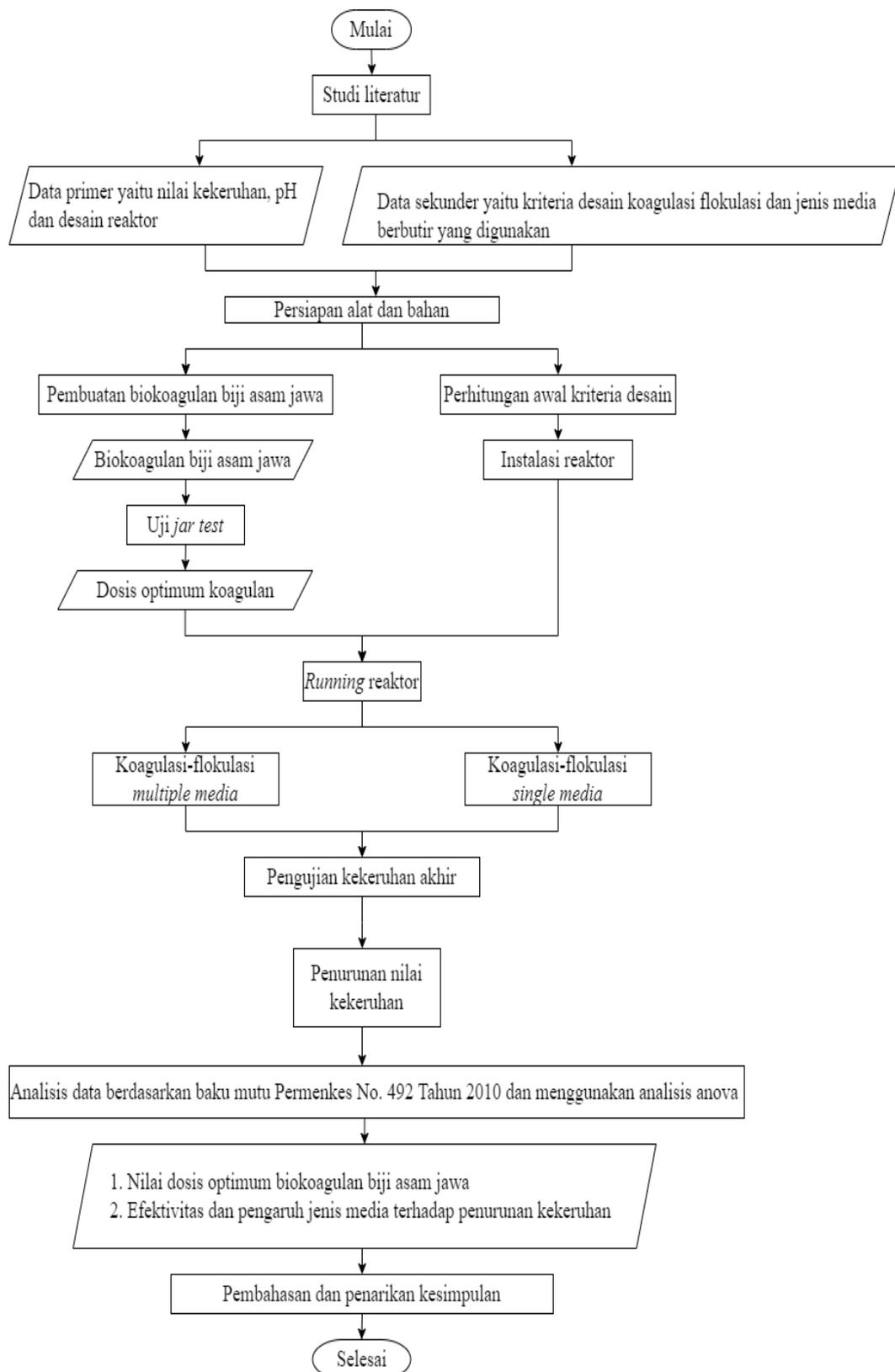
A2B1 : Air dengan debit x1 dengan koagulasi-flokulasi multiple media

A2B2 : Air dengan debit x2 dengan koagulasi-flokulasi multiple media

3.8 Analisis

Analisis dalam penelitian ini dilakukan pada skala laboratorium dengan pengulangan pengujian sebanyak 3 kali supaya didapatkan hasil yang akurat. Analisis yang digunakan menggunakan teknik analisis deskriptif. Analisis deskripsi merupakan analisis yang nantinya akan menyajikan data hasil penelitian di laboratorium dalam bentuk tabel. Presentase keefektifan dalam pengaruh jenis media dengan kekeruhan akhir, dilakukan untuk mengetahui keefektifan yang paling efektif dalam penurunan kekeruhan air sampel.

Analisis statistik yang diperlukan yaitu analisis anova. Analisis anova digunakan sebagai penentu pengaruh variabel bebas (X) dengan variabel terikat (Y). Analisis anova bertujuan untuk memperkirakan nilai dari satu variabel (Y) dengan variabel yang lain (X). Analisis tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Diagram Alir Penelitian

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian tugas akhir ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui efektivitas biokoagulan biji asam jawa terhadap penurunan kekeruhan air dengan proses koagulasi-flokulasi menggunakan media berbutir. Media yang digunakan ada 2 jenis yaitu *single* media dan *multiple* media. Penelitian ini menggunakan air sampel dari sungai bedadung yang digunakan sebagai air baku dari IPA Tegal Gede.

4.1 Karakteristik Awal Sungai Bedadung (Air Baku IPA Tegal Gede)

Sungai Bedadung digunakan sebagai air baku dari IPA Tegal Gede yang berada di Kabupaten Jember. Air sungai bedadung ini harus diolah terlebih dahulu sebelum didistribusikan ke masyarakat. Salah satu yang harus diperhatikan yaitu parameter kualitas air yang sering berubah dari pagi, siang dan sore. Parameter kualitas air Sungai Bedadung dapat dilihat pada Tabel 4.1

Tabel 4. 1 Parameter Kualitas Air Sungai

Waktu	Parameter	
	Kekeruhan (NTU)	Ph
Pagi	74,2	8,4
Siang	70	8,5
Sore	65	8,5

4.3 Penentuan Dosis Biokoagulan pada Hasil Uji Jar Test Menggunakan Air Sampel Sungai Bedadung

Menurut Tsabitah (2022) kekeruhan awal 75 NTU dan pH 8 didapat dosis biokoagulan biji asam jawa sebesar 75 ppm, sehingga diambil acuan sebagai dosis optimum untuk melakukan jar test. Variasi dosis optimum yang digunakan yaitu 55 ppm, 65 ppm, 75 ppm, 85 ppm, 95 ppm. Untuk kekeruhan awal 74,4 NTU, pH 8,4 dan suhu 28,9 °C. Hasil jar test tahap 1 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Jar Test Air Sungai Bedadung Tahap 1

Larutan	Dosis (ppm)	Kekeruhan (NTU)	Ph	Suhu (°C)
1	55	62	8,4	28,9
2	65	53,2	8,4	28,9
3	75	49,3	8,4	28,9
4	85	54,9	8,4	28,9
5	95	63,6	8,4	28,9

Hasil jartest (Tabel 4.2) didapatkan dosis optimum 75 ppm. Efisiensi penurunan yaitu 33,73% dari kekeruhan awal 74,4 NTU turun menjadi 49,3 NTU. Untuk mengetahui dosis optimum yang paling efektif dilakukan tiga kali pengulangan pengujian jar test dengan acuan dosis optimum 75 ppm yaitu dengan variasi dosis optimum 65 ppm, 70 ppm, 75 ppm, 80 ppm, 85 ppm. Hasil jartest (Tabel 4.3) didapatkan dosis optimum 75 ppm. Efisiensi penurunan kekeruhan yang didapat yaitu sebesar 39,65% - 85,31%. Hasil jar test tahap 2 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Hasil Jar Test Air Sungai Bedadung Tahap 2

Debit (L/ menit)	Pengu- langan	Dosis 65 ppm			Dosis 70 ppm			Dosis 75 ppm			Dosis 80 ppm					
		Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	
0,5	1	8,4	54,7	26,48	8,4	51,1	31,32	8,4	44,9	39,65	8,4	47,1	36,69	8,4	59,2	20,43
	2	8,4	51,1	31,13	8,4	42,1	43,26	8,4	33,4	54,99	8,4	33,4	54,99	8,4	40,2	45,82
	3	8,4	50	32,43	8,4	41,8	43,51	8,4	32,2	56,49	8,4	39,4	46,76	8,4	39,4	46,76
0,6	1	8,5	49,8	33,06	8,5	45,8	38,44	8,5	39,4	47,04	8,5	45,6	38,71	8,5	47,3	36,42
	2	8,5	33,6	52,00	8,5	27,3	61,00	8,5	16,7	76,14	8,5	28,1	59,86	8,5	34,9	50,14
	3	8,5	15,4	77,35	8,5	26	61,76	8,5	15,4	77,35	8,5	27,4	59,71	8,5	33,6	50,59
0,7	1	8,4	39,8	41,04	8,4	36,8	45,48	8,4	33	51,11	8,4	36,4	46,07	8,4	39	42,22
	2	8,4	16	75,38	8,4	15,1	76,77	8,4	10,2	84,31	8,4	13,4	79,38	8,4	15	76,92
	3	8,4	15,4	75,94	8,4	14,5	77,34	8,4	9,4	85,31	8,4	12,7	80,16	8,4	14,7	77,03

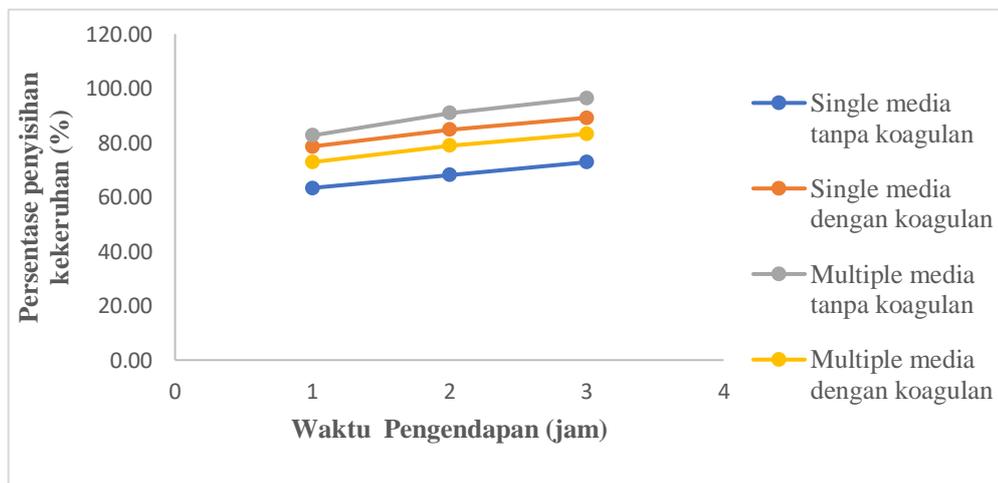
4.4 Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Koagulator –Flokulator Media Berbutir dan analisis data berdasarkan Baku Mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010

Penelitian ini menggunakan koagulator-flokulator media berbutir dengan biokoagulan serbuk biji asam jawa. Jenis media yang paling efektif dalam menyisihkan kekeruhan yaitu menggunakan *multiple media* dan debit yang paling efektif dalam menyisihkan kekeruhan yaitu pada debit 0,7 L/menit. Untuk hasil rekapitulasi efisiensi penurunan kekeruhan yang paling besar terdapat pada reaktor A2B3C dengan jenis media *multiple* dengan koagulan, sedangkan hasil efisiensi penurunan kekeruhan yang paling kecil terdapat pada reaktor KA1B1 dengan jenis media *single* tanpa koagulan. Tabel perhitungan efisiensi penurunan kekeruhan dapat dilihat pada Tabel 4.4, sedangkan grafik rekapitulasi efisiensi penyisihan kekeruhan pada debit 0,5 L/menit, 0,6 L/menit dan 0,7 L/ menit berturut-turut dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2 dan Gambar 4.3.

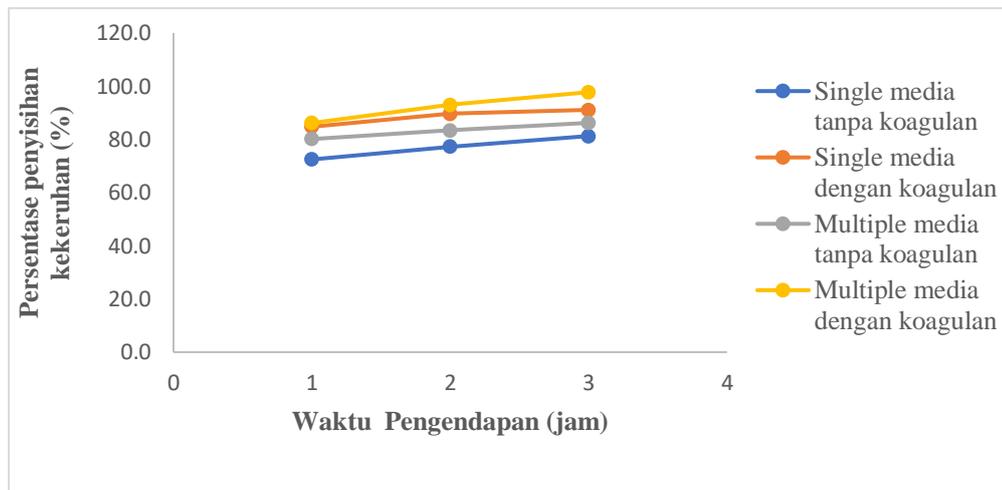
Tabel 4.4 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kekeruhan

No	Nama Reaktor	Debit	Pengendapan (jam)	Pengulangan 1	Pengulangan 2	Pengulangan 3	Efisiensi Penurunan
1	A1B1C	0,5	1	76,21	78,84	80,81	78,62
			2	84,14	84,50	85,68	84,77
			3	88,71	88,95	90,00	89,22
2	A2B1C	0,5	1	77,69	84,64	85,68	82,67
			2	85,62	92,99	94,19	90,93
			3	94,76	97,30	97,43	96,50
3	A1B2C	0,6	1	80,91	86,57	86,76	84,75
			2	84,54	91,86	92,50	89,63
			3	88,98	91,86	92,50	91,11
4	A2B2C	0,6	1	78,63	89,29	90,59	86,17
			2	88,84	94,43	95,59	92,95
			3	97,04	98,00	98,24	97,76
5	A1B3C	0,7	1	81,31	89,22	90,31	86,94
			2	85,61	92,43	92,97	90,34
			3	89,17	96,26	96,56	94,00
6	A2B3C	0,7	1	83,20	90,34	92,50	88,68
			2	90,73	95,23	96,76	94,24
			3	98,12	98,17	98,37	98,22

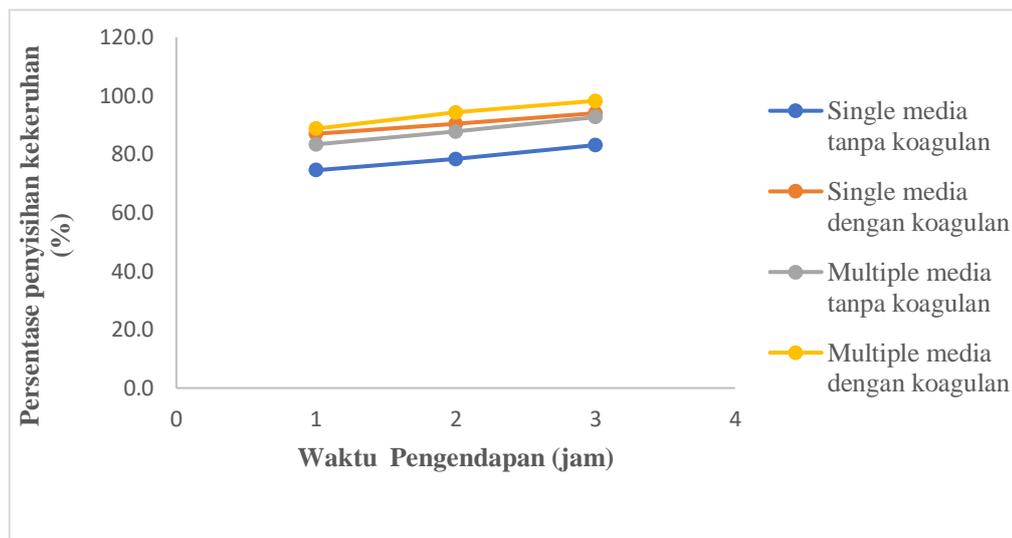
No	Nama Reaktor	Debit	Pengendapan (jam)	Pengulangan 1	Pengulangan 2	Pengulangan 3	Efisiensi Penurunan
7	K A1B1	0,5	1	56,72	66,58	66,76	63,35
			2	63,98	70,08	70,27	68,11
			3	68,82	74,80	74,86	72,83
8	K A2B1	0,5	1	60,75	78,84	78,92	72,84
			2	67,61	84,50	84,86	78,99
			3	71,77	88,95	89,05	83,26
9	K A1B2	0,6	1	59,68	78,71	78,97	72,45
			2	67,88	82,00	82,06	77,31
			3	73,39	85,14	85,29	81,27
10	K A2B2	0,6	1	71,10	84,14	85,15	80,13
			2	72,31	88,43	89,41	83,38
			3	74,73	91,57	92,35	86,22
11	K A1B3	0,7	1	65,13	78,92	79,38	74,48
			2	69,88	82,31	82,81	78,33
			3	75,22	86,97	87,03	83,07
12	K A2B3	0,7	1	74,73	87,31	87,94	83,33
			2	79,70	91,45	91,91	87,69
			3	88,84	94,20	94,85	92,63



Gambar 4.1 Grafik Rekapitulasi Efisiensi Penurunan Kekeruhan Debit 0,5 L/menit



Gambar 4.2 Grafik Rekapitulasi Efisiensi Penurunan Kekeruhan Debit 0,6 L/menit



Gambar 4.3 Grafik Rekapitulasi Efisiensi Penurunan Kekeruhan Debit 0,7 L/menit

Menurut Hamzani (2013) media berbutir merupakan jenis koagulasi flokulasi hidrolis sehingga yang mempengaruhi nilai G adalah *headloss*. Debit yang besar akan menyebabkan *headloss* yang besar. Semakin besar *headloss* akan berpengaruh pada nilai G, dimana nilai G yang semakin besar akan semakin baik terhadap efektivitas penurunan kekeruhan (Hamzani, 2013). Nilai G paling besar pada flokulator berdasarkan kriteria desain yaitu 10-100/detik (Droste, 1997). Hasil

perhitungan jenis media *multiple* pada perhitungan desain reaktor yang terdapat pada lampiran 5 didapatkan hasil pada flokulator dengan debit (0,5;0,6;0,7)L/menit dengan waktu detensi 42 menit, 35 menit, 30 menit didapatkan G berturut-turut yaitu 28 detik⁻¹, 31 detik⁻¹, dan 34 detik⁻¹. Untuk perhitungan jenis media *single* didapatkan hasil pada debit (0,5;0,6;0,7)L/menit didapatkan G berturut-turut yaitu 28 detik⁻¹, 30 detik⁻¹, dan 33 detik⁻¹. Hal ini diperkuat pada penelitian Hamzani (2013) persentase penurunan kekeruhan yang paling tinggi atau efektif adalah pada gradien terbesar, dimana jenis koagulasi flokulasi hidrolis membutuhkan nilai G yang lebih besar dibandingkan dengan koagulasi flokulasi mekanis.

Menurut Rizkya (2020) jenis media *multiple* lebih baik menurunkan kekeruhan daripada media *single* dikarenakan G pada flokulatornya bertahap agar flok-flok yang telah terbentuk tidak pecah lagi dan berkesempatan bergabung dengan yang lain. Perbedaan gradien kecepatan yang bertahap atau berlahan-lahan akan membentuk flok yang lebih besar melalui pengadukan lambat dan kemudian dapat mengendap cepat. Proses pada pengadukan lambat (flokulasi) ini membutuhkan waktu detensi yang lama sehingga pengendapan yang terjadi lebih banyak daripada koagulasi yang mempunyai waktu detensi lebih singkat (Rizkya, 2020). Penyebab lainnya yaitu karena diameter butiran pada jenis media *multiple* semakin kecil sehingga efisiensi kekeruhannya semakin tinggi (Rizkya, 2020). Diameter yang digunakan pada jenis media *multiple* yaitu kerikil dengan diameter partikel 0,005 mm, pasir dengan diameter partikel 0,002 mm dan pasir halus dengan diameter partikel 0,001 mm, sedangkan *single* media menggunakan kerikil dengan diameter partikel 0,005 mm. Hal ini diperkuat pada penelitian Zingga (2020), dimana besarnya diameter berbanding terbalik dengan nilai *headloss*, sehingga semakin kecil diameternya maka semakin besar nilai *headloss*. Semakin besar *headloss* maka persentase penyisihan kekeruhan yang didapat akan semakin besar.

Biji asam jawa dapat menurunkan kekeruhan dikarenakan biji asam jawa mengandung protein yang berperan sebagai polielektrolit alami yang fungsinya mirip dengan koagulan sintetik. Mekanisme proses koagulasi senyawa organik oleh koagulan biji asam jawa terdiri dari beberapa tahap. Salah satunya, koagulan biji asam bereaksi dengan H dan gugus amino sehingga koagulan biji asam menjadi

bermuatan positif (NH_3). Gugus amino yang terdapat pada protein dalam larutan asam bereaksi dengan ion H, membuat protein menjadi bermuatan positif. Gugus amino yang bermuatan positif akan bereaksi melalui interaksi elektrostatis dengan air baku. Proses interaksi elektrostatis menyebabkan terjadinya proses adsorpsi pada air baku yang bermuatan negatif. Muatan negatif dari senyawa organik terikat pada permukaan biji asam jawa yang bermuatan positif, selanjutnya akan terjadi koagulasi dan membentuk endapan (Pembayun, 2020).

Analisis data berdasarkan Baku Mutu Permenkes No. 492 Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum pada penelitian ini didapatkan pada debit 0,5 L/menit memenuhi baku mutu pada pengendapan ke 3 jam dengan rentang 1,9 NTU – 3,9 NTU. Untuk debit 0,6 L/menit pada memenuhi baku mutu pada pengendapan ke 3 jam dengan rentang 1,2 NTU – 2,2 NTU. Untuk debit 0,7 pada memenuhi baku mutu pada pengendapan ke 3 jam dengan rentang 1,11 NTU – 1,4 NTU.

4.5 Analisis Data Menggunakan Uji Anova

Analisis data yang digunakan pada penelitian ini yaitu uji anova. Uji anova digunakan saat nilai p value pada test normalitas dihasilkan p value $> 0,05$ sehingga tidak signifikan dan data terdistribusi normal (Septiadi, 2020). Uji anova diawali dengan test normalitas. Test normalitas ini digunakan untuk mengetahui data yang tersebar terdistribusi normal atau tidak dan signifikan atau tidak. Test normalitas terdiri dari tiga yaitu histogram, q-plot, dan shapiro test. Test normalitas yang digunakan pada penelitian ini yaitu shapiro test. Shapiro test digunakan karena menunjukkan p value menggunakan angka, sehingga hasil yang didapat lebih akurat. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Uji Normalitas

W	p-value
0,97604	0,6111

Sumber: Perhitungan Rstudio, 2023

Hasil analisis yang didapat pada uji normalitas adalah 0,6111 maka $\text{sig} > 0,05$ sehingga nilai residual standar normal atau data yang tersebar terdistribusi normal. Uji anova selanjutnya yaitu uji signifikansi. Uji signifikansi ini digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh antara variabel bebas dengan variabel terikat. Data pada uji signifikansi dikatakan signifikan jika $p \text{ value} < 0,05$ (Septiadi, 2020). Hasil uji signifikansi dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Uji Signifikansi

F Hitung	p-value
16,641	$1,08 \times 10^{-6}$

Sumber: Perhitungan Rstudio, 2023

Hasil analisis yang didapat pada uji signifikansi yaitu nilai signifikansi $< 0,05$ sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan antara jenis media terhadap kekeruhan akhir. Uji terakhir yaitu dengan Uji Tukey. Uji Tukey digunakan untuk membandingkan semua perlakuan setelah uji analisis varian dilakukan. Hasil Uji Tukey dapat dilihat pada Gambar 4.4

	upr	p adj
multiple media tanpa koagulan-multiple media dengan koagulan	-1.844465	0.0088440
single media dengan koagulan-multiple media dengan koagulan	2.702006	0.3586220
single media tanpa koagulan-multiple media dengan koagulan	-10.428214	0.0000008
single media dengan koagulan-multiple media tanpa koagulan	11.551932	0.3115699
single media tanpa koagulan-multiple media tanpa koagulan	-1.578288	0.0115119
single media tanpa koagulan-single media dengan koagulan	-6.124759	0.0000898

Gambar 4.4 Hasil Uji Tukey

Gambar 4.4 menjelaskan hasil analisis menggunakan uji tukey pada *single* media tanpa koagulan terhadap jenis media *multiple* tanpa koagulan didapat $p\text{-value} < 0,05$, sehingga ada pengaruh secara signifikan antara jenis media dengan efisiensi penurunan kekeruhan, sedangkan pada jenis *single* media dengan koagulan terhadap jenis *multiple* media dengan koagulan didapatkan $p\text{-value} > 0,05$, sehingga tidak ada pengaruh yang signifikan antara jenis media dengan efisiensi kekeruhan air. Hal ini dikarenakan berdasarkan baku mutu untuk jenis *single* media dengan koagulan dan jenis media *multiple* dengan koagulan semua sudah memenuhi baku mutu pada pengendapan 2 jam dan 3 jam, namun untuk waktu pengendapan 3 jam

single media tanpa koagulan belum memenuhi baku mutu, sedangkan pada jenis media *multiple* tanpa koagulan dalam waktu pengendapan 3 jam sudah memenuhi baku mutu. Berdasarkan SNI 6774:2008 tentang tata cara perencanaan unit paket instalasi pengolahan air, kriteria desain pada flokulator jenis *multiple* media dapat menggunakan variasi jenis media yaitu antara 3 hingga 6 variasi jenis, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengetahui pengaruh banyaknya variasi jenis media dalam efisiensi penurunan kekeruhan pada Sungai Bedadung.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian dengan judul “Efektivitas Pengolahan Air Menggunakan Biokoagulan Biji Asam Jawa dengan Metode Koagulasi Flokulasi pada Media Berbutir yaitu:

1. Dosis optimum biokoagulan biji asam dalam menurunkan kekeruhan air pada rentang kekeruhan awal 74,4 NTU – 64 NTU adalah 75 ppm. Adapun efisiensi penurunan kekeruhan sebesar 77,69% - 98,37%. Efisiensi penurunan kekeruhan terbesar terdapat pada reaktor A2B3C dengan jenis media *multiple* dengan koagulan sebesar 98,37%.
2. Pengaruh jenis media berbutir (*single* media dan *multiple* media) sebagai flokulator terhadap efisiensi penurunan kekeruhan air yaitu jenis media *single* tanpa koagulan terhadap jenis media *multiple* tanpa koagulan berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan kekeruhan dengan p-value < 0,05, sedangkan jenis *single* media dengan koagulan terhadap jenis *multiple* media dengan koagulan tidak berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penurunan kekeruhan dengan p-value > 0,05. Perbedaan antara jenis media berbutir (*single* media dan *multiple* media) adalah bahwa jenis media *multiple* memiliki efisiensi penurunan kekeruhan lebih besar dibandingkan jenis media *single*.

5.2 Saran

Saran pada penelitian ini yaitu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penambahan variasi jenis media berbutir untuk mengetahui pengaruh efisiensi penurunan kekeruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amran, A., Zaidi, N., Muda, K., Loan, L. 2018. Effectiveness of Natural Coagulant in Coagulation Process: A Review. *International Journal of Engineering & Technology*. 7(3):34-37.
- Benefield, L., Judkins, J., Weand, B. 1982. *Process Chemistry For Water and Wastewater Treatment*. Alabama:Prentice Hall.
- Hadi. 2012. *Perencanaan Bangunan Pengolahan Air Minum*. Surabaya: ITS Press.
- Hamzani, S. 2020. Rancang Bangun Gravel Bed Flocculator Sistem Kontinu untuk Pengolahan Air Sungai Martapura. *Buletin Profesi Insinyur*. 3(1):11–16.
- Kawamura, S. 1991. *Integrated Design of Water Treatment Facilities*. John Wiley and Sons:New York.
- Laporan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Jawa Timur Tahun 2017
- Luthfiyanti, S. 2019. Pengolahan Air Limbah Sentra PKL dengan Metode Rekayasa Filtrasi Untuk Keberlanjutan Sumber Daya Air. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 1(1):1–9.
- Martina, A., Effendy, D. S., Soetedjo, 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.
- Moelyo, M. 2012. Pengkajian Eektivitas Proses Koagulasi dalam Memperbaiki Kualitas Limbah Industri Penyamakan Kulit-Sukaregang, Garut. *Jurnal*

Kesehatan Masyarakat. 3(2):169–182.

Mu'min, B. 2017. Perbandingan Hidrodinamika Flokulator Berbentuk Setengah Lingkaran dan Persegi Panjang pada Proses Flokulasi Menggunakan Aliran Melalui Media Kelereng. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 1(2):99–117.

Nurmala, B., Nagu, N., Anwar, C. 2017. Tinjauan Instalasi Pengolahan Air Bersih Pdam di Danau Ngade. *Jurnal Sipilsains*. 7(14):13–22.

Oktaviasari. 2016. Optimasi Parameter Proses Jar Test Menggunakan Metode Taguchi dengan Pendekatan PCR-TOPSIS (Studi Kasus: PDAM Surya Sembada Kota Surabaya) | Semantic Scholar. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(2):372–377.

Pembayun, 2020. Efektivitas Biji Asam Jawa Sebagai Koagulan Alami dalam Menurunkan Konsentrasi Zat Warna Remazol Red dan Nilai Cod. *Jurnal Sains dan Teknologi*. 9(2):162-169.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 492 Tahun 2010 Tentang Persyaratan Kualitas Air Minum.

Poerwanto, D. D., Hadisantoso, E. P., Isnaini, S. 2017. Pemanfaatan Biji Asam Jawa (*Tamarindus Indica*) Sebagai Koagulan Alami dalam Pengolahan Limbah Cair Industri Farmasi. *Jurnal Al-Kimiya*. 2(1):24–29.

Reynolds, T.D. dan Richards, P.A. 1996. *Unit Operation and Processes in Environmental Engineering*. PWS Publishing Company:New York.

Rizky, M. H. 2020. Penurunan Total Suspended Solid dan Kekeruhan Air Baku Menggunakan Pipa Circular dan Gravel Bed Flocculator dengan Koagulan Poly Aluminium Chloride. *Journal of EnviroUS*. 1(1):16–21.

Sarwono, E., Aprilia, K. R., Setiawan, Y. 2017. Penurunan Parameter Kekerusuhan, TSS, dan TDS dengan Variasi Unit Flokulasi. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 1(2):8–14.

Septiadi, 2020. Penerapan Metode Anova untuk Analisis Rata-rata Produksi Donat, Burger, dan Croissant pada Toko Roti Animo Bakery. *Bulletin of Applied Industrial Engineering Theory*. 1(2):60-64

Widhianti, R., Tazkiaturrizki, T., Ratnaningsih, R. 2019. Evaluation at Cibinong Water Treatment Plant (WTP) in Bogor District. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(3):1–6.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Baku Mutu Air Untuk Persyaratan Kualitas Air Minum

No.	Parameter Wajib	Satuan	Kadar Baku Mutu (Kadar Maksimum)
1.	Parameter Mikrobiologi		
	a. E.Coli	Jumlah/100 ml sampel	0
	b. Total Bakteri Koliform	Jumlah/100 ml sampel	0
2.	Parameter Kimia an-organik		
	a. Nitrat	mg/L	50
	b. Nitrit	mg/L	3
	c. Sianida	mg/L	0,07
	d. Arsen	mg/L	0,01
	e. Fluorida	mg/L	1,5
3.	Parameter Fisik		
	a. Bau		Tidak berbau
	b. Warna	TCU	15
	c. Kekeruhan	NTU	5
	d. Rasa		Tidak berasa
	e. Suhu	°C	Suhu udara ± 3
4.	Parameter Kimiawi		
	a. Besi	mg/L	0,3
	b. Kepadatan	mg/L	500
	c. Aluminium	mg/L	0,2
	d. Ph		6,5 – 8,5
	e. Mangan	mg/L	0,4
	f. Seng	mg/L	3
	g. Amonia	mg/L	1,5
	h. Tembaga	mg/L	2

Sumber: Permenkes No. 492 Tahun 2010

Lampiran 2 Pembuatan Biokoagulan Biji Asam Jawa



(a) Biji Asam Jawa



(b) Proses pemisahan biji
dari kulitnya



(c) Proses Penghalusan
Biji Menjadi Serbuk



(d) Proses Pengayakan Biji Asam dengan
Ayakan 100 Mesh



(e) Proses Penimbangan Biji Asam
Jawa

Lampiran 3 Jarrest



(a) Proses Jarrest



(b) Pengambilan Sampel Hasil Jarrest



(c) Pengukuran Kekeruhan dengan Turbidimeter



(d) Pengukuran pH menggunakan pH meter

Lampiran 4 Running Reaktor



(a) Air Sampel (Sungai Bedadung)



(b) Proses Pengadukan Saat Running



(c) Proses Running Reaktor Jenis *Single Media* Tanpa Biokoagulan



(d) Proses Running Reaktor Jenis *Single Media* dengan Biokoagulan



(e) Proses running reaktor jenis *multiple media* tanpa biokoagulan



(f) Proses running reaktor jenis *multiple media* dengan biokoagulan

Lampiran 5 Perhitungan Desain Reaktor

Koagulasi		Debit (Q)		Diameter pipa	Diameter butiran	g	A pipa	v aliran	td	Volume	tinggi media	suhu air	Viskositas dinamis	viskositas kinematis (10 ⁻⁶ m ² /s)	Faktor bentuk	rho	NRe	porositas	faktor gesek	hl	G	Gtd	td baru	Gtd baru
		L/menit	m3/detik																					
Single media	Pasir halus	0,5	0,000008	0,1	0,0005	9,8	0,01	0,001	180	0,0015	0,200	30	0,0008004	0,0000008	0,5	998,2	0,331	0,35	296,33	0,4	283,15	50.967,7	188	53346,17
Single media	Pasir halus	0,6	0,000010	0,1	0,0005	9,8	0,01	0,001	180	0,0018	0,20	30	0,0008004	0,0000008	0,5	998,2	0,397	0,35	247,23	0,5	310,36	55.865,26	157	48726,91
Single media	Pasir halus	0,7	0,000012	0,1	0,0005	9,8	0,01	0,001	180	0,0021	0,20	30	0,0008004	0,0000008	0,5	998,2	0,463	0,35	212,17	0,6	335,43	60.376,96	135	45138,96

Flokulasi		Debit (Q)		Diameter pipa	Diameter butiran	g	A pipa	v aliran	td	Volume	tinggi media	suhu air	Viskositas dinamis	viskositas kinematis (10 ⁻⁶ m ² /s)	Faktor bentuk	rho	NRe	porositas	faktor gesek	hl	G	Gtd	td baru	Gtd baru	volume bak sedimentasi
		L/menit	m3/detik																						
Multiple media	Kerikil	0,250	0,000004	0,1	0,005	9,8	0,01	0,001	1800	0,0075	0,70	30	0,0008004	0,0000008	0,3	998,2	0,993	0,35	99,94	0,02	20		1.319	26188,99	0,045
	Pasir kasar	0,250	0,000004	0,1	0,002	9,8	0,01	0,001	1800	0,0075	0,35	30	0,0008004	0,0000008	0,4	998,2	0,530	0,35	185,86	0,04	26,22	50.910,80	659,4	17289,93	0,045
	Pasir halus	0,250	0,000004	0,1	0,001	9,8	0,01	0,001	1800	0,0075	0,30	30	0,0008004	0,0000008	0,5	998,2	0,331	0,35	296,33	0,1	38,77		565,2	21914,17	0,045
											1,35										28		2.543	71936,96	
																							42		
Single media	Kerikil	0,250	0,000004	0,1	0,005	9,8	0,01	0,001	1800	0,0075	1,350	30	0,0008004	0,0000008	0,3	998,2	0,993	0,35	99,94	0,04	28	49.639,82	2543,4	70141,06	0,045
																							42		

Flokulasi		Debit (Q)		Diameter pipa	Diameter butiran	g	A pipa	v aliran	td	Volume	tinggi media	suhu air	Viskositas dinamis	viskositas kinematis (10 ⁻⁶ m ² /s)	Faktor bentuk	rho	NRe	Porositas	faktor gesek	Hl	G	Gtd	td baru	Gtd baru	
		L/menit	m3/detik																						m
Multiple media	Kerikil	0,3	0,000005	0,1	0,005	9,8	0,01	0,001	1800	0,009	0,70	30	0,00080040	0,00000080	0,3	998,2	1,192	0,35	83,58	0,02	21,79		1.099	23948,99	
	Pasir kasar	0,3	0,000005	0,1	0,002	9,8	0,01	0,001	1800	0,009	0,35	30	0,00080040	0,00000080	0,4	998,2	0,635	0,35	155,18	0,04	28,75	55.824,09	550	15798,33	
	Pasir halus	0,3	0,000005	0,1	0,001	9,8	0,01	0,001	1800	0,009	0,30	30	0,00080040	0,00000080	0,5	998,2	0,397	0,35	247,23	0,1	42,50		471	20016,62	
																							31	35	65732,86

<i>Single media</i>	Kerikil	0,3	0,000005	0,1	0,005	9,8	0,01	0,001	1800	0,009	1,3500	30	0,001	0,00000080	0,3	998,2	1,192	0,35	83,58	0,05	30	54.472,83	2.120	64141,76
35																								

Flokulasi	Debit (Q)		Diameter pipa	Diameter butiran	g	A pipa	v aliran	td	Volume	tinggi media	suhu air	Viskositas dinamis	viskositas kinematis (10 ⁻⁶ m ² /s)	Faktor bentuk	rho	NRe	porositas	faktor gesek	Hl	G	Gtd	td baru	Gtd baru																		
	L/menit	m3/detik																																							
	m	m	(m2/detik)	m2	m/detik	detik	m3	m	°C	M	N	θ	ρ	α	f																										
<i>Multiple media</i>	Kerikil	0,35	0,000006	0,1	0,005	9,8	0,01	0,001	1800	0,0105	0,70	30	0,001	0,000001	0,3	998	1,39	0,35	71,89	0,03	23,58		942	22211,1																	
	Pasir kasar	0,35	0,000006	0,1	0,002	9,8	0,01	0,001	1800	0,0105	0,35	30	0,001	0,000001	0,4	998	0,74	0,35	133,26	0,05	31,08	60.355,27	471	14640,1																	
	Pasir halus	0,35	0,000006	0,1	0,001	9,8	0,01	0,001	1800	0,0105	0,30	30	0,001	0,000001	0,5	998	0,46	0,35	212,17	0,1	45,93		404	18542,7																	
																					34																			1,81	60915,7
30																																									
<i>Single media</i>	Kerikil	0,35	0,000006	0,1	0,005	9,8	0,01	0,001	1800	0,0105	1,3500	30	0,001	0,000001	0,3	998	1,39	0,35	71,89	0,1	33	58.939,96	1.817	59487,2																	
30																																									

Lampiran 6 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 1

Debit	Waktu Pengendapan	<i>Single</i> media tanpa koagulan				<i>Single</i> media dengan koagulan				<i>Multiple</i> media tanpa koagulan				<i>Multiple</i> media dengan koagulan			
		pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan
0,5	Air sampel	8,4	28,9	74,4		8,4	28,9	74,4		8,4	28,9	74,4		8,4	28,9	74,4	
	1 jam	8,4	28,8	32,2	56,72	8,4	28,8	17,7	76,21	8,4	28,8	29,2	60,75	8,4	28,8	16,6	77,69
	2 jam	8,4	28,7	26,8	63,98	8,4	28,7	11,8	84,14	8,4	28,7	24,1	67,61	8,4	28,7	10,7	85,62
	3 jam	8,4	28,7	23,2	68,82	8,4	28,7	8,4	88,71	8,4	28,7	21	71,77	8,4	28,7	3,9	94,76
0,6	Air sampel	8,5	29,1	74,4		8,5	29,1	74,4		8,5	29,1	74,4		8,5	29,1	74,4	
	1 jam	8,5	29,1	30	59,68	8,5	29,1	14,2	80,91	8,5	29,1	21,5	71,10	8,5	29,1	15,9	78,63
	2 jam	8,5	29	23,9	67,88	8,5	29	11,5	84,54	8,5	29	20,6	72,31	8,5	29	8,3	88,84
	3 jam	8,5	29	19,8	73,39	8,5	29	8,2	88,98	8,5	29	18,8	74,73	8,5	29	2,2	97,04
0,7	Air sampel	8,4	29,4	67,4		8,4	29,4	67,4		8,4	29,4	67,4		8,4	29,4	67,4	
	1 jam	8,4	29,4	23,5	65,13	8,4	29,4	12,6	81,31	8,4	29,4	18,8	74,73	8,4	29,4	12,5	83,20
	2 jam	8,4	29,3	20,3	69,88	8,4	29,3	9,7	85,61	8,4	29,3	15,1	79,70	8,4	29,3	6,9	90,73
	3 jam	8,4	29,3	16,7	75,22	8,4	29,3	7,3	89,17	8,4	29,3	8,3	88,84	8,4	29,3	1,4	98,12

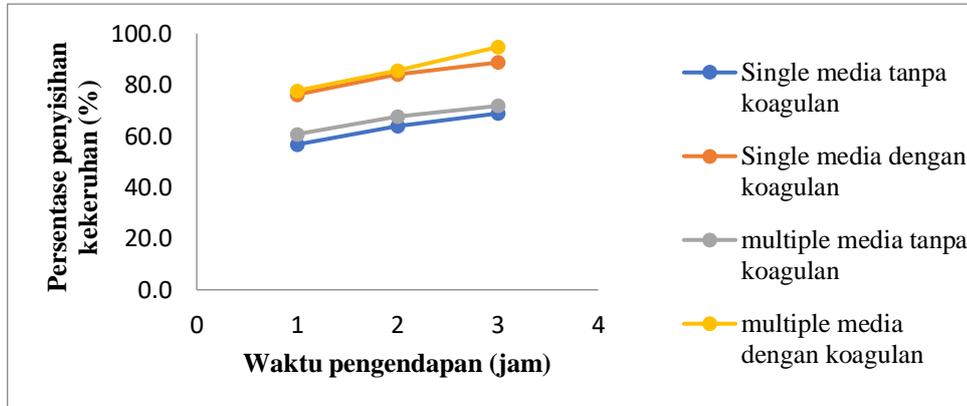
Lampiran 7 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 2

Debit	Waktu Pengendapan	<i>Single</i> media tanpa koagulan				<i>Single</i> media dengan koagulan				<i>Multiple</i> media tanpa koagulan				<i>Multiple</i> media dengan koagulan			
		pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan
0,5	Air sampel	8,4	28,6	74,2		8,4	28,6	74,2		8,4	28,6	74,2		8,4	28,6	74,2	
	1 jam	8,4	28,6	24,8	66,58	8,4	28,6	15,7	78,84	8,4	28,6	16	78,44	8,4	28,6	11,4	84,64
	2 jam	8,4	28,5	22,2	70,08	8,4	28,5	11,5	84,50	8,4	28,5	9,5	87,20	8,4	28,5	5,2	92,99
	3 jam	8,4	28,5	18,7	74,80	8,4	28,5	8,2	88,95	8,4	28,5	7,3	90,16	8,4	28,5	2,0	97,30
0,6	Air sampel	8,5	28,3	70		8,5	28,3	70		8,5	28,3	70		8,5	28,3	70	
	1 jam	8,5	28,3	14,9	78,71	8,5	28,3	9,4	86,57	8,5	28,3	11,1	84,14	8,5	28,3	7,5	89,29
	2 jam	8,5	28,2	12,6	82,00	8,5	28,2	5,7	91,86	8,5	28,2	8,1	88,43	8,5	28,2	3,9	94,43
	3 jam	8,5	28,2	10,4	85,14	8,5	28,2	3,8	94,57	8,5	28,2	5,9	91,57	8,5	28,2	1,4	98,00
0,7	Air sampel	8,5	28,9	65		8,5	28,9	65		8,5	28,9	65		8,5	28,9	65	
	1 jam	8,5	28,9	13,7	78,92	8,5	28,9	7,01	89,22	8,5	28,9	8,25	87,31	8,5	28,9	6,28	90,34
	2 jam	8,5	28,8	11,5	82,31	8,5	28,8	4,92	92,43	8,5	28,8	5,56	91,45	8,5	28,8	3,1	95,23
	3 jam	8,5	28,8	8,5	86,97	8,5	28,8	2,43	96,26	8,5	28,8	3,77	94,20	8,5	28,8	1,19	98,17

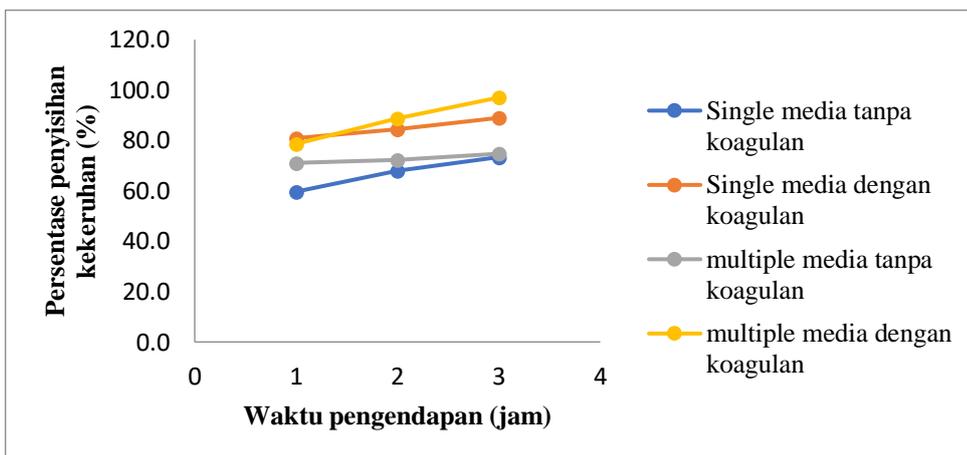
Lampiran 8 Perhitungan Efisiensi Penurunan Kekeruhan Pengulangan 3

Debit (L/menit)	Waktu Pengendapan	<i>Single</i> media tanpa koagulan				<i>Single</i> media dengan koagulan				<i>Multiple</i> media tanpa koagulan				<i>Multiple</i> media dengan koagulan			
		pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan	pH	Suhu	Kekeruhan	Efisiensi penyisihan
0,5	Air sampel	8,4	28,7	74,0		8,4	28,7	74,0		8,4	28,7	74		8,4	28,7	74,0	
	1 jam	8,4	28,7	24,6	66,76	8,4	28,7	14,2	80,81	8,4	28,7	15,6	78,92	8,4	28,7	10,6	85,68
	2 jam	8,4	28,6	22	70,27	8,4	28,6	10,6	85,68	8,4	28,6	11,2	84,86	8,4	28,6	4,3	94,19
	3 jam	8,4	28,6	18,6	74,86	8,4	28,6	7,4	90,00	8,4	28,6	8,1	89,05	8,4	28,6	1,9	97,43
0,6	Air sampel	8,5	28,4	68,0		8,5	28,4	68,0		8,5	28,4	68		8,5	28,4	68,0	
	1 jam	8,5	28,4	14,3	78,97	8,5	28,4	9	86,76	8,5	28,4	10,1	85,15	8,5	28,4	6,4	90,59
	2 jam	8,5	28,3	12,2	82,06	8,5	28,3	5,1	92,50	8,5	28,3	7,2	89,41	8,5	28,3	3	95,59
	3 jam	8,5	28,3	10	85,29	8,5	28,3	2,6	96,18	8,5	28,3	5,2	92,35	8,5	28,3	1,2	98,24
0,7	Air sampel	8,4	29,9	64		8,4	29,9	64		8,4	29,9	64		8,4	29,9	64	
	1 jam	8,4	29,9	13,2	79,38	8,4	29,9	6,2	90,31	8,4	29,9	8,2	87,94	8,4	29,9	5,1	92,50
	2 jam	8,4	29,8	11	82,81	8,4	29,8	4,5	92,97	8,4	29,8	5,5	91,91	8,4	29,8	2,2	96,76
	3 jam	8,4	29,8	8,3	87,03	8,4	29,8	2,2	96,56	8,4	29,8	3,5	94,85	8,4	29,8	1,11	98,37

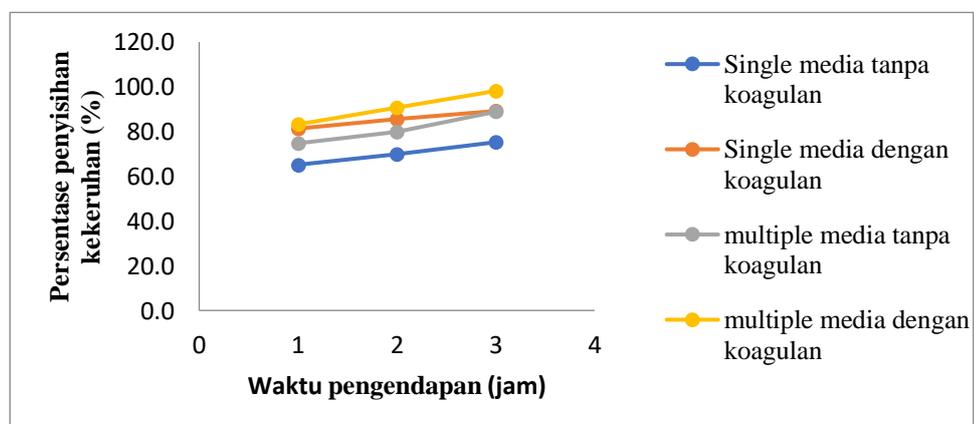
Lampiran 9 Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Pengulangan 1



Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,5 L/menit

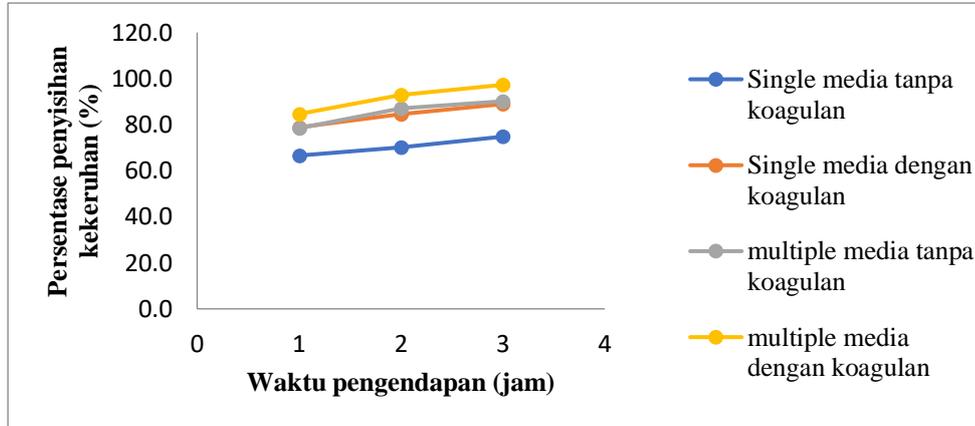


Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,6 L/menit

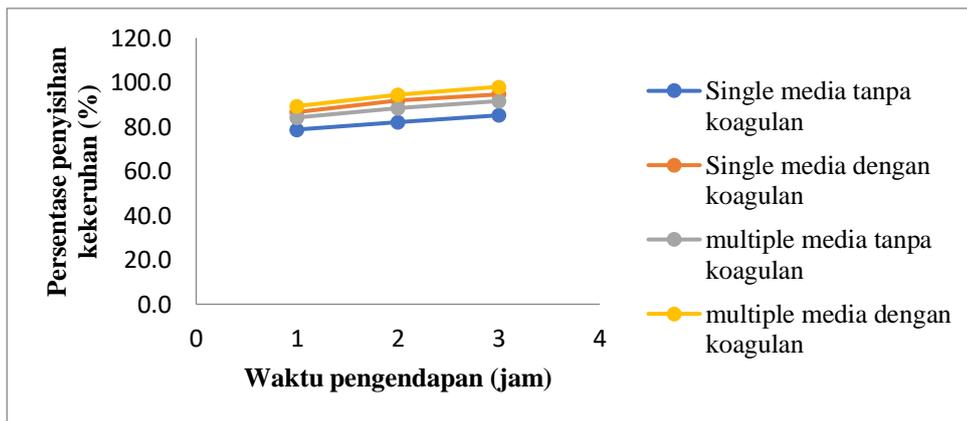


Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,7 L/menit

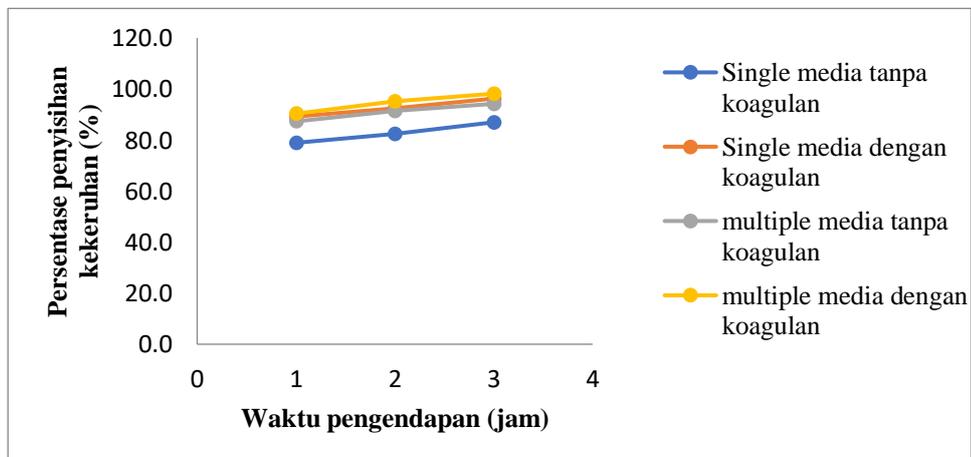
Lampiran 10 Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Pengulangan 2



Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,5

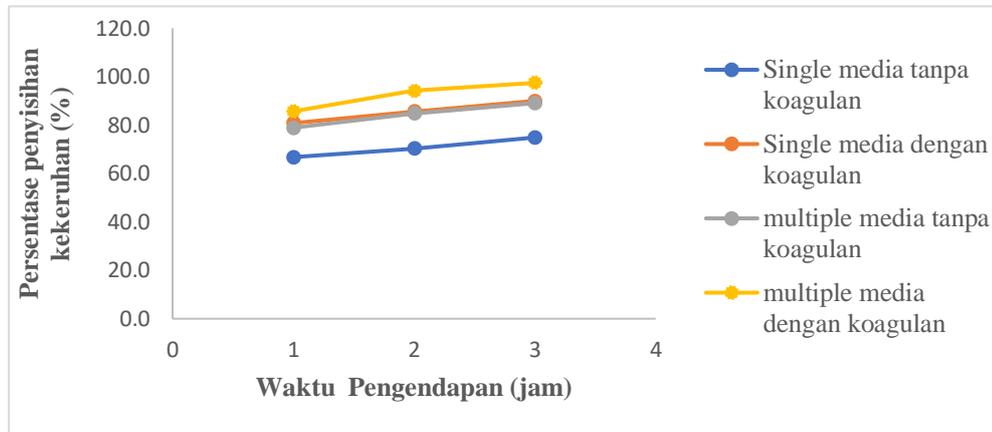


Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,6

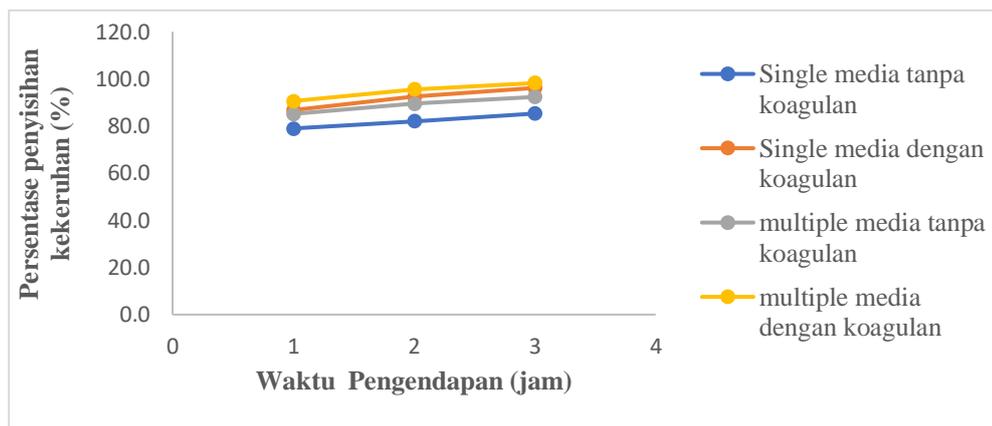


Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,7

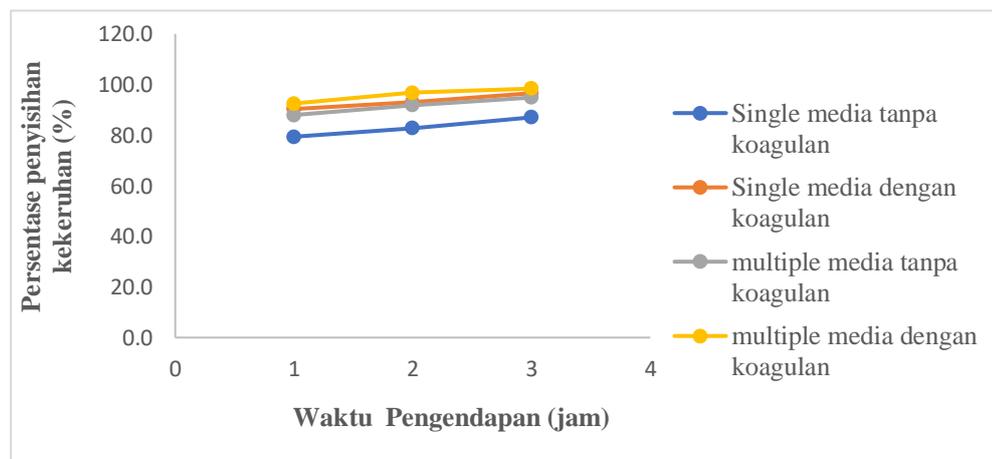
Lampiran 11 Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Pengulangan 3



Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,5 L/menit



Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,6 L/menit



Grafik Efisiensi Penyisihan Kekeruhan pada Debit 0,7 L/menit

Lampiran 12 Hasil Analisis Menggunakan Anova dan dilanjutkan dengan Uji Tukey

The screenshot displays a web browser window with a Posit Cloud workspace. The browser address bar shows `posit.cloud/content/5231688`. The workspace title is "Your Workspace / Analisis Stastik-Uji Anova-Uji lanjutan Uji Tukey". The R Studio interface is visible, showing the following output in the console:

```

R 4.2.2 . /cloud/project/
          Df Sum Sq Mean Sq F value    Pr(>F)
Media      3 1501.9   500.6   16.64 1.08e-06 ***
Residuals 32  962.7    30.1

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

> TukeyHSD(aov(Efisiensi~as.factor(Media)))
  Tukey multiple comparisons of means
    95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = Efisiensi ~ as.factor(Media))

$`as.factor(Media)`
              diff             lwr             upr             p adj
multiple media tanpa koagulan-multiple media dengan koagulan -8.849926 -15.855387
single media dengan koagulan-multiple media dengan koagulan -4.303454 -11.308915
single media tanpa koagulan-multiple media dengan koagulan -17.433675 -24.439135
single media dengan koagulan-multiple media tanpa koagulan  4.546472  -2.458989
single media tanpa koagulan-multiple media tanpa koagulan -8.583749 -15.589210
single media tanpa koagulan-single media dengan koagulan -13.130220 -20.135681

              diff             lwr             upr             p adj
multiple media tanpa koagulan-multiple media dengan koagulan -1.844465  0.0088440
single media dengan koagulan-multiple media dengan koagulan  2.702006  0.3586220
single media tanpa koagulan-multiple media dengan koagulan -10.428214  0.0000008
single media dengan koagulan-multiple media tanpa koagulan  11.551932  0.3115699
single media tanpa koagulan-multiple media tanpa koagulan -1.578288  0.0115119
single media tanpa koagulan-single media dengan koagulan -6.124759  0.0000898

Session restored from your saved work on 2023-Jan-24 08:56:53 UTC (2 days ago)
>

```

The Environment pane on the right shows the following data objects:

Data	Description
p2	List of 9
Penurunan	36 obs. of 7 variables
summary.data	4 obs. of 8 variables

The Files pane shows the following files in the `project` directory:

Name	Size	Modified
..		
Rhistory	0 B	Jan 17, 2023, 1:31 AM
Penurunan.xlsx	97 KB	Jan 17, 2023, 1:33 AM
project.Rproj	205 B	Jan 27, 2023, 3:17 PM