

PENGARUH WAKTU FLOKULASI PADA PROSES KOAGULASI FLOKULASI DENGAN BIOKOAGULAN KELOR UNTUK MENYISIHKAN KADAR BESI AIR SUMUR

DEWI FITRIA^{1*}, PUTI SRI KOMALA², DURA VENDELA³

1. Dosen Prodi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Riau, Kampus Binawidya, Pekanbaru, Riau
2. Dosen Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Kampus UNAND Limau Manis, Padang, Sumatra Barat
3. Mahasiswa Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Universitas Andalas, Kampus UNAND Limau Manis, Padang, Sumatra Barat
Email : dewifitria@lecturer.unri.ac.id

ABSTRAK

Masalah yang sering ditemui pada air sumur adalah airnya terkadang mengandung logam besi (Fe) yang tinggi. Fe yang tinggi dapat menimbulkan gangguan kesehatan, menimbulkan bau yang menyengat dan gangguan estetika akibat perubahan warna air. Dalam penelitian ini digunakan proses koagulasi flokulasi untuk menurunkan kandungan Fe di dalam air sumur dengan menggunakan biji kelor sebagai biokoagulan. Pengaruh waktu flokulasi pada penyisihan Fe juga dikaji pada variabel yang ikut mempengaruhi penyisihan Fe seperti ukuran flok, C-organik air hasil koagulasi dan kadar air dalam flok. Percobaan ini menggunakan variabel utama waktu flokulasi dengan rentang 10-30 menit dengan interval 2 menit. Waktu koagulasi yang digunakan adalah selama 1 menit dengan kecepatan 100 rpm, kecepatan flokulasi 40 rpm, waktu pengendapan 60 menit, dan dosis kelor yang digunakan 33 mg/L. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu flokulasi berpengaruh pada penyisihan Fe, ukuran flok, sisa C-organik dan kadar air dalam flok. Waktu flokulasi terbaik untuk penyisihan Fe adalah 18 menit untuk penyisihan Mn, penurunan kekeruhan, ukuran flok, sisa C-organik dan kadar air dalam flok. Kesamaan waktu flokulasi terbaik pada semua variabel penelitian ini semakin menunjukkan bahwa waktu flokulasi adalah hal yang penting dalam proses koagulasi flokulasi.

Kata kunci: waktu flokulasi, biji kelor, Fe, air sumur

ABSTRACT

Well water often contains high levels of iron (Fe). High Fe can cause health problems, odor and aesthetic problems due to changes in water color. In this study, the coagulation flocculation process was used to reduce Fe in well water using Moringa seeds as a biocoagulant. The impact of flocculation time on Fe removal also assessed other variables that determine the performance of Fe removal such as floc size, supernatant C-organic and floc water content. This experiment uses the main variable flocculation time with a range of 10-30 minutes with interval 2 minutes. The coagulation time was 1 minute with velocity of 100 rpm. Flocculation velocity was 40 rpm, settling time was 60 minutes, and the dose of Moringa used was 33 mg/L. The results showed that the flocculation time had an effect on Fe removal, floc size, residual C-organic and water content in the floc. The best flocculation time for Fe removal was 18 minutes for Mn removal, decrease in turbidity, floc size, residual C-organic and water content in the floc. The similarity of the best flocculation time on all the variables of this study shows that flocculation time is an important thing in the coagulation flocculation process.

Keywords: flocculation time, *M. oleifera*, Fe, well water

1. PENDAHULUAN

Salah satu sumber air yang umum digunakan masyarakat adalah air sumur karena kualitasnya yang cenderung lebih baik dibandingkan air permukaan seperti sungai atau danau (Setiyono, 2014). Meskipun begitu, permasalahan yang banyak ditemui pada air sumur adalah memiliki kandungan besi (Fe) yang tinggi (Sari dan Karnaningroem, 2010). Adanya kandungan Fe dalam air sumur dapat menimbulkan gangguan kesehatan, menimbulkan bau dan gangguan estetika akibat perubahan warna air. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian untuk menemukan metode pengolahan yang efektif dan ekonomis untuk menurunkan kandungan Fe air sumur. Dari penelitian sebelumnya diketahui bahwa penyisihan Fe dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti presipitasi, adsorpsi, dan koagulasi flokulasi (Hendrawati dan Nurhasni, 2013). Metode koagulasi flokulasi merupakan metode yang paling umum digunakan dalam proses pengolahan air (Hendrawati dan Nurhasni, 2013). Selain itu, metode pengolahan koagulasi flokulasi mempunyai kelebihan diantaranya lebih ekonomis, cepat, efektif dan efisien dalam menghilangkan pencemar dengan menambahkan koagulan (Kusumawardani dan Iqbal, 2013).

Koagulan yang umumnya dipakai pada proses koagulasi flokulasi adalah koagulan anorganik seperti alumunium sulfat (tawas) dan besi klorida ($FeCl_3$) (Lubis dkk., 2019). Namun, beberapa studi melaporkan bahwa penggunaan koagulan anorganik berbahan logam dapat menimbulkan gangguan kesehatan seperti *Alzheimer* (Campbell, 2002). Alternatif pemanfaatan koagulan organik yang ramah lingkungan telah dikembangkan diantaranya tanaman biji kelor (*Moringa oleifera*) (Tat dkk., 2010). Biji kelor adalah tanaman yang mudah ditemukan di Indonesia, relatif murah, dan aman bagi kesehatan karena mampu menyisihkan pencemar. Beberapa penelitian yang telah menggunakan kelor sebagai koagulan menemukan bahwa kelor bisa menyisihkan kekeruhan, TSS dan COD dengan baik (Ramadhani dkk., 2013; Rambe, 2009).

Kinerja proses koagulasi flokulasi tergantung dari beberapa faktor, salah satu diantaranya adalah waktu flokulasi (Roussy dkk., 2005; Eva dan Andri, 2009). Beberapa penelitian telah dilakukan untuk melihat pengaruh waktu flokulasi pada proses koagulasi flokulasi dengan memakai koagulan logam (Rambe, 2009; Roussy, 2005; dan Eva dan Andri, 2009). Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa waktu flokulasi mempengaruhi kinerja proses koagulasi flokulasi karena semakin lama waktu flokulasi hingga mencapai waktu flokulasi optimum penyisihan kontaminan akan semakin besar. Hal tersebut terjadi karena penggumpalan partikel-partikel terkoagulasi berukuran mikro menjadi partikel-partikel flok yang lebih besar terjadi secara sempurna. Flok-flok ini kemudian akan beragregasi/ berkumpul dengan partikel-partikel tersuspensi lainnya (Rambe, 2009). Umumnya periode flokulasi akan terjadi selama 10-30 menit setelah proses koagulasi (Roussy, 2005). Menurut Eva dan Andri (2009), waktu flokulasi yang optimum akan membuat jarak antar partikel semakin dekat untuk berkontak, tumbukan antar partikel akan lebih sering terjadi dan akan dihasilkan flok-flok dengan ukuran yang besar, padat, dan lebih banyak, sehingga proses koagulasi flokulasi menjadi lebih efektif. Melihat pentingnya pengaruh waktu flokulasi dengan menggunakan koagulan logam, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk melihat pengaruh waktu flokulasi dengan menggunakan biokoagulan kelor. Dalam penelitian ini dilihat pengaruh waktu flokulasi dengan koagulan kelor pada beberapa penurunan kadar Fe air sumur serta pengaruh waktu koagulasi pada beberapa faktor yang merupakan indikator-indikator penting dalam keberhasilan proses koagulasi seperti ukuran flok, kadar air dalam flok, dan sisa kelor pada supernatan.

2. METODE

Biokoagulan Biji Kelor

Biji kelor yang akan digunakan adalah yang tua dan berwarna coklat. Kulit biji kelor dikupas dan dihilangkan kulit arinya. Setelah itu biji kelor dihaluskan dan diayak. Setelah didapatkan

bubuk biji kelor, proses selanjutnya dilakukan pembuatan larutan biokoagulan biji kelor dengan cara penambahan 100 ml *aquadest* untuk setiap 1000 mg serbuk biji kelor. Selanjutnya dihomogenkan dengan *magnetic stirrer* selama 15 menit dan disaring dengan kertas saring. Air hasil penyaringan digunakan sebagai larutan biokoagulan biji kelor. Larutan biokoagulan dapat bertahan sampai 3 hari apabila disimpan dalam pendingin bersuhu 4°C (Yuliasri dan Hendrawati, 2010).

Uji dosis optimum biokoagulan biji kelor dilakukan dengan melihat penyisihan Fe terbesar dengan variasi dosis biokoagulan biji kelor. Penentuan rentang dosis biokoagulan biji kelor dimulai dari mencoba dengan rentang yang besar yaitu dari 0 sampai 100mg/L dengan selang 10 mg/L. Setelah didapat rentang antara 30mg/L dan 40mg/L yang memberikan penyisihan tertinggi, diperkecil rentangnya menjadi 30-40 mg/L dengan selang dosis 1 mg/L untuk mendapatkan dosis biokoagulan optimum yang tepat.

Sampel Air

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini sampel air sumur Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Andalas.

Waktu Flokulasi

Variasi waktu flokulasi yang dipakai pada penelitian ini antara 10 menit hingga 30 menit dengan rentang 2 menit. Kecepatan koagulasi adalah 100 rpm (Putra dkk., 2013; Nugroho dkk., 2014), waktu koagulasi yaitu 1 menit (Trestianingrum dkk., 2013) dan kecepatan flokulasi 40 rpm (Yuliasri dan Hendrawati, 2010; Januardi dkk., 2014). Waktu pengendapan setelah uji koagulasi flokulasi adalah 60 menit (Ramadhani dan Moesriati, 2013; Coniwati dkk., 2013). Penelitian ini dilakukan secara duplo. Alat *Jar Test* tipe *Velp Scientifica* dipakai untuk proses koagulasi flokulasi. Parameter yang diukur pada percobaan ini adalah penyisihan Fe, ukuran flok, sisa kelor pada supernatan dan kadar air dalam flok yang diendapkan terhadap variasi waktu flokulasi.

Analisis Parameter

Pengukuran Fe, ukuran flok, C-organik dan kadar air dalam flok dilakukan sesudah proses koagulasi flokulasi. Berikut adalah metode yang dipakai dalam analisis variabel-variabel tersebut:

Fe

Metode pengukuran Fe dilakukan sesuai SNI 06-6989.4-2004 dengan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)-Nyala menggunakan SSA merk *Rayleigh WVX-320*. Sebelumnya, dilakukan pembuatan larutan standar Fe untuk mendapatkan nilai absorban yang berguna pada penentuan konsentrasi Fe.

Ukuran Flok

Pengukuran ukuran flok dilakukan dengan menggunakan alat Mikroskop Optik Olympus SZX10. Metode pengukuran ukuran flok dilakukan dengan cara memisahkan flok hasil koagulasi dengan cairan supernatan. Pemisahan dilakukan dengan cara menuangkan cairan supernatan ke wadah lain sehingga hanya tersisa flok. Selanjutnya, flok dipindahkan ke cawan petri dengan sangat perlahan dan hati-hati agar flok yang terbentuk tidak pecah. Cawan petri diletakkan di meja optik, kemudian ditembakkan sinar elektron, dan diatur perbesaran mikroskop hingga muncul hasil ukuran flok berupa gambar di layar monitor.

C-organik (Sisa Kelor)

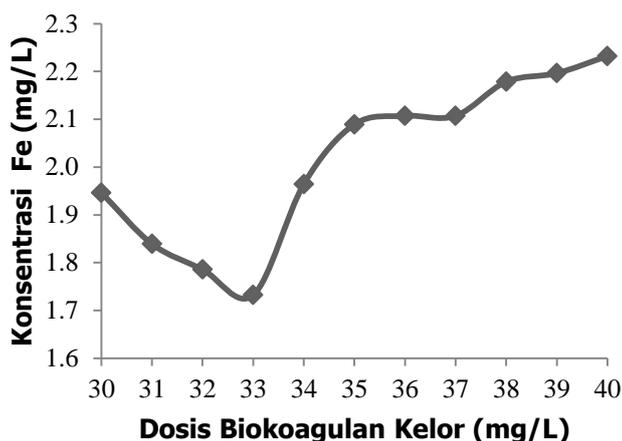
Pengukuran sisa kelor mengacu pada Rayment dan Higginson (1992) dalam *Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods*. Alat yang digunakan yaitu Spektrofotometer merk *WPA* tipe *CO 210 Digital Colorimeter*.

Kadar Air dalam Flok

Pengukuran kadar air dilakukan pada flok yang terbentuk setelah proses pengendapan. Pengukuran dilakukan menggunakan alat pemanas (oven) dengan metode gravimetri sesuai *Standar Methods for the Examination of Water and Wastewater* tentang pengukuran kadar air pada lumpur.

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Uji Penentuan Dosis Biokoagulan Biji Kelor Terhadap Penyisihan Fe



Gambar 1 Hasil Uji Dosis Biokoagulan Optimum Kelor

Dari hasil uji dosis koagulan optimum didapatkan dosis biokoagulan kelor 33 mg/L sebagai dosis yang terbaik dalam menyisihkan kandungan Fe (Gambar 1). Pada dosis biokoagulan kelor sebesar 33 mg/L, didapatkan sisa Fe yang paling rendah setelah uji koagulasi flokulasi. Dosis inilah yang selanjutnya dipakai dalam penelitian utama untuk melihat pengaruh waktu flokulasi pada penyisihan Fe dalam air sumur.

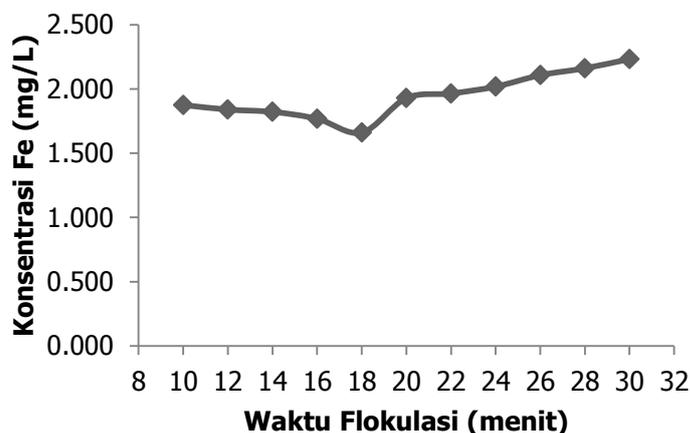
Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap Kinerja Biokoagulan Biji Kelor

1. Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap Penyisihan Fe

Pengaruh waktu flokulasi pada penyisihan Fe dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar tersebut terlihat konsentrasi sisa Fe terendah setelah proses koagulasi berada pada waktu flokulasi 18 menit yaitu sebesar 1,661 mg/L. Waktu flokulasi tersebut terbaik karena merupakan waktu yang kondusif untuk terjadinya aglomerasi antara kontaminan dengan kelor sehingga penyisihan kontaminan bisa berjalan dengan baik (Yu dkk., 2011). Waktu flokulasi terbaik tercapai karena semakin besar peluang terjadinya kontak antara kontaminan dengan koagulan yang sebelumnya belum bergabung. Saat pencapaian waktu flokulasi terbaik, kelor mampu menyediakan tempat untuk mengikat ion-ion logam seperti Fe secara maksimal dan membentuk ikatan yang stabil dengan protein kelor.

Penurunan konsentrasi logam terjadi karena biokoagulan biji kelor dalam air akan membentuk polielektrolit yang berasal dari protein biji kelor yang dapat bereaksi dengan ion logam seperti Fe (Hendrawati dan Nurhasni, 2013). Namun, saat penyisihan konsentrasi Fe telah maksimum (waktu flokulasi terbaik tercapai), penambahan waktu flokulasi tidak lagi memperbesar penyisihan karena penambahan waktu flokulasi akan menurunkan efektifitas biokoagulan kelor. Hal ini mengindikasikan bahwa pengadukan flokulasi yang berlebih menyebabkan kerusakan pada flok. Dengan demikian flok yang telah terbentuk pecah kembali dan mengakibatkan konsentrasi kontaminan kembali meningkat dari waktu flokulasi sebelumnya (Chakraborti dkk., 2003). Kerusakan flok meningkat dengan meningkatnya waktu

pengadukan. Peningkatan waktu pengadukan akan mengarah ke penurunan ukuran flok akhir. Hal ini didukung juga oleh penelitian Farooq dan Velioglu (1989), yang menyatakan bahwa sebagian protein biokoagulan biji kelor yang memiliki gugus fungsi karboksil (-COOH) dengan gugus alkil (R-) bermuatan negatif yaitu asam aspartat dan asam glutamat tidak berhasil mendestabilisasikan ligan-ligan senyawa kompleks Fe dan Mn akibat tersapu oleh gerakan fluida yang terlalu lama.



Gambar 2 Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap Sisa Fe

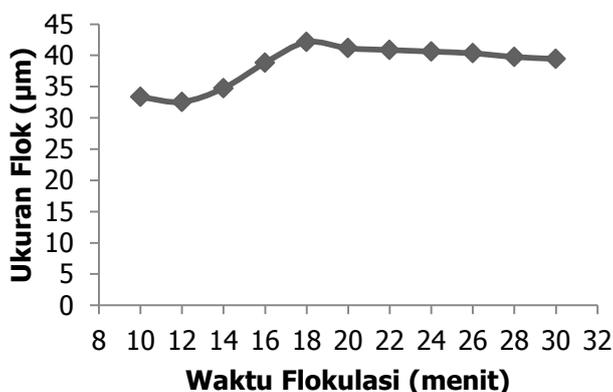
2. Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap Ukuran Flok

Ukuran flok merupakan salah satu faktor penting dalam proses koagulasi flokulasi. Pengaruh waktu flokulasi terhadap besarnya ukuran flok yang dihasil dapat dilihat pada Gambar 3 berikut. Dari Gambar 3 terlihat adanya pengaruh waktu flokulasi terhadap ukuran flok. Ukuran flok merupakan salah satu parameter yang dapat menentukan keberhasilan suatu proses koagulasi flokulasi (Sutapa, 2014). Menurut Kim dkk., 2001; Gao dkk., 2008; dan Wang dkk., 2009, mekanisme koagulasi sangat mempengaruhi ukuran flok. Semakin besar ukuran flok yang terbentuk, maka semakin baik kinerja biokoagulan dalam menyisihkan partikel koloid yang berada di dalam air.

Gambar 3 juga menunjukkan ketika waktu flokulasi 10-16 menit (sebelum mencapai waktu flokulasi optimum) proses aglomerasi flok-flok terdestabilisasi belum cukup sempurna sehingga ukuran flok yang terbentuk belum optimal. Pada waktu flokulasi awal yakni 10 menit ukuran flok yang terbentuk adalah sebesar 3333 μm , dan berkurang ketika waktu flokulasi 12 menit menjadi 3256 μm . Pada waktu flokulasi meningkat 14 hingga 18 menit (waktu flokulasi optimum) ukuran flok yang terbentuk semakin besar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran flok yang terbentuk sempurna terjadi pada waktu flokulasi 18 menit yang mana sesuai dengan waktu flokulasi terbaik untuk penyisihan Fe. Saat waktu tersebut, waktu pengadukan telah cukup untuk biokoagulan berkontak dengan koloid-koloid sehingga proses aglomerasi atau pembentukan flok yang telah terdestabilisasi terjadi secara sempurna. Hal ini sesuai dengan pernyataan Larue & Vorobiev (2003), bahwa pengadukan flokulasi digunakan sebagai tahap kedua untuk membentuk aglomerasi partikel dan dilakukan sebelum proses sedimentasi atau proses pengendapan, sehingga dengan terjadinya proses aglomerasi maka akan dihasilkan ukuran yang lebih besar dari flok. Flok yang lebih besar dan lebih padat akan mempermudah proses pengendapan. Setelah waktu flokulasi 20-30 menit, terjadi penurunan ukuran flok yang menandakan turunnya kinerja biokoagulan biji kelor yaitu $(4,115-3,944) \times 10^3 \mu\text{m}$. Menurut Yu dkk. (2011), kelebihan waktu pengadukan tidak menguntungkan bagi penyisihan kontaminan dan efisiensi biokoagulan karena meingkatkan waktu pengadukan akan mengakibatkan penurunan ukuran flok akhir.

Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian Karamah dan Lubis (2007) yang menyatakan bahwa saat ukuran flok sudah maksimum dan cukup untuk mengendap, maka penambahan waktu flokulasi tidak lagi memperbesar ukuran flok karena flok yang sudah terbentuk akan kembali pecah. Flok-flok gumpalan besar terurai kembali menjadi partikel-partikel kecil yang sulit mengendap. Hal ini menurunkan efektivitas koagulasi flokulasi terhadap pemisahan padatan. Kondisi ini diakibatkan karena apabila waktu flokulasi berlebih, kecepatan penggerusan lebih besar dibandingkan kecepatan pembentukan flok.



Gambar 3 Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap Ukuran Flok

Ukuran flok yang dihasilkan pada penelitian ini menunjukkan angka yang jauh lebih besar apabila dibandingkan dengan penelitian Yu dkk. (2011). Yu dkk. (2011) telah mengukur ukuran flok menggunakan sampel artifisial dengan konsentrasi kekeruhan 50 mg/L. Dari hasil penelitiannya, dengan waktu flokulasi 10 menit dengan kecepatan flokulasi 50 rpm serta kecepatan koagulasi 200 rpm selama 2 menit didapatkan ukuran flok sebesar 450 µm. Penelitian mengenai ukuran flok juga telah dilakukan oleh (Yan dkk., 2012) yang melihat pertumbuhan flok dengan menggunakan variasi waktu flokulasi 0-15 menit dengan kecepatan 40 rpm. Dari hasil penelitiannya didapatkan bahwa ukuran flok terbesar terbentuk saat waktu flokulasi 11 menit yaitu 410 µm dengan menggunakan koagulan $AlCl_3$.

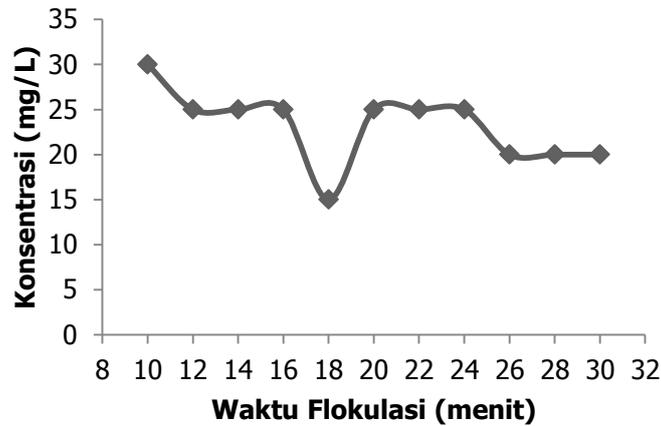
Besarnya ukuran flok yang didapat pada penelitian ini bila dibandingkan dengan penelitian-penelitian tersebut kemungkinan terjadi karena perbedaan jenis koagulan yang digunakan. Yu dkk. (2011) dan Yan dkk. (2012) menggunakan koagulan anorganik sedangkan penelitian ini menggunakan koagulan organik. Oleh karena itu, dapat disimpulkan penggunaan koagulan organik menghasilkan ukuran flok yang lebih besar dibandingkan dengan koagulan anorganik.

3. Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap C-Organik pada Supernatan

Kandungan C-organik pada supernatan memperlihatkan sisa kelor yang tidak bereaksi dengan kontaminan pencemar. Dari hasil penelitian terlihat adanya hubungan waktu flokulasi terhadap sisa kelor. Hubungan variasi waktu flokulasi terhadap sisa kelor dapat dilihat pada Gambar 4. Berdasarkan gambar tersebut terlihat sisa kelor terhadap waktu flokulasi menghasilkan grafik yang berfluktuasi.

Pada variasi waktu flokulasi 10-18 menit, sisa kelor terus mengalami penurunan. Pada waktu flokulasi 10 menit terdapat sisa kelor sebesar 30 mg/L, selanjutnya pada waktu flokulasi 12 menit, 14 menit, dan 16 menit sisa kelor turun menjadi 25 mg/L. Nilai sisa kelor semakin mengalami penurunan pada waktu flokulasi 18 menit yaitu mencapai 15 mg/L. Kondisi ini seperti yang diharapkan karena sisa kelor akan semakin kecil ketika proses koagulasi flokulasi berjalan efektif untuk penyisihan Fe. Semakin kecilnya sisa kelor pada supernatan menunjukkan bahwa semakin banyak kelor yang terpakai dan berkontak dengan kontaminan.

Dengan demikian, proses aglomerasi koloid-koloid semakin optimal dan menghasilkan flok-flok yang mudah mengendap.

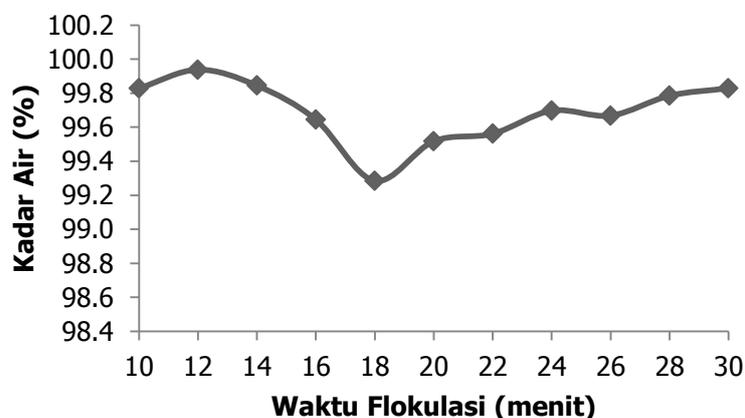


Gambar 4 Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap Sisa Kelor pada Supernatan

Selanjutnya, pada waktu flokulasi 10-16 menit (waktu flokulasi optimum belum tercapai) terdapat sisa kelor pada supernatan yang tinggi. Hal ini karena pada rentang waktu flokulasi tersebut masih belum cukup untuk kelor berkontak dengan kontaminan sehingga proses aglomerasi yang berlangsung belum optimal untuk menghasilkan flok dengan ukuran terbesar dan terpadat. Saat waktu flokulasi 20-24 menit (waktu flokulasi optimum telah tercapai) sisa kelor kembali tinggi dikarenakan waktu flokulasi berlebih dapat menghancurkan flok-flok yang telah terbentuk sehingga biokoagulan kelor kembali terurai dalam air. Hal tersebut terjadi karena penambahan waktu flokulasi lebih dari 18 menit akan menyebabkan kecepatan pemecahan flok menjadi lebih besar daripada kecepatan aglomerasi flok. Namun, saat waktu flokulasi 26-30 menit sisa kelor kembali menurun. Hal ini dapat diakibatkan karena biokoagulan kelor turut mengendap akibat proses koagulasi flokulasi yang semakin lama sehingga sisa kelor menurun.

4. Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap Kadar Air dalam Flok

Kandungan air pada flok penting untuk diketahui dan berkaitan erat dengan kinerja suatu proses koagulasi flokulasi. Semakin kecil persentase kandungan air daripada kandungan padatan di dalam flok (flok semakin padat), menunjukkan bahwa kinerja proses koagulasi flokulasi yang semakin baik. Pengaruh variasi waktu koagulasi pada kadar air dalam flok dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Pengaruh Waktu Flokulasi terhadap Kadar Air dalam Flok

Dari Gambar 5 terlihat adanya hubungan antara variasi waktu flokulasi dengan kadar air dalam flok. Pada waktu flokulasi 10 menit dan 12 menit kadar air yang terkandung pada flok sebesar 99,83% dan 99,94%, selanjutnya kadar air semakin menurun pada waktu flokulasi 14-18 menit yakni secara berturut-turut sebesar 99,84%, 99,64%, hingga 99,28%. Waktu flokulasi 18 menit ini merupakan waktu flokulasi dengan kadar air terendah yang mana hal ini juga terjadi pada penyisihan Fe. Selanjutnya, pada waktu flokulasi 20-24 menit kadar air kembali meningkat yaitu sebesar 99,52%, 99,56%, dan 99,70%. Setelah itu, kadar air dalam flok turun kembali pada waktu flokulasi 26 menit yakni sebesar 99,67%. Pada waktu flokulasi 28 menit dan 30 menit kadar air kembali naik yaitu sebesar 99,78% dan 99,83%. Tingginya persentase kadar air dalam flok tidak seperti yang diharapkan, hal ini disebabkan karena belum adanya standar yang dapat dijadikan acuan dalam pemisahan flok dan pengukuran kadar air pada flok.

Turchiulli dan Fargues (2004), menyatakan bahwa faktor yang menentukan efisiensi suatu proses koagulasi flokulasi dilihat dari struktur dan karakteristik fisik (ukuran dan padatan) flok yang terbentuk. Ukuran flok dengan kadar air terendah akan membantu mempercepat proses pengendapan flok-flok sehingga menghasilkan efisiensi proses koagulasi flokulasi tertinggi. Dari data hasil uji terlihat bahwa waktu flokulasi 18 menit merupakan waktu flokulasi optimum sehingga menghasilkan persentase dengan kadar air terendah dalam flok. Hal ini membuktikan bahwa, waktu flokulasi 18 menit merupakan waktu yang cukup untuk membentuk flok secara sempurna (kadar air terendah). Saat kondisi tersebut, dihasilkan flok yang berukuran besar dan padat sehingga air di dalam flok tersebut tertekan keluar. Terciptanya flok yang besar dan padat saat waktu flokulasi optimum dikarenakan kecepatan pembentukan flok sama besar dengan kecepatan penggerusan sedangkan saat waktu flokulasi optimum belum tercapai (10-16 menit), kecepatan pembentukan lebih besar dari kecepatan penggerusan sehingga flok yang terbentuk belum sempurna (kadar air tinggi). Selanjutnya, kondisi kadar air dalam flok saat waktu flokulasi 20-30 menit yaitu setelah waktu flokulasi optimum tercapai, flok kembali meningkat dikarenakan penggumpalan flok pecah kembali akibat berlebuhnya waktu flokulasi. Hal tersebut terjadi karena kecepatan pembentukan lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan penggerusan. Besarnya persentase kadar air dalam flok terhadap variasi waktu flokulasi air olahan dapat dijadikan tolak ukur untuk menentukan efisiensi kinerja biokoagulan biji kelor dalam proses koagulasi flokulasi.

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa waktu flokulasi memberikan pengaruh terhadap kemampuan biji kelor sebagai biokoagulan dalam proses koagulasi flokulasi, sehingga dapat disimpulkan:

1. Waktu flokulasi berpengaruh pada penyisihan Fe, ukuran flok, sisa C-organik dan kadar air dalam flok
2. Waktu flokulasi terbaik untuk penyisihan Fe adalah 18 menit. Waktu flokulasi terbaik yang sama juga terjadi pada penyisihan Mn, penurunan kekeruhan, ukuran flok, sisa C-organik dan kadar air dalam flok.
3. Kesamaan waktu flokulasi terbaik pada semua variabel penelitian ini semakin menunjukkan bahwa waktu flokulasi adalah hal yang penting dalam proses koagulasi flokulasi.

PERSANTUNAN

Ucapan terimakasih diberikan kepada semua pihak yang telah membantu terlaksananya penelitian ini dengan baik. Penelitian ini dibiayai oleh Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi DIKTI tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- Chakraborti, R.K., Gardner, K.H., Atkinson, J.F. & Van Benschoten, J.E. (2003). Changes in fractal dimension during aggregation. *Water Research*, 37, 873–883.
- Campbell, A. (2002). The Potential Role of Aluminium in Alzheimer's Disease. *Nephrol Dial transplant* (2002) 17 [Suppl 2]: 17-20
- Coniwanti, P., Mertha, I. D., & Epriane, D. (2013). Pengaruh Beberapa Jenis Koagulan terhadap Pengolahan Limbah Cair Industri Tahu dalam Tinjauannya terhadap Turbidity, TSS dan COD. Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
- Eva, F. K., & Andri, O. L. (2009). Pralakuan Koagulasi dalam Proses Pengolahan Air dengan Membran: Pengaruh Waktu Pengadukan Pelan Koagulan Alumunium Sulfat terhadap Kinerja Membran. Program Studi Teknik Kimia, Departemen Teknik Gas & Petrokimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok
- Farooq S, & Velioglu S.G. (1989). Physico-chemical treatment of domestic Wastewater. V: Cheremisinoff PN, Banning W, Bari A, et al. *Encyclopedia of environmental control technology*. Vol 3. Houston, Texas: Gulf Publishing Company, 1989: 29-54
- Gao B.Y., Wang, Y., Jue, Q.Y., Wei, J.C. & Li, Q. (2008). The Size and Coagulation Behaviour of a Novel Composite Inorganic-Organic Coagulant. *Separation and Purification Technology*, 62, 544 – 55
- Hendrawati, D. S., & Nurhasni. (2013). Penggunaan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica* L.) dan Biji Kecipir (*Psophocarpus tetragonolobus* L.) sebagai Koagulan Alami Dalam Perbaikan Kualitas Air Tanah. Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung. Lampung. Jakarta: Program studi Kimia Fakultas Sais dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah
- Januardi, R., Setyawati T. R., & Mukarlina. (2014). Pengolahan Limbah Cair Tahu Menggunakan Kombinasi Serbuk Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) dan Asam Jawa (*Tamarindus Indica*). Program Studi Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura
- Kim, H.C., Kim, J.H. & Lee, S. (2006). Fouling of microfiltration membranes by natural organic matter after coagulation treatment: A comparison of different initial mixing conditions. *Journal of Membrane Science*, 283, 266-272
- Kusumawardhani, D. & Iqbal, R. (2013). Evaluasi Performance Pengadukan Hidrolis sebagai Koagulator dan Flokulator berdasarkan Hasil Jar Test. Institut Teknologi Bandung
- Larue, O. & Vorobiev, E. (2003). Flocs Size Estimation In Iron Induced Electrocoagulation And Coagulation Using Sedimentation Data. *International Journal of Mineral Processing*, 71, 1 – 15
- Lubis, M., Fujianti, D., Zahara, R., & Darmadi, D. (2019). The Optimization of the Electrocoagulation of Palm Oil Mill Effluent with a Box-Behnken Design. *International Journal of Technology*. Volume 10(1), pp. 137-146
- Nugroho, B. A., Miswadi, S. S., & Santosa, N. B. (2014). Penggunaan Serbuk Biji Kelor untuk Menurunkan Kadar Pb, Kekeruhan dan Intensitas Warna. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Jurusan Kimia FMIPA. Semarang: Universitas Negeri Semarang
- Putra, R., Lebu, B., Munthe, M. D. & Rambe, A. M. (2013). Pemanfaatan Biji Kelor sebagai Koagulan pada Proses Koagulasi Limbah Cair Industri Tahu dengan Menggunakan Jar Test. *Jurnal Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara* (USU) Vol. 2 No. 2. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik. Medan: USU
- Ramadhani, G. I., Sutanahaji, A. T., & Widiatmono, B R. (2013). Perbandingan Efektivitas Tepung Biji Kelor (*Moringa oleifera* Lamk), Poly Aluminium Chloride (PAC), dan Tawas sebagai

Koagulan untuk Air Jernih. Malang: Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya

Rambe, A. M. (2009). Pemanfaatan Biji kelor (*Moringa Oleifera*) sebagai Koagulan Alternatif dalam Proses Penjernihan Limbah Cair Industri Tekstil. Medan: Tesis, Pascasarjana, Universitas Sumatra Utara

Roussy. (2005). Treatment of Ink-Containing Waste Water by Coagulation/Flocculation Using Biopolymers. *Journal of Water SA*, 3, 375- 378

Setiyono, A. (2014). Studi Kadar Mangan (Mn) pada Air Sumur Gali di Desa Karangnunggal Kecamatan Karangnunggal Kabupaten Tasikmalaya. *Jurnal Kesehatan Komunitas Indonesia* Vol. 10. No. 1

Sari, W. K & Karnaningroem, N. (2010). Studi Penurunan Besi (Fe) dan Mangan (Mn) Dengan Menggunakan Cascade Aerator Dan Rapid Sand Filter Pada Air Sumur Gali. <http://digilib.its.ac.id/public/ITSUndergraduate-14052-3306100037-paperpdf.pdf>

Sutapa, I. D. A. (2014). Perbandingan Efisiensi Koagulan Poli Alumunium Klorida dan Alumunium Sulfat dalam Menurunkan Turbiditas Air Gambut dari Kabupaten Katingan Provinsi Kalimantan Tengah. Riset Geologi dan Pertambangan. *Pusat Penelitian Limnologi*. Vol 24. No. 1 Hal 13-21

Turchiulli, C. & Fargues, C. (2004). Influence of structural properties of alum and ferric flocs on sludge dewaterability. *Chemical Engineering Journal* 103, 123-131

Wang, Y., Gao, B.Y., Xu, X. M., Xu, W. Y. & Xu, G. Y. (2009). Characterization Of Floc Size, Strength And Structure In Various Aluminium Coagulants Treatment. *Journal of Colloid and Interface Science* 332, 354 – 359

Yan, W., BaoYu, G., XiuMing, X., WeiYing, X. & GuiYing, X. (2012). Characterization Of Floc Size, Strength And Structure In Various Aluminum Coagulants Treatment. Key Laboratory of Colloid and Interface Chemistry Ministry of Education Shandong University, Jinan, P.R. China

Yu, W. Z., Gegory, J., Campos, L. & Li G. (2011). The Role of Mixing Conditions on Floc Growth, Breakage and Re-growth. *Chemical Engineering Journal*. Departement of Civil, Environmental and Geomatic Engineering. London: University College London

Yuliastri, I. R & Hendrawati. (2010). Penggunaan Serbuk Biji Kelor (*Moringa Oleifera*) sebagai Koagulan dan Floakulan dalam Perbaikan Kualitas Air Limbah dan Air Tanah. Jakarta: Skripsi, Progam Studi Kimia Fakultas Sains dan Teknologi UIN. Syarif Hidayatullah