

II C

KOMBINASI $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$ DAN BENTONIT UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS FLOK DAN EFISIENSI KOAGULASI*

Penulis : Ignasius Dwi Atmana
Rachel Koamesakh

A. ABSTAK

Rendahnya kualitas flok yang terbentuk dalam proses produksi air bersih merupakan indikator di lapangan yang mengindikasikan rendahnya efisiensi koagulasi yang terjadi. Hal ini biasanya disebabkan oleh gagalnya koagulan dalam mendestabilisasi muatan partikel-partikel koloid, mekanisme koagulasi tidak berjalan dengan baik sehingga flok tidak terbentuk. Untuk memperbaiki kinerja koagulan ini, diperlukan bahan bantu yang dapat meningkatkan tumbukan antar partikel koloid dalam mekanisme koagulasi yang pada akhirnya kualitas flok menjadi lebih baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kinerja kombinasi alum sulfat dan bentonit dalam meningkatkan kualitas flok serta efisiensi koagulasi pada proses produksi air bersih. Proses koagulasi dilakukan dengan penambahan koagulan alum sulfat dan bentonit di dalam alat Jar Test. Pengamatan visual dilakukan untuk mengidentifikasi kualitas flok yang terbentuk selama proses koagulasi berlangsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tingkat kekeruhan air baku di bawah 15 NTU, penggunaan alum sulfat sebagai koagulan sampai pada konsentrasi 50 ppm menghasilkan flok yang pada umumnya sangat halus, berwarna putih, ringan, menyebar dan tidak mengendap. Pada kondisi ini nilai efisiensi koagulasinya rendah yaitu pada kisaran 51 %. Apabila bentonit ditambahkan di awal proses koagulasi, maka pada dosis 100 ppm tingkat efisiensi koagulasi dapat mencapai 80 % dengan karakteristik flok berwarna coklat, membentuk gumpalan besar, berat dan mudah mengendap.

Kata kunci : kualitas flok, efisiensi koagulasi, bentonit

B. PENDAHULUAN

Proses pengolahan air bersih dapat dimulai dari yang sederhana sampai rumit dan lengkap. Sistem pengolahan air yang digunakan tergantung pada kualitas air baku dan tingkat kemurnian air yang diinginkan. Umumnya dikenal dua cara pengolahan air yaitu pengolahan lengkap dan pengolahan sebagian. Pengolahan lengkap adalah proses pengolahan air secara lengkap baik fisik, kimia maupun bakteriologik. Cara ini biasanya dilakukan untuk air sungai yang kotor

* Makalah telah dipresentasikan dalam Seminar Nasional Teknologi Kimia V. Jakarta 2003

dan keruh. Sedangkan pada pengolahan sebagian hanya dilakukan proses kimiawi atau bakteriologi saja. Pengolahan ini biasanya dilakukan untuk mata air bersih dan air sumur yang dangkal maupun dalam. Secara umum proses pengolahan air meliputi penapisan (*screening*), pre sedimentasi, koagulasi dan flokulasi serta sedimentasi, penyaringan (*filtrasi*) dan desinfeksi.

Diantara beberapa tahap tersebut di atas, koagulasi dan flokulasi merupakan tahap kunci yang menentukan keberhasilan pengolahan air bersih secara keseluruhan. Karena pada tahap ini sebagian besar partikel-partikel koloid yang terbawa oleh air baku dapat teraglomerasi membentuk flok-flok sebelum dipisahkan dalam bak sedimentasi. Koagulasi merupakan proses kimia-fisik dari pencampuran bahan kimia koagulan ke dalam air baku kemudian dilakukan pengadukan lambat dalam bentuk larutan tercampur. Sedangkan flokulasi adalah proses penambahan flokulan pada pengadukan lambat untuk meningkatkan saling hubung partikel yang terdestabilisasi untuk meningkatkan penyatuannya.

Untuk merangsang partikel koloid bergabung membentuk gumpalan yang lebih besar diperlukan dua cara, yaitu partikel harus digoyahkan dan dipindahkan (Stum dan O'Melia dalam Benefield et al. (1982)). Menurut Benefield et al. (1982), penggoyahan partikel dapat dicapai melalui empat cara yaitu : penekanan lapisan ganda listrik dan penyerapan untuk netralisasi, kedua tahap ini dikategorikan sebagai proses koagulasi. Sedangkan dua cara lainnya yaitu penjeratan dalam endapan dan pembentukan jembatan antara partikel dikategorikan sebagai flokulasi.

Koagulasi dan flokulasi dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya pH, kadar dan susunan mineral, suhu, kecepatan dan lama pengadukan serta sifat koagulan maupun flokulan yang digunakan. Salah satu faktor penting lainnya yang sangat mempengaruhi proses koagulasi dan flokulasi yaitu tingkat kekeruhan air baku telah dilaporkan oleh Sutapa (2003 (a)). Dalam penelitian tersebut ditunjukkan adanya korelasi antara tingkat kekeruhan air baku dengan efisiensi koagulasi apabila alum sulfat digunakan sebagai koagulan. Untuk mencapai tingkat efisiensi koagulasi di atas 70 %, maka diperlukan kekeruhan minimal 15 NTU. Untuk mengatasi rendahnya efisiensi koagulasi pada zone kekeruhan di bawah 15 NTU, penulis yang sama telah melakukan kajian terhadap bentonite

sebagai alternatif bahan pembantu terhadap koagulan utama yang dipakai (Sutapa 2003 (b)). Walaupun secara kuantitatif telah dapat diketahui kadar optimum koagulan utama yang diperlukan untuk mencapai tingkat efisiensi koagulasi yang efektif, tetapi diperlukan informasi mengenai karakteristik flok yang terbentuk terutama apabila penambahan bahan pembantu koagulan diperlukan. Hal ini akan sangat membantu interpretasi secara teknis di lapangan yang memerlukan penanganan yang tepat dan cepat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat dan karakteristik flok yang diperoleh selama proses koagulasi-flokulasi dengan mengkombinasikan alum sulfat dan bentonit dalam proses produksi air bersih.

C. METODOLOGI

1. Alat dan Bahan

Peralatan utama yang digunakan pada penelitian ini adalah turbidimeter 2100, jar tes dan pH meter. Alat bantu lainnya adalah *stopwatch*, ember, piala gelas 1000 ml dan neraca analitik. Bahan utama yang digunakan adalah tawas alumunium 1%, dan bentonit. Bentonit yang dipakai berwarna abu-abu kehitaman.

2. Karakterisasi Flok

Karakterisasi flok dilakukan secara visual semikuantitatif dengan mencatat sifat-sifatnya diantaranya : ukuran, warna, waktu pengendapan selama proses koagulasi dan flokulasi berlangsung.

3. Percobaan dengan prosedur jar test

Pada tahap ini, sampel air baku pada tingkat kekeruhan yaitu 10, 20, 30, 40, dan 50 NTU diujicobakan dengan prosedur jar tes. Percobaan dilakukan dengan dua perlakuan yaitu : penambahan variasi dosis alum yaitu 0, 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm, dan penambahan variasi dosis bentonit yaitu 0, 20, 40, 60, 80, dan 100 ppm pada dosis alum tertentu. Tujuan perlakuan ini adalah mempelajari kombinasi yang optimal antara alum sulfat dan bentonit serta pengaruhnya terhadap karakteristik dan kualitas flok yang terbentuk.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Karakteristik Flok

Untuk mengetahui sifat-sifat flok yang dihasilkan selama proses koagulasi-flokulasi, telah dilakukan percobaan dengan prosedur jar tes. Air baku dengan tingkat kekeruhan berbeda ditambahkan alum sulfat pada berbagai konsentrasi. Flok yang terbentuk diamati kerakteristiknya. Tabel 1 merangkum hasil pengamatan yang diperoleh selama penelitian.

Tabel 1 menunjukkan bahwa tingkat kekeruhan air baku sangat mempengaruhi kualitas flok yang terbentuk. Dari hasil penelitian, dapat diklasifikasi menjadi 3 daerah kerja : < 10 NTU, $10 - 15$ NTU dan > 15 NTU. Apabila pada air baku dengan kekeruhan dibawah 10 NTU diaplikasikan alum dengan dosis 10 dan 20 ppm, maka flok yang terbentuk sangat halus, menyebar dan tidak mengendap. Hal ini mengindikasikan tidak efektifnya proses koagulasi yang terjadi ($14 - 28$ %). Kenaikan dosis alum diatas 30 ppm, dapat sedikit memperbaiki kualitas flok dengan sifat berwarna putih, halus, ringan dan melayang-layang dengan tingkat efisiensi pada kisaran $52 - 67$ %. Flok berwarna putih yang terbentuk tersebut adalah endapan $\text{Al}(\text{OH})_3$ yang terjadi akibat penambahan aluminium (III).

Pada kisaran kekeruhan air baku 10 s/d 15 NTU, dosis alum 10 dan 20 ppm menghasilkan flok dengan kualitas yang hampir sama apabila kekeruhan air baku di bawah 10 NTU. Tingkat efisiensi koagulasi masih rendah ($13 - 39$ %) diindikasikan dengan flok yang halus, menyebar dan tidak mengendap. Perbaikan kualitas flok mulai terjadi apabila dosis alum dinaikkan. Pada kisaran 30 s/d 50 ppm, sebagian flok putih, ringan dan melayang sedangkan sebagian mulai mengendap. Tingkat efisiensi koagulasinya dalam hal ini mengalami peningkatan menjadi 64 s/d 86 %.

Apabila tingkat kekeruhan air baku berada di atas 15 NTU, maka sifat flok berubah cukup signifikan. Pada dosis alum 10 dan 20 ppm, flok yang terbentuk mulai berwarna coklat dan agak bera sehingga cenderung mengendap. Hal ini ditunjukkan oleh nilai efisiensi koagulasi yang cukup tinggi, 39 s/d 83 %. Flok yang berat, besar, berwarna coklat dan mudah mengendap akan terbentuk cepat

apabila dosis alum dinaikkan di atas 20 ppm. Dalam kasus ini tingkat efisiensi koagulasi dapat mencapai kisaran 70 s/d 97 %.

Flok yang diharapkan pada proses pengolahan air bersih adalah flok yang berat dan mudah mengendap pada saat sedimentasi. Perbedaan bentuk flok menunjukkan destablisasi yang dialami oleh air baku dengan kekeruhan rendah dan tinggi melewati mekanisme yang berbeda. Flok yang dihasilkan melalui mekanisme adsorpsi dan netralisasi muatan berwarna coklat dengan bentuk yang lebih besar dan berat. Sedangkan flok yang dihasilkan melalui mekanisme penjeratan endapan berwarna putih dengan bentuk yang halus dan ringan (Alaerts dan Santika, 1987)

Pada air dengan kekeruhan rendah (dibawah 10 NTU), kemungkinan terjadinya tumbukan antara partikel yang telah terdestablisasi lebih kecil. Hal ini menyebabkan dosis koagulan yang diperlukan lebih besar untuk memungkinkan terjadinya mekanisme penjeratan dalam endapan, dimana partikel koloid bertindak sebagai intinya.

Tabel 1. Karakteristik flok pada berbagai tingkat kekeruhan air baku dan dosis alum

Kekeruhan air baku (NTU)	Dosis alum (ppm)	Bentuk flok	Efisiensi (%)
□10 NTU	10 dan 20 ppm	Sangat halus, menyebar dan tidak mengendap	14-28
	30, 40 dan 50 ppm	Flok putih, ringan dan melayang-layang. sebagian kecil mengendap	52-67
10 – 15 NTU	10 dan 20 ppm	Sangat halus, menyebar dan tidak mengendap	13-39
	30, 40 dan 50 ppm	Sebagian flok putih dan ringan Sebagian mudah mengendap	64 – 86
>15 NTU	10 dan 20 ppm	Flok berwarna coklat, agak berat	39-83
	30, 40 dan 50 ppm	Flok coklat, besar dan berat, mudah mengendap	70 –97

2. Pengaruh penambahan bentonit

Sebagaimana telah dilaporkan oleh Sutapa (2003(a)) pada penelitian sebelumnya, bahwa alum sulfat hanya efektif dipakai sebagai koagulan apabila tingkat kekeruhan air baku berada di atas 15 NTU. Hal ini diperkuat oleh kualitas flok yang rendah seperti telah dijelaskan pada paragraf terdahulu. Menarik untuk dicatat bahwa apakah dalam kisaran kekeruhan air baku tersebut, kualitas flok dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan bantu koagulan. Dengan kata lain, pada kombinasi yang bagaimana antara koagulan (dalam hal ini alum sulfat) dan bahan bantunya yang dipilih (bentonit) dapat menghasilkan flok dengan sifat yang hampir sama apabila alum sulfat diaplikasikan pada air baku dengan kekeruhan di atas 15NTU.

Untuk menjawab pertanyaan tersebut telah dilakukan uji coba dengan melakukan variasi dosis bentonit pada dosis alum yang sama. Seperti telah diketahui bahwa dosis alum optimal yang diperlukan untuk terjadinya destabilisasi partikel koloid adalah pada kisaran 30 ppm, penambahan bentonit pada dosis alum yang tidak mencukupi tidak mempengaruhi terjadinya koagulasi. Maka pada dosis ini diaplikasikan berbagai konsentrasi bentonit untuk melihat perubahan kualitas flok yang terbentuk.

Tabel 2 merangkum hasil pengkajian dengan penambahan bentonit. Secara umum penambahan bentonit pada dosis 20 s/d 80 ppm tidak meningkatkan kualitas flok yang terbentuk. Hal ini terlihat dari sifat flok yang ringan, berwarna putih, melayang-layang dan agak sulit mengendap. Nilai rata-rata tingkat efisiensi koagulasi berkisar pada angka 50 %. Perubahan sangat signifikan baru terjadi apabila dosis bentonit yang diaplikasikan adalah 100 ppm. Pada kondisi ini flok yang terbentuk berwarna coklat, membentuk gumpalan yang besar, berat dan mudah mengendap dengan tingkat efisiensi koagulasi pada kisaran 80 %. Waktu sedimentasi yang diperlukanpun menjadi tereduksi dari 5 menit menjadi sekitar 1 menit. Hasil ini mengindikasikan bahwa untuk meningkatkan kualitas flok, diperlukan konsentrasi bahan bantu koagulan minimal yang memungkinkan terjadinya proses koagulasi dan flokulasi yang memadai. Dalam hal ini bentonit sebagai bahan bantu koagulan dapat meningkatkan laju dan tingkat flokulasi

antara lain dengan cara menetralisasi muatan, adsorpsi dan pembentukan jembatan antar partikel.

Tabel 2.: Pengaruh penambahan bentonit pada kualitas flok

Kekeruhan air baku (NTU)	Dosis bentonit (ppm)	Flok	Efisiensi (%)
<10	0	Flok putih, ringan dan melayang-layang, sebagian kecil mengendap	51,9
	20		59,5
	40		42,5
	60		41,6
	80		49,2
	100	Coklat, membentuk gumpalan yang besar, berat dan mudah mengendap	80,4

Tabel 3 menunjukkan secara ringkas perbandingan hasil aplikasi alum sulfat tanpa dan dengan bentonit sebagai bahan bantu koagulan, dalam kasus air baku dengan kekeruhan rendah (<15 NTU).

Tabel 3.: Perbedaan perlakuan pada air baku dengan kekeruhan rendah

	Tanpa bentonit	Dengan bentonit
Waktu sedimentasi (mn)	5	1
Karakteristik flok	Putih, ringan dan melayang-layang (sukar mengendap)	Coklat, membentuk gumpalan yang besar, berat dan mudah mengendap
Efisiensi	<60%	>80%

3. Kajian Nilai Ekonomis Bentonit

Pada air baku dengan kekeruhan rendah (sering terjadi pada musim kemarau), peningkatan nilai efisiensi koagulasi dengan penambahan bentonit diharapkan dapat menurunkan frekuensi *backwash* filter pada tahap berikutnya. Bila frekuensi *backwash* terlalu sering, maka biaya produksi yang harus dikeluarkan untuk setiap kubik air akan lebih tinggi. Menarik untuk diketahui seberapa banyak penghematan dapat dilakukan apabila bentonit diaplikasikan bersama alum sulfat apabila tingkat kekeruhan air baku cukup rendah.

Tabel 4 menunjukkan bahwa pada musim kemarau biaya kehilangan air yang dipakai untuk proses *backwash* dapat mencapai Rp 25.920.000,- untuk instalasi pengolahan air bersih dengan kapasitas produksi 70 liter/detik. Biaya ini belum termasuk tambahan listrik dan berkurangnya produksi air bersih. Jika setiap kali *backwash* membutuhkan waktu 15 menit, maka proses juga terhenti selama 15 menit. Pada kapasitas instalasi 70 liter per detik, maka dalam 15 menit persediaan air bersih berkurang sebesar 63 m³. Bila di musim kemarau rata-rata *backwash* filter dapat mencapai 6 kali setiap harinya maka kerugian bertambah sebesar Rp 7.560.000,-. Sehingga total biaya *backwash* menjadi Rp 37.260.000,- setiap bulan di musim kemarau.

Pada musim hujan, dengan frekuensi *backwash* hanya berkisar 2 kali sehari, maka total biayanya mencapai Rp 11.556.000,-. Dengan demikian kerugian yang ditanggung PDAM pada musim kemarau mencapai Rp.25.704.000,-. Upaya penambahan bentonit diharapkan dapat menurunkan frekuensi *backwash* sehingga juga menurunkan kerugian PDAM.

Tabel 5 menunjukkan perbandingan antara biaya *backwash* tanpa penambahan bentonit dengan penambahan bentonit 100 ppm di musim kemarau.

Bila penambahan bentonit dapat menurunkan frekuensi *backwash*, maka ketersediaan air bersih dapat meningkat sehingga kerugian menjadi lebih kecil. Penghematan biaya dengan penambahan bentonit menjadi Rp 15.120.000,- atau 58,82%. Dari kajian ini, dapat disimpulkan bahwa secara ekonomis, penambahan bentonit pada musim kemarau cukup menguntungkan.

Tabel 4.: Biaya produksi pada proses *backwash* filter

Kurun waktu	Biaya produksi tambahan (Rp)			
	Musim kemarau		Musim hujan	
	Proses <i>Backwash</i>	Penghentian proses	Proses <i>Backwash</i>	Penghentian proses
Per detik	10,-	-	3	
Per <i>backwash</i>	-	63.000,-		63.000,-
Per hari	864.000,-	378.000,-	259.200,-	126.000
Per bulan	25.920.000,-	11.340.000,-	7.760.000,-	3.780.000
Total	Rp 37.260.000,-		11.556.000,-	
Kerugian	Rp 37.260.000 - Rp 11.556.000 = Rp 25.704.000,-			

Tabel 5.: Penghematan biaya *backwash* dengan penambahan bentonit 100 ppm

	Tanpa penambahan bentonit	Dengan bentonit 100 ppm	Selisih
Total biaya	Rp 25.704.000,-	Rp 18.144.000,-	Rp 7.560.000,-
Tambahan ketersediaan air	Rp 11.340.000– Rp 3.780.000		Rp 7.560.000,-
Total penghematan biaya			Rp 15.120.000,-

D. KESIMPULAN

Pada air baku dengan kekeruhan rendah, penambahan bentonit mampu menaikkan efisiensi koagulasi dan menurunkan waktu sedimentasi. Bentuk flok tanpa penambahan bentonit terlihat berbeda dengan pada penambahan bentonit. Hal ini diakibatkan terjadi perbedaan mekanisme destabilisasi oleh alum.

Peningkatan efisiensi koagulasi dengan penambahan bentonit diharapkan mampu menurunkan frekuensi *backwash* sehingga menurunkan biaya produksi di musim kemarau sebesar Rp 15.120.000,- atau 58,82%.

E. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada PDAM Kabupaten Bogor yang telah memberikan fasilitas selama penelitian berlangsung.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G.A. dan S.S. Santika, (1987), "*Metoda Penelitian Air*." Penerbit Usaha Nasional. Surabaya
- Benfield, L.D *et al.*, (1982), "*Process Chemistry for water and water treatment*." Prentice-Hall, Inc. New Jersey
- Sutapa I. (2003(a)), "Efektivitas $Al_2(SO_4)_3$ sebagai koagulan pada tahap flokulasi dalam proses produksi air bersih.", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V, Jakarta.
- Sutapa I. (2003(b)), "Efektivitas bentonit sebagai bahan bantu koagulan pada tahap flokulasi dalam kasus air baku dengan tingkat kekeruhan rendah.", Prosiding Seminar Nasional Teknologi Proses Kimia V, Jakarta.
- Tchobanoglous, G and E. Schroeder, 1985. *Water Quality*. Adison-Wesley Publishing Company

