

A. ABSTAK

$Al_2(SO_4)_3$ (alum sulfat) merupakan salah satu koagulan yang banyak dipakai dalam tahap flokulasi partikel koloid yang ada dalam air baku oleh PDAM. Walaupun dinilai cukup efektif sebagai koagulan dalam kondisi normal, namun ternyata sering menimbulkan permasalahan apabila kualitas air bakunya berubah terutama pada musim kemarau dimana tingkat kekeruhan awalnya rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektifitas alum sulfat sebagai koagulan pada berbagai tingkat kekeruhan awal dari air baku yang berasal dari air sungai. Penelitian dilakukan di Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Kabupaten Bogor dengan instalasi Kedung Halang yang memiliki kapasitas produksi 70 liter/detik. Proses koagulasi dan flokulasi dilakukan dengan penambahan koagulan alum sulfat pada dosis yang bervariasi antara 0 s/d 50 ppm dalam alat Jar Test. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alum sulfat bekerja dengan baik sebagai koagulan apabila tingkat kekeruhan awal air baku berada di atas 15 NTU. Dalam kondisi ini tingkat efisiensi (pada waktu pengedapan $t = 5$ menit dan dosis optimal 30 ppm) berkisar antara 70 s/d 90 %. Apabila tingkat kekeruhan awal kurang dari 15 NTU maka tingkat efisiensi pengendapannya bervariasi antara 37 s/d 69 %.

Kata kunci : koagulasi, air bersih, efisiensi pengendapan

B. PENDAHULUAN

Salah satu tahap penting dalam proses produksi air bersih adalah tahap flokulasi partikel koloid yang ada dalam air baku. Keberhasilan dalam tahap ini akan menentukan tingkat efisiensi dari sebuah instalasi proses produksi air bersih. Kegagalan dalam pembentukan agregat koloid menjadi flok akan mengakibatkan partikel-partikel koloid bebas menyumbat sistem filtrasi sehingga menurunkan efisiensi pada tahap penyaringan akhir.

Menurut Benefield et al. (1982), koagulasi merupakan proses dua langkah meliputi destabilisasi partikel dan transport partikel untuk menaikkan tumbukan antara partikel yang terdestabilisasi. Destabilisasi ini disebabkan oleh

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

penambahan koagulan yang tepat sedangkan kontak partikel dilakukan dengan pengadukan. Faktor penting yang mempengaruhi stabilitas koloid adalah muatan permukaan koloid tersebut. Adanya muatan ini, menyebabkan partikel-partikel tersebut akan tolak menolak sehingga mencegah terjadinya agregasi yang dapat menyebabkan pengendapan. Ada dua gaya pada sistem koloid yang menentukan kestabilan koloid tersebut. Gaya yang pertama adalah gaya tarik menarik yang dikenal dengan gaya London-van der Waals. Gaya ini cenderung menyebabkan partikel-partikel koloid berkumpul membentuk agregat dan kemudian mengendap. Gaya yang kedua adalah gaya tolak menolak yang disebabkan pertumpangtindihan lapisan ganda elektrik yang bermuatan sama (Bird, 1993).

Tujuan koagulasi adalah untuk mengubah koloid menjadi gumpalan. Selama koagulasi, ion positif ditambahkan ke dalam air untuk menurunkan muatan koloid sampai pada titik dimana koloid tidak saling tolak menolak satu sama lain (Suryadiputra, 1995). Koagulasi terjadi bila partikel-partikel koloid yang telah ternetralkan mempunyai jarak yang cukup dekat sehingga gaya van der waals (gaya tarik menarik antar partikel) dapat mengalahkan gaya gerak partikel. Pengadukan pada suspensi menyebabkan partikel saling mendekat dan bergabung membentuk flok untuk kemudian terjadi pengendapan (Surja dkk didalam Duliman , 1998). Flok yang dihasilkan melalui mekanisme ini memiliki jonjot yang lebih kecil dan padat dengan diameter ± 1 mm, berwarna abu-abu atau lebih coklat (Alaerts dan Santika, 1987)

Kualitas air baku yang masuk dalam instalasi tentu saja akan berpengaruh terhadap efisiensi terjadinya flokulasi dari partikel-partikel koloid. Hal ini bisa dipahami oleh karena sedikit banyaknya partikel pada ukuran tertentu akan mempengaruhi frekuensi tumbukannya yang memenuhi syarat dengan partikel koagulan agar. Jika tingkat kekeruhan air cukup rendah, maka kemungkinan penggumpalan sulit atau tidak dapat terjadi. Karena konsentrasi koloid dan potensial tumbukan yang rendah maka destabilisasi hanya tercapai pada konsentrasi koagulan yang tinggi melalui mekanisme penjeratan endapan. Hasilnya berupa flok yang ringan, mudah pecah dan lambat karena flok yang terbentuk umumnya Al(OH)_3 .

Rendahnya tingkat kekeruhan air baku merupakan salah satu penyebab sulitnya terjadi flokulasi dari partikel-partikel koloid dengan koagulan seperti $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (alum sulfat). Kondisi seperti ini sering dijumpai pada Perusahaan Air Minum (PAM) yang menggunakan bahan koagulan tersebut terutama pada musim kemarau dimana tingkat kekeruhan air baku rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektifitas alum sulfat sebagai bahan koagulan dalam tahap koagulasi-flokulasi pada sistem produksi air bersih. Fokus dari penelitian ini adalah sejauh mana alum sulfat dapat menjadi koagulan yang efektif apabila kualitas air bakunya bervariasi terutama tingkat kekeruhannya.

C. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan pada instalasi pengolahan air bersih milik PDAM Kabupaten Bogor Cabang VII Kedunghalang. Air baku diambil langsung dari air sungai Ciliwung melalui pemompaan menerus. Adapun tahap pengolahannya terdiri atas :

- Tahap koagulasi/flokulasi : air baku yang masuk diberikan koagulan berupa alum sulfat
- Tahap sedimentasi : pemisahan secara grafitasi antara flok-flok yang terbentuk dengan air jernihnya.
- Tahap filtrasi : proses penyaringan cepat dari air yang keluar dari tahap sebelumnya.
- Tahap akhir : penampungan air bersih dengan penambahan desinfektan berupa tawas/kapurit, sebelum didistribusikan ke pelanggan.

Fokus dari penelitian ini adalah pada tahap koagulasi flokulasi dan tahap sedimentasi.

1. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan selama penelitian ini antara lain : turbidimeter 2100, pH meter, piala gelas, alat jar tes, *stopwatch*, gelas ukur 100 mL dan 1000 mL, pipet 10 mL, ember, erlenmeyer 50 mL dan 250 mL, buret 50 mL,

Spektrofotometer DR/2000, neraca analitik, labu kocok 500 mL, Conductivity/TDS meter.

Adapun bahan-bahan pendukung penelitian adalah sebagai berikut : alum 1 %, larutan EDTA 0,01 M, Indikator EBT, larutan H_2SO_4 4 N, larutan H_2SO_4 0,02 N, larutan $KMnO_4$ 0,01 N, larutan Asam Oksalat 0,01 N, indikator sindur metil, *Ferro Zine Iron Reagent, Nitrit Ver 3 Nitrit Reagent Powder Pillows*.

2. Metoda

Penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa tahap yaitu tahap pendahuluan, tahap uji jar test dan tahap analisis kimia fisika. Tujuan tahap pendahuluan ini adalah memetakan masalah yang sering dialami di instalasi ini. Dilakukan pemeriksaan kekeruhan dan pH pada sampel air baku, air setelah sedimentasi dan air hasil filtrasi pada ke enam bak paket pengolahan selama kurang lebih satu bulan. Pengukuran kekeruhan secara intensif selama 36 jam dan 2 x 12 jam tambahan dengan interval pengambilan sampel 2 jam dilakukan pada bak paket pengolahan terpilih.

Tujuan dari tahap uji jar test adalah untuk mengkaji sejauh mana alum sulfat mampu mengkoagulasi partikel-partikel koloid dalam air baku pada tingkat kekeruhan yang berbeda (ber variasi). Pada tahap ini, dilakukan uji coba dengan alat jar tes dengan beberapa perlakuan. Adapun sampel air baku yang diuji adalah pada kekeruhan dengan kisaran 5 s/d 50 NTU, dengan penambahan alum sulfat pada beberapa konsentrasi yang berbeda (10 – 50 ppm).

Pengukuran kualitas air meliputi pH, kekeruhan, padatan total terlarut (*Total Dissolve Solid*), daya hantar elektrik, kesadahan, alkalinitas, besi, nitrit, organik cara permanganat. Analisis kualitas air dilakukan di lapangan dan laboratorium. Alat dan metoda pengukuran kualitas air disajikan pada tabel 1.

Tabel 1.: Metoda dan alat yang digunakan dalam analisis kualitas kimia dan fisika air.

No	Parameter	Metode
1	pH	pH meter
2	Kekeruhan	Turbidimetri
3	Padatan total terlarut (TDS)	TDS meter
4	Daya hantar elektik	TDS meter
5	Alkalinitas	Titrimetri
6	Kesadahan	Titrimetri
7	Karbon Organik	Titrimetri
8	Besi	Spektrofotometri
9	Nitrit	Spektrofotometri

D. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Tingkat Kekeruhan Air Baku terhadap Efisiensi

Dari data harian yang diambil selama selang waktu antara bulan Juli s/d November 2002, terlihat bahwa kualitas air baku sangat mempengaruhi tingkat efektivitas flokulasi di tangki pengendapan. Gambar 1 menunjukkan bahwa efisiensi flokulasi naik seiring dengan kenaikan tingkat kekeruhan awal dari air baku. Nilai efisiensi di atas 80 % akan diperoleh apabila tingkat kekeruhan air baku berada di atas 15 NTU. Sebagaimana diketahui bahwa selang waktu pengambilan sampel air berada pada musim kemarau, maka tidak mengherankan didapatkannya tingkat kekeruhan awal sekitar 5 NTU yang memberikan tingkat efisiensi flokulasi dibawah 20 %. Hasil ini mengindikasikan bahwa pada konsentrasi alum sulfat yang ditetapkan pada kondisi operasional harian, efisiensi instalasi ditentukan oleh kualitas air baku yang masuk terutama dari tingkat kekeruhannya. Untuk mengetahui sejauh mana kemampuan alum sulfat dapat

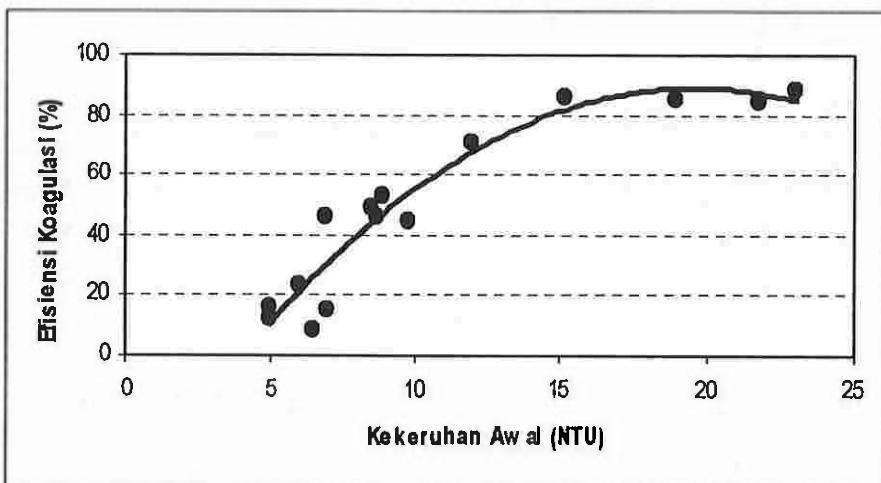
berperan sebagai koagulan, maka diperlukan kajian lebih jauh dengan alat jar test pada berbagai konsentrasinya serta pada tingkat kekeruhan air baku yang berbeda.

2 Pengaruh Konsentrasi Alum Sulfat terhadap Turbiditas

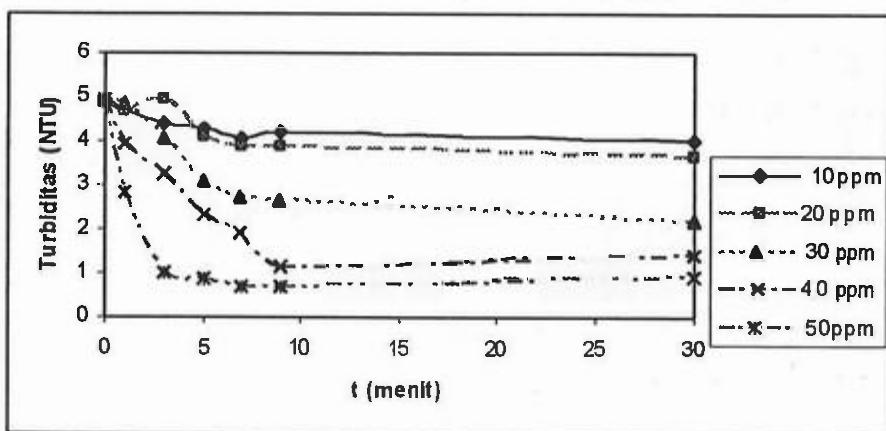
Gambar 2 s/d 4 memperlihatkan hasil studi dengan alat jar test yang telah dilakukan untuk mengetahui pola variasi penurunan turbiditas terhadap waktu pengendapan, pada 5 konsentrasi alum sulfat yang berbeda yaitu : 10, 20, 30, 40 dan 50 ppm. Dari ketiga tingkat turbiditas air baku awal yang berbeda yaitu 5 NTU (gambar 2), 15 NTU (gambar 3) dan 30 NTU (gambar 4) terdapat kecenderungan yang sama, turbiditas menurun apabila konsentrasi alum sulfat meningkat. Dari ketiga gambar terlihat bahwa diperlukan waktu sekitar 5 menit untuk mencapai nilai turbiditas yang relatif konstan. Selang waktu ini tentu saja berhubungan dengan proses kontak antara partikel-partikel yang saling berinteraksi untuk terjadinya flok yang akan mengendap. Waktu optimal pengendapan ini merupakan parameter yang penting khususnya dalam membuat perencanaan instalasi flokulasi dan sedimentasi.

Hasil penting lainnya yang perlu dicatat adalah bahwa untuk mencapai tingkat kekeruhan cukup memadai, diperlukan konsentrasi alum sulfat 30 ppm. Penambahan konsentrasi alum sulfat diatas 30 ppm tetap menurunkan turbiditas, tetapi selisihnya tidak terlalu besar khususnya apabila kekeruhan awal air baku di atas 15 NTU. Hal ini perlu diperhitungkan dalam rangka mencari tingkat efisiensi biaya operasional yang optimal.

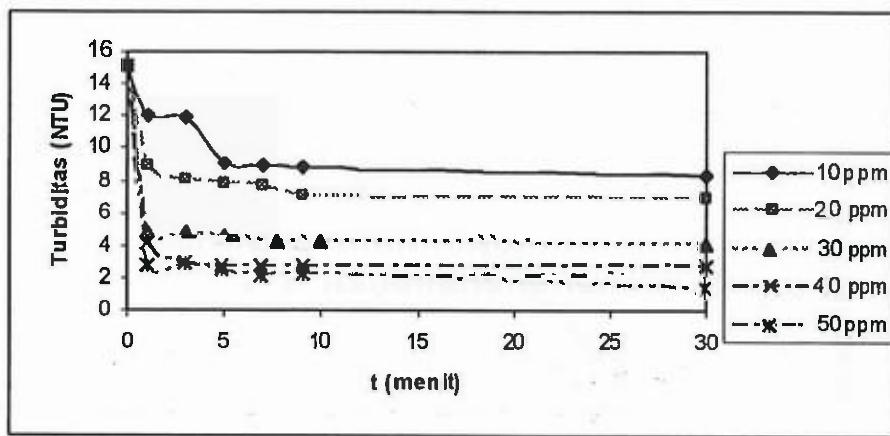
Untuk mengetahui pola variasi penurunan tingkat kekeruhan pada berbagai dosis alum sulfat yang ditambahkan, maka telah dipilih waktu optimal pengendapan 5 menit. Gambar 5 memperlihatkan pengaruh dosis alum sulfat terhadap kekeruhan pada berbagai tingkat kekeruhan awal air baku yang berbeda. Secara umum, pada dosis alum sulfat 30 ppm, tingkat kekeruhan mencapai kisaran antara 3 s/d 5 NTU. Apabila tingkat kekeruhan awal air baku sangat rendah (sekitar 5 NTU), maka penambahan alum sulfat sampai dengan 40 ppm tidak memberikan penurunan kekeruhan secara nyata. Hal ini menunjukkan bahwa koagulan $Al_2(SO_4)_3$ tidak mampu bekerja dengan baik pada kondisi tersebut.



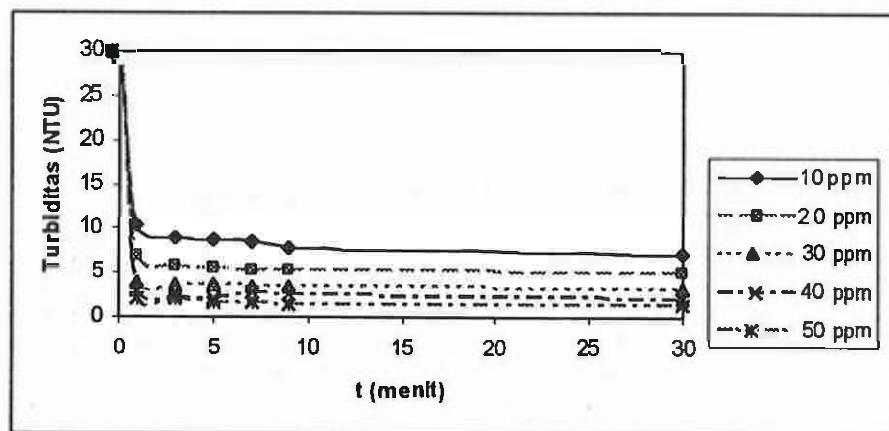
Gambar 1. Hubungan antara efisiensi koagulasi dengan kekeruhan air baku
(dari data harian periode Juli s/d November 2003)



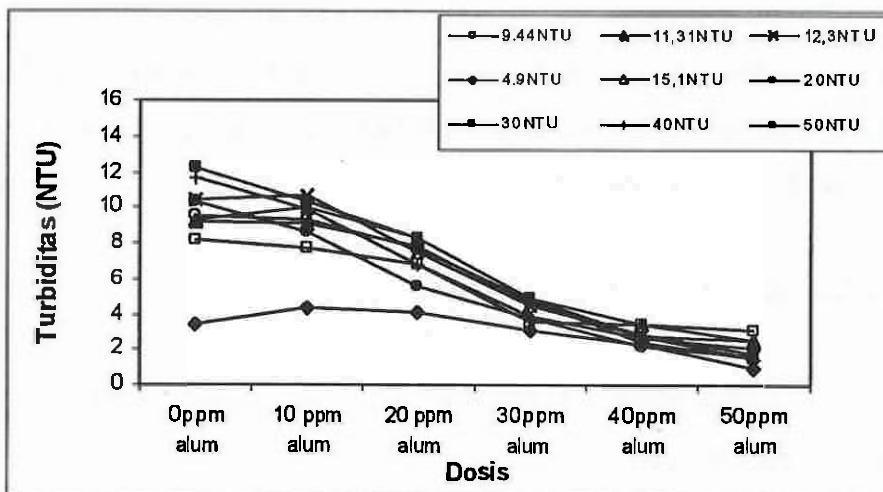
Gambar 2. Variasi turbiditas terhadap waktu pengendapan pada berbagai konsentrasi alum sulfat (Turbiditas awal air baku : 5 NTU)



Gambar 3.: Variasi turbiditas terhadap waktu pengendapan pada berbagai konsentrasi alum sulfat (Turbiditas awal air baku : 15 NTU)



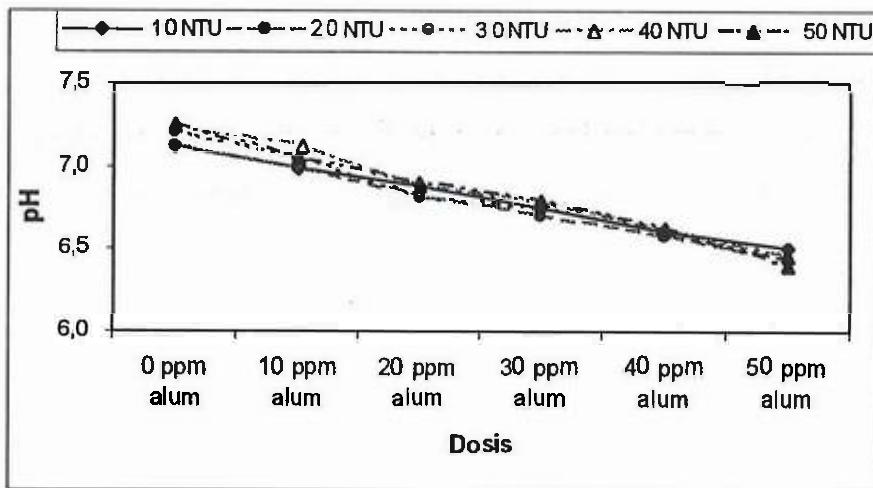
Gambar 4.: Variasi turbiditas terhadap waktu pengendapan pada berbagai konsentrasi alum sulfat (Turbiditas awal air baku : 30 NTU)



Gambar 5.: Variasi turbiditas terhadap konsentrasi alum sulfat pada t-sedimentasi = 5 menit

3. Pengaruh Konsentrasi Alum Sulfat terhadap pH

Perubahan nilai pH air selama penambahan alum sulfat ditunjukkan pada gambar 6. Terlihat dari gambar 6 bahwa nilai pH turun apabila konsentrasi alum sulfat naik. Air baku tanpa alum sulfat mempunyai nilai pH pada kisaran 7.3. Nilai ini akan turun menjadi sekitar 6.5 apabila dosis alum yang diberikan sebesar 50 ppm. Penurunan pH ini dapat dipahami oleh karena $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ bersifat asam di dalam air, dan masih dalam kisaran normal baku mutu berdasarkan Permenkes RI No 416/Menkes/PER/IX/1990, yaitu antara 6.5 s/d 8.5.



Gambar 6.: Variasi nilai pH pada berbagai konsentrasi alum sulfat

4. Efisiensi Kinerja Alum Sulfat dalam Koagulasi

Tabel 2 merangkum hasil perhitungan tingkat efisiensi koagulasi pada berbagai konsentrasi alum sulfat dengan berbagai tingkat kekeruhan awal air baku. Formula yang digunakan untuk menentukan nilai efisiensi tersebut adalah :

$$\text{Efisiensi} = (Tb_0 - Tb_1)/Tb_0 \times 100 \% \quad (1)$$

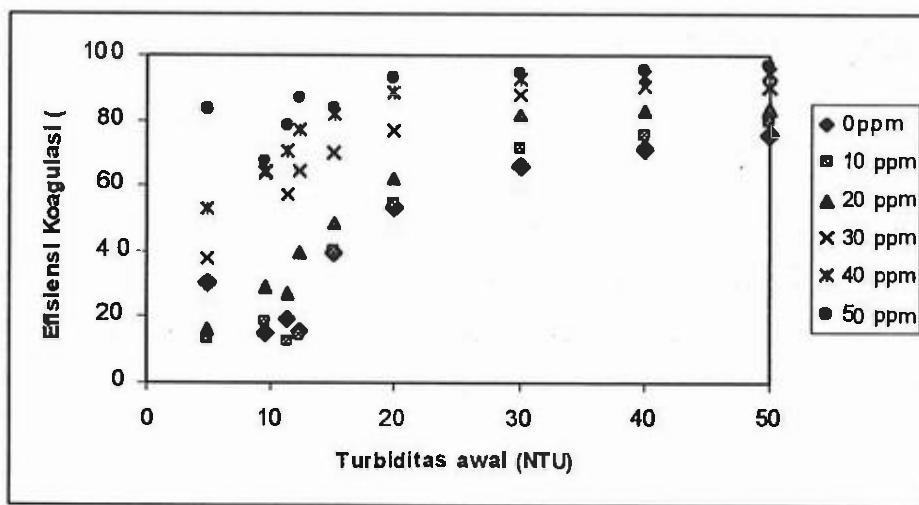
Dengan Tb_0 adalah tingkat kekeruhan awal, sedangkan Tb_1 adalah tingkat kekeruhan pada $t=5$ menit.

Dari tabel 2 dapat dilihat bahwa efisiensi terendah (12.3 %) tercatat pada tingkat kekeruhan awal 11.3 NTU dan dosis alum sulfat 10 ppm. Sedangkan efisiensi tertinggi (94.9 %) terjadi pada dosis alum 50 ppm dan kekeruhan awal 40 NTU. Kondisi optimal dapat dicapai, dengan efisiensi sekitar 70 %, apabila dosis alum 30 ppm dengan tingkat kekeruhan awal air baku pada kisaran 15 NTU. Hasil ini mengindikasikan bahwa alum sulfat dapat bekerja secara efektif apabila tingkat kekeruhan awal dari air baku berada di atas 15 NTU dengan dosis alum sekitar 30 ppm. Disamping itu, walaupun penambahan dosis alum di atas 30 ppm dalam meningkatkan efisiensi koagulasi namun secara ekonomis kemungkinan tidak menguntungkan.

Pola variasi tingkat efisiensi koagulasi pada peningkatan turbiditas awal air baku diperlihatkan dalam gambar 7. Pola ini mirip dengan apa yang terjadi pada instalasi pengolahan air bersih seperti yang telah dibahas sebelumnya. Daerah optimal kinerja alum sulfat dapat diperoleh dengan menarik garis horizontal untuk menentukan tingkat efisiensi di atas 70 %. Tingkat kekeruhan awal yang dibutuhkan ditentukan pada garis perpotongan dengan kurva pada dosis alum tertentu.

Tabel 2.: Efisiensi koagulasi pada berbagai konsentrasi alum sulfat.

Turbiditas awal air baku (NTU)	Efisiensi Koagulasi (%) pada t = 5 menit					
	Dosis Alum sulfat ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)					
	0 ppm	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm	50 ppm
4.9	30,0	12,7	16,1	37,1	53,1	82,7
9.4	14,6	18,4	28,9	63,6	64,6	67,4
11.3	18,7	12,3	27,0	57,3	70,6	77,9
12.3	15,4	13,8	39,4	64,6	76,7	86,3
15.1	39,5	39,9	48,5	69,9	81,9	83,4
20.0	52,5	54,0	61,8	76,4	88,3	92,9
30.0	65,7	71,4	81,5	87,6	92,9	94,7
40.0	71,0	75,5	83,1	90,4	93,4	94,9
50.0	75,6	79,6	83,5	90,2	94,7	97,1



Gambar 7.: Hubungan antara efisiensi koagulasi dengan turbiditas awal air baku pada berbagai dosis alum sulfat

E. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat efisiensi koagulasi pada instalasi PDAM Kedung Halang sangat ditentukan oleh kekeruhan awal air baku yang masuk. Pada musim kemarau khususnya efisiensi koagulasi berada dibawah 70 % oleh karena air baku yang masuk mempunyai tingkat kekeruhan di bawah 15 NTU. Hasil dilapangan ini diperkuat oleh studi yang dilakukan dengan menggunakan jar test, dimana kinerja alum sulfat hanya efektif sebagai koagulan apabila tingkat kekeruhan air baku awal minimal 15 NTU. Pada kondisi ini dosis optimal pemakaian alum adalah sebesar 30 ppm dengan waktu pengendapan 5 menit. Walaupun dapat meningkatkan efisiensi koagulasi, penambahan dosis alum di atas 30 ppm perlu mempertimbangkan aspek ekonomis disamping efek penurunan pH yang cukup besar.

F. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada PDAM Kabupaten Bogor yang telah memberikan fasilitas selama penelitian berlangsung. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Rachel Koamesakh yang telah membantu pengambilan sampel dan analisanya.

G. DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts,G.A. dan S.S.Santika, (1987)." Metoda Penelitian Air, " *Penerbit Usaha Nasional*. Surabaya
- Benefield, L.D *et al.*, (1982)." Process Chemistry for water and water treatment." *Prentice-Hall, Inc*. New Jersey
- Duliman,I., (1998)." Pemanfaatan limbah padat logam alumunium sebagai bahan baku pembuatan PAC". *Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam* Universitas Indonesia
- PDAM, (1999)." Materi Training Tehnik Pengolahan Air dan Kontrol Operasi", *Bagian Produksi. Perusahaan Daerah Air Minum* Kabupaten Bogor.
- Suryadiputra, I.N.N., (1995). "Pengolahan air limbah dengan metode kimia (Koagulasi dan Flokulasi)." Fakultas Perikanan. Institut Pertanian Bogor.