

## PENGARUH pH PADA PROSES KOAGULASI DENGAN KOAGULAN ALUMINUM SULFAT DAN FERRI KLORIDA

Rachmawati S.W., Bambang Iswanto, Winarni

Indomas Mulia, Konsultan Air Bersih dan Sanitasi, Jakarta 12430, Indonesia

E-mail: [rachma\\_wardani25@ymail.com](mailto:rachma_wardani25@ymail.com)

### Abstrak

Koagulasi terjadi karena adanya interaksi antara koagulan dengan kontaminan seperti partikel koloid. Proses koagulasi dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain pH, dosis koagulan, serta kekeruhan larutan. Dalam penelitian ini dilakukan studi untuk mengetahui pengaruh parameter pH dan dosis pada proses koagulasi dan flokulasi dengan menggunakan koagulan aluminum sulfat ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O$ ) dan ferri klorida ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ). Air baku yang digunakan adalah suspensi air baku sintetis menggunakan kaolin, dengan variasi suspensi kekeruhan tinggi (124 NTU) dan suspensi kekeruhan sedang (51 NTU). Hasil penelitian mengindikasikan bahwa pengaruh pH dan dosis pada koagulan aluminum sulfat sangat signifikan, sedangkan ferri klorida memberikan rentang pH operasi yang lebih besar dibandingkan dengan aluminum sulfat.

### Abstract

**Influence of pH in the Coagulation Process Using Aluminum Sulphate and Ferric Chloride.** Coagulation occurs by interaction of coagulant with the contaminant such as colloidal particles. Coagulation process influences by several factors i.e. pH, dosages, and turbidity. This research studies the influence of pH and dosages in the coagulation and flocculation process using aluminum sulphate ( $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O$ ) and ferric chloride ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ). Artificial suspensions using kaolin represents high turbidity suspension (124 NTU) and medium turbidity suspensions (51 NTU) are prepared in this research. Result suggests pH and dosages has significant impact for aluminum sulphate, whereas ferric chloride provides a wider range of pH than aluminum sulphate.

*Keywords : colloid, destabilization, pH, dosages, sweep flocculation.*

### 1. Pendahuluan

Keberhasilan dalam proses pengolahan air minum berkaitan erat dengan penurunan kekeruhan dan kontaminan lainnya yang terkandung dalam air baku. Koagulan, terutama alum dan garam besi, umumnya digunakan untuk menghasilkan penurunan kekeruhan. Selain itu diinginkan pula koagulan yang dapat memberikan penurunan kekeruhan secara ekstensif dengan biaya rendah.

Partikel koloid merupakan partikel diskrit yang terdapat dalam suspensi air baku, dan partikel inilah yang merupakan penyebab utama kekeruhan. Stabilitas koloid tergantung pada ukuran koloid serta muatan elektrik yang dipengaruhi oleh kandungan kimia pada koloid dan pada media dispersi (seperti kekuatan ion, pH dan kandungan organik dalam air).

Koagulasi adalah proses penambahan koagulan pada air baku yang menyebabkan terjadinya destabilisasi dari partikel koloid agar terjadi agregasi dari partikel yang telah terdestabilisasi tersebut. Dengan penambahan koagulan, kestabilan koloid dapat dihancurkan sehingga partikel koloid dapat menggumpal [1] dan membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar, sehingga dapat dihilangkan pada unit sedimentasi. Terdapat 4 mekanisme destabilisasi partikel, yaitu (i) pemampatan lapisan ganda, (ii) adsorpsi untuk netralisasi muatan, (iii) penjebakan partikel dengan koagulan, serta (iv) adsorpsi dan pembentukan jembatan antar partikel melalui penambahan polimer.

Derajat keasaman (pH) adalah salah satu faktor terpenting yang mempengaruhi proses koagulasi. Bila proses koagulasi dilakukan tidak pada rentang pH optimum, maka akan mengakibatkan gagalnya proses pembentukan flok dan rendahnya kualitas air yang

dihasilkan. Kisaran pH yang efektif untuk koagulasi dengan alum pada pH 5,5 – 8,0 [2,3,4].

Gambar 1 menunjukkan bahwa presipitat aluminium hidroksida ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) terbentuk pada dosis alum 10–100 mg/L. Gambar ini juga memperlihatkan mekanisme koagulasi yang terjadi pada kombinasi antara pH dan dosis alum. [4].

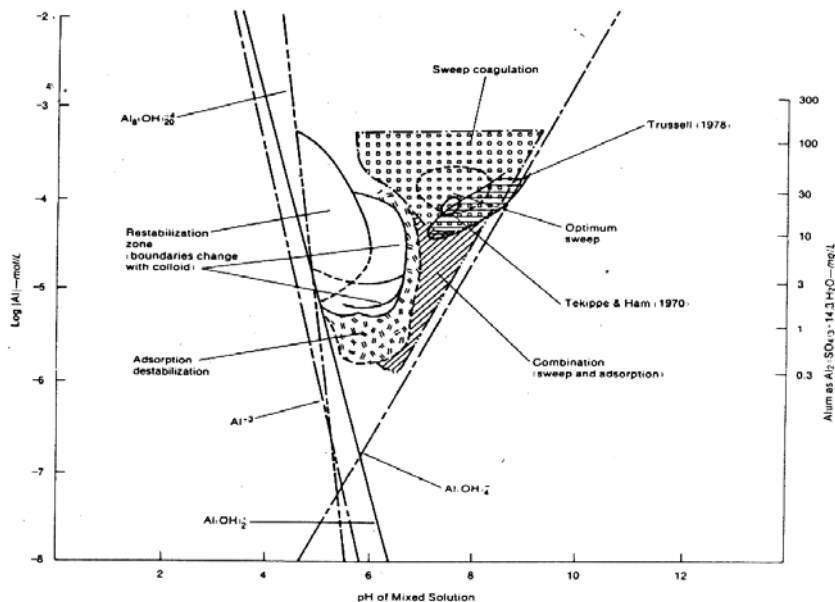
Flok yang terbentuk dari koagulan senyawa besi lebih kuat dibandingkan dengan flok yang dihasilkan dari koagulan alum.[3]. Keuntungan penggunaan ferri klorida dibandingkan dengan alum adalah karena ferri klorida bekerja pada rentang pH yang lebih luas yaitu pada pH 4 – 12.[5]. Gambar 2 menunjukkan area

terbentuknya presipitat ferri hidroksida ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) dalam pengolahan air.[6].

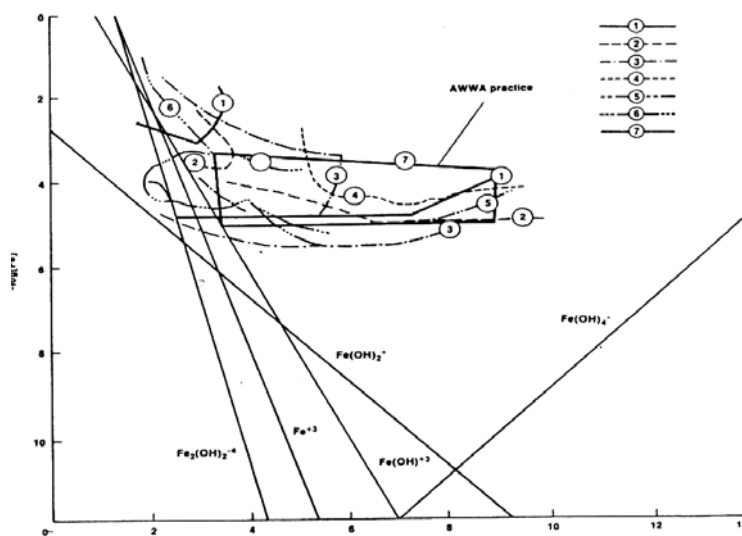
Agar proses koagulasi dapat memberikan hasil yang optimum di instalasi pengolahan air (IPA),

maka dampak penggunaan koagulan untuk suatu kualitas air

baku tertentu harus dapat diprediksi. Penelitian ini dilakukan untuk melihat pengaruh pH dan dosis terhadap proses koagulasi menggunakan koagulan *aluminum sulfat* (alum) dan *ferri klorida* pada penurunan kekeruhan pada skala laboratorium.



Gambar 1. Diagram Kelarutan Aluminium Hidroksida [4]



Gambar 2. Diagram Kelarutan Ferri Hidroksida [6]

## 2. Metode Penelitian

Air baku yang digunakan adalah air sintetis, untuk mencegah diperolehnya nilai kekeruhan air baku alami yang bervariasi, sehingga dapat dilakukan kontrol terhadap air baku yang digunakan. Kaolin digunakan untuk membentuk kekeruhan (*suspended solid*) suspensi yang diinginkan sesuai dengan kondisi umum badan sungai.

Dua model suspensi air baku sintetis yang digunakan yaitu (i) air baku dengan kekeruhan  $51,5 \pm 3,2$  NTU mewakili kekeruhan sedang dengan dosis kaolin yang digunakan adalah 400 mg/L, dan (ii) air baku dengan kekeruhan  $124 \pm 22,45$  NTU (kekeruhan tinggi) dengan dosis kaolin 800 mg/L. Model suspensi disiapkan sehari sebelum percobaan, menggunakan air perpipaan (PAM Jaya). Dilakukan pengadukan selama 8 jam agar ukuran kaolin menjadi lebih kecil sehingga dapat melayang lebih lama di larutan. Kemudian dilakukan pengendapan selama 17 jam yang bertujuan untuk mengendapkan partikel yang berukuran besar agar kondisi air baku menjadi stabil dan mencapai kekeruhan yang diinginkan.

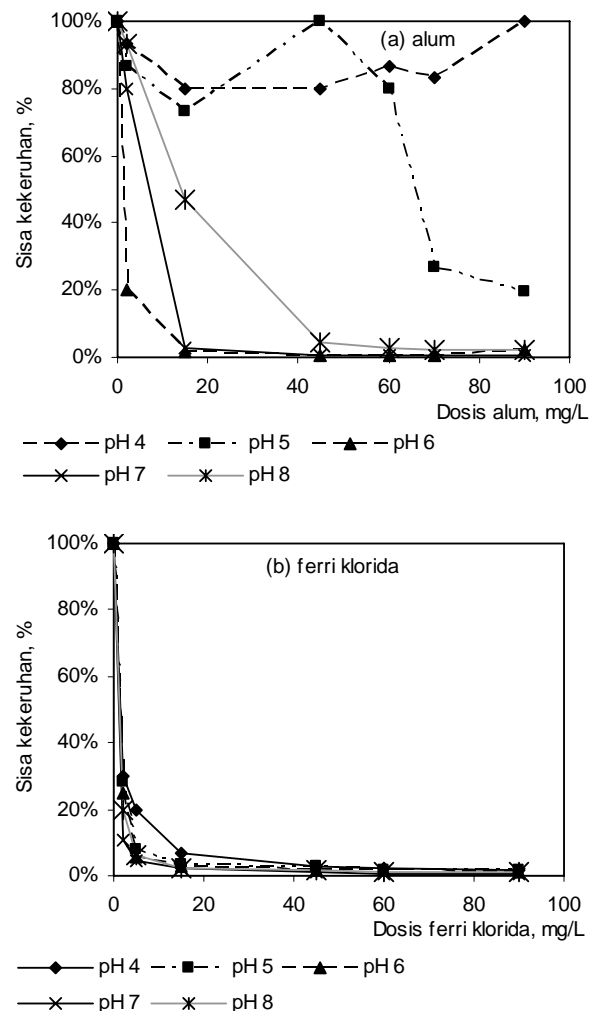
Penelitian dilakukan secara *batch* dalam skala laboratorium dengan menggunakan *jar-test*, yang merupakan simulasi operasional proses pengolahan konvensional (koagulasi, flokulasi, dan pengendapan). *Jar-test* dilakukan pada suhu kamar dalam 2 replikat untuk tiap seri *jar-test*, dimana dalam 1 seri adalah pada kondisi pH konstan dengan variasi dosis koagulan, yaitu dosis alum 2 – 90 mg/L dan dosis ferri klorida 2 – 90 mg/L. Variasi pH koagulasi (4, 5, 6, 7 dan 8) dilakukan pada seri *jar-test* yang berbeda, dan pengaturan pH dilakukan melalui penambahan HCl 1N atau NaOH 1N.

## 3. Hasil dan Pembahasan

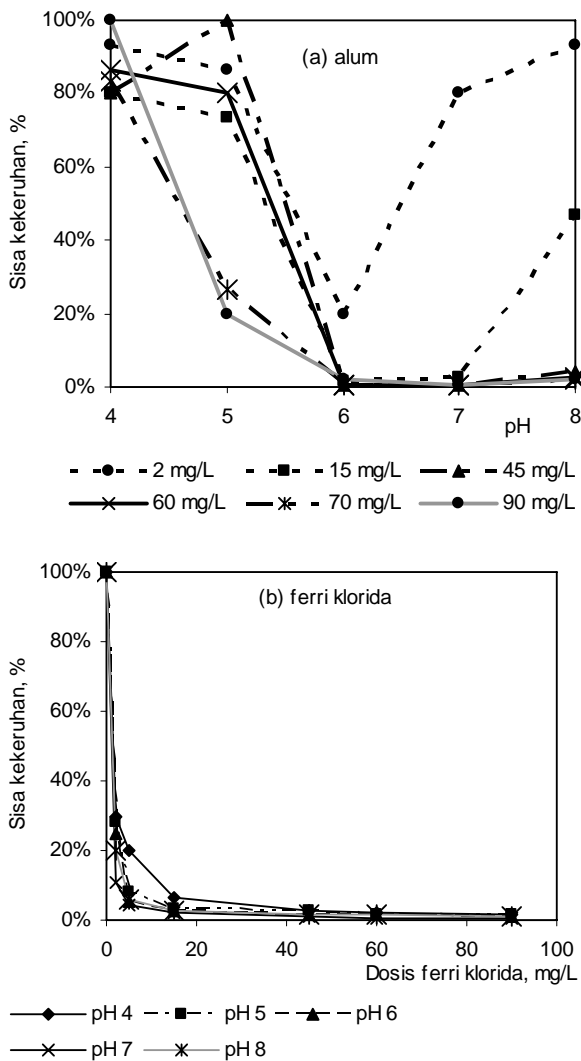
Dalam penelitian ini dilakukan 20 seri *jar-test* yang dilakukan duplo untuk tiap seri, dengan 240 pemeriksaan sample hasil proses *jar-test*. Pada Gambar 3 diberikan presentasi tipikal hasil *jar-test* pada berbagai kondisi pH untuk suspensi kekeruhan tinggi.

Berdasarkan hasil tipikal percobaan *jar-test* di atas, dapat digambarkan grafik sisa kekeruhan vs pH dengan variasi dosis koagulan, seperti ditunjukkan pada Gambar 4 untuk air baku dengan suspensi kekeruhan tinggi dan Gambar 5 untuk suspensi kekeruhan rendah. Terlihat dengan jelas bahwa penurunan kekeruhan menggunakan alum mulai terjadi pada pH 5, dan hasil terbaik terjadi pada pH sekitar 6. Sedangkan ferri klorida memberikan penurunan sisa kekeruhan pada seluruh variasi pH (4–8) dengan hasil terbaik pada rentang pH 6 - 8.

**Pengaruh pH.** Monomer dan polimer aluminium hadir pada kondisi pH yang rendah, dan keberadaan spesies ini akan menurun drastis pada pH 4,5. Pembentukan presipitat  $Al(OH)_3$  mulai terjadi pada pH sekitar 4,5 yang akan meningkat pesat sejalan kenaikan pH, dimana presipitat  $Al(OH)_3$  ini merupakan spesies yang paling dominan.[7,8]. Pada  $pH < 4,5$  dan  $pH > 8,0$  sebagian besar aluminium hadir sebagai spesies terlarut, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Sehingga dapat dijelaskan bahwa penurunan kekeruhan menggunakan alum berkaitan dengan kehadiran yang dominan dari presipitat  $Al(OH)_3$  pada rentang pH ini 4,5 – 8,0. Serta kelarutan aluminium terendah terjadi pada pH 6 menjelaskan mengapa kondisi terbaik untuk koagulasi terjadi pada pH 6.



**Gambar 3. Tipikal Hasil Jar Test pada Suspensi Kekeruhan Tinggi Menggunakan Koagulan Alum dan Ferri Klorida**



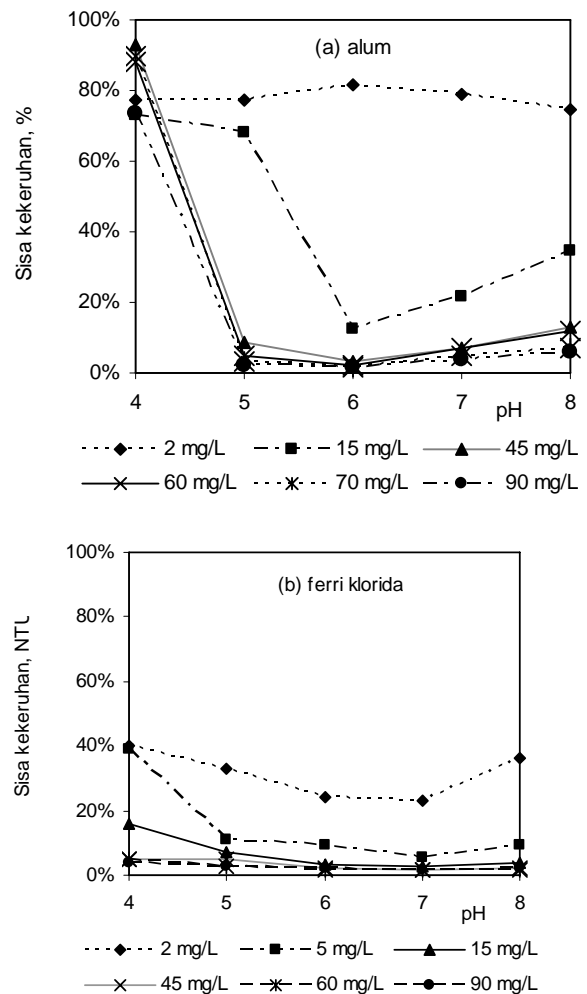
**Gambar 4. Sisa Kekeruhan pada Suspensi Kekeruhan Tinggi dengan Variasi pH dan Dosis Koagulan**

Dari Gambar 2, terkait dengan kelarutan ferri, terlihat bahwa pada pH 4 mulai terdapat kehadiran presipitat  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  serta spesies  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$  terlarut. Pembentukan presipitat  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  ini akan meningkat pesat sejalan dengan peningkatan pH. Pada  $\text{pH} < 4$ , ion Fe hadir dalam bentuk  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$  terlarut. Pada  $\text{pH} > 12$  keberadaan presipitat  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  mulai berkurang serta terlihat mulai terbentuknya spesies  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$  terlarut. Kehadiran yang dominan dari presipitat  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  pada rentang pH 4 - 12 inilah yang mendorong terjadinya koagulasi.[6]. Adapun rentang pH 6 - 8 memberikan hasil terbaik dapat dijelaskan juga pada Gambar 2, terlihat dari kelarutan terendah terdapat pada pH 7.

Lebih lanjut dapat dilakukan pengkajian dalam bentuk diagram *isoremoval (isopleth)* persentase penurunan kekeruhan. Gambar 6 menunjukkan garis *isoremoval* penurunan kekeruhan sebesar 90% pada tiap suspensi menggunakan koagulan alum dan ferri klorida. Garis ini menghubungkan titik-titik dengan penurunan

kekeruhan 90% yang merupakan hasil kombinasi dari pH dan dosis koagulan dimana pH dan dosis koagulan merupakan variabel yang independen. Metoda presentasi data ini memberikan gambaran umum yang lebih mudah dalam pengambilan keputusan mengenai kondisi yang dibutuhkan oleh IPA guna pencapaian efisiensi penurunan kekeruhan yang ditargetkan.

Dari Gambar 6 dapat dengan jelas terbaca bahwa untuk proses koagulasi dengan alum, pada pH 6 dicapai kondisi operasional optimum yang memberikan dosis koagulan minimum. Untuk koagulan ferri klorida rentang pH 5 - 8 merupakan kondisi operasional yang optimum. Implikasi dari hal ini adalah pada proses koagulasi menggunakan alum dengan pH operasional lebih besar dari 6 dan juga di bawah 6, untuk mencapai efisiensi penurunan kekeruhan yang sama (90%), dibutuhkan dosis alum yang lebih tinggi dibandingkan dosis yang dibutuhkan pada pH operasi = 6. Dan juga terlihat bahwa dosis ferri klorida yang diperlukan pada kedua suspensi akan lebih besar pada  $\text{pH} < 5$  guna pencapaian efisiensi penurunan kekeruhan yang sama.

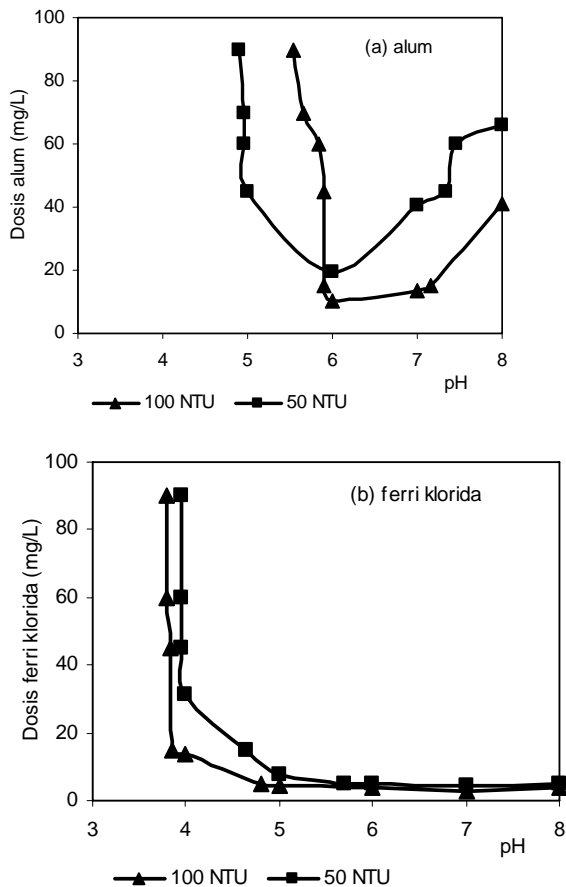


**Gambar 5. Sisa Kekeruhan pada Suspensi Kekeruhan Rendah dengan Variasi pH dan Dosis Koagulan**

**Dosis Koagulan.** Secara umum juga dapat dilihat bahwa penurunan kekeruhan berbanding lurus dengan dosis koagulan. Semakin tinggi dosis koagulan diperoleh tingkat penurunan kekeruhan yang semakin baik. Selain itu juga dapat dilihat pada Gambar 4 dan 5 bahwa kenaikan dosis koagulan dapat memperlebar rentang pH operasi dalam penurunan kekeruhan.

Sebagai contoh dapat dilihat Gambar 4(a), koagulasi dengan alum pada suspensi kekeruhan tinggi, dimana pH optimum 6 terjadi pada pembubuhan dosis koagulan 2 mg/L alum. Sedangkan dengan dosis 15 mg/L diperoleh pH optimum yang lebih lebar, yaitu antara 6 – 7. Demikian juga halnya untuk koagulan ferri klorida, peningkatan dosis koagulan tampak memperlebar rentang pH operasi, namun hal ini tidak tampak terlalu signifikan mengingat koagulan ini bekerja dengan baik pada rentang pH yang lebar..

Penambahan dosis koagulan dapat menyebabkan adanya (i) peningkatan pembentukan presipitat, yang akan diikuti dengan (ii) peningkatan frekuensi tumbukan antar partikel sehingga dapat membentuk flok yang lebih besar. Sehingga dosis yang lebih tinggi akan memperlebar rentang pH operasi.



Gambar 6. Garis Penurunan Penurunan Kekeruhan 90%

Konsentrasi koloid yang tinggi berkorelasi dengan jumlah partikel yang tinggi di larutan, sehingga dapat meningkatkan frekuensi tumbukan dari partikel yang telah terdestabilisasi. Hal ini dapat memperbaiki kinetika flokulasi pada pH operasi rendah. Dengan kata lain, jika konsentrasi partikel koloid terdispersi di larutan rendah maka kesempatan untuk terjadi tumbukan antar partikel yang telah terdestabilisasi yang akan memacu pembentukan flok sangat kecil. Karena itu dibutuhkan dosis yang tinggi guna pembentukan inti flok dan mengisi larutan dengan partikel terdispersi agar kontak antar partikel dapat terjadi. Sedangkan pada pH operasi tinggi, partikel koloid akan bertindak sebagai inti dan memicu pembentukan agregasi (*sweep flocc*).

**Kekeruhan Air Baku.** Gambar 6 menunjukkan bahwa dosis koagulan (alum dan ferri klorida) yang dibutuhkan untuk memberikan penurunan kekeruhan 90% pada suspensi air baku 100 NTU ternyata lebih rendah daripada dosis yang dibutuhkan dalam proses koagulasi suspensi kekeruhan sedang (50 NTU).

**Mekanisme Koagulasi.** Penurunan kekeruhan yang terjadi pada rentang pH optimum terutama disebabkan oleh kehadiran presipitat dominan, yaitu  $Al(OH)_3$  atau  $Fe(OH)_3$  yang mendorong bekerjanya mekanisme *sweep coagulation* atau penjebaran dalam presipitat. Mekanisme ini menghasilkan flok berukuran besar, mudah mengendap, sehingga memberikan penurunan kekeruhan dengan efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan mekanisme netralisasi muatan. Pada pH operasi yang lebih rendah, jumlah presipitat metal yang terbentuk bersaing dengan kehadiran spesies terlarut, dan dalam jumlah yang tidak sebanyak pada pH optimum (kelarutan terendah). Mekanisme yang bekerja pada keadaan ini adalah netralisasi muatan, dimana presipitat bermuatan positif akan teradsorpsi ke permukaan partikel koloid yang bermuatan negatif, dan hal ini akan menyebabkan perubahan karakteristik permukaan partikel, yang dilanjutkan dengan terjadinya mereduksi gaya tolak yang mampu memicu terjadinya koagulasi. Hal ini diperkuat oleh Dentell dan Dossett [6] yang menunjukkan bahwa netralisasi muatan pada partikel bermuatan negatif hanya terjadi setelah kelarutan  $Al(OH)_3$  dilampaui. Flok yang terbentuk dari mekanisme ini berukuran lebih kecil dan lebih halus dibandingkan dengan *sweep flocs*.

#### 4. Kesimpulan

Kondisi pH optimum pada proses koagulasi menggunakan alum adalah sekitar 6. Dan koagulan ferri klorida memberikan rentang kondisi pH optimum yang lebih lebar dibanding alum (pH 4 – 8). Hal ini berhubungan erat dengan kelarutan aluminium dan ferri.

Rentang pH operasi yang lebih lebar dengan menggunakan koagulan ferri klorida sangat menguntungkan dalam proses operasi IPA mengingat kondisi pH air baku yang bervariasi. Sehingga dengan menggunakan koagulan ferri klorida, variasi pH tersebut dapat diredam dan tidak menyebabkan kegagalan dalam unit koagulasi-flokulasi-sedimentasi.

Kenaikan dosis koagulan meningkatkan penurunan kekeruhan serta memperlebar rentang pH operasi, karena kenaikan dosis ini mengaselerasi pembentukan presipitat ( $\text{Al}(\text{OH})_3$  atau  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) dan meningkatkan frekuensi tumbukan.

Konsentrasi koloid yang tinggi akan mereduksi dosis koagulan karena partikel koloid bertindak sebagai inti yang akan memicu pembentukan *sweep floc*.

## Daftar Acuan

- [1] L.D. Benefield, Process Chemistry For Water and Waswater Treatment, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1982.
- [2] W.W.Jr. Eckenfelder, Industrial Water Pollution Control, McGraw – Hill Co., New York, 1989.
- [3] C.R. Schulz, D.A. Okun, Surface Water Treatment For Communities In Developing Countries, John Wiley & Son Inc., Canada, 1984.
- [4] A. Amirtharajah, K.M. Mills, Jour. Amer. Water Works Assoc. 74 (1982) 210
- [5] D.T. Reynolds, Unit Operations and Process In Environmental Engineering, PWS Publishing, Boston, 1982
- [6] S.K. Dentel, J.M. Gosset, Jour. Amer. Water Works Assoc. 80 (1988) 187.
- [7] T.R. Hundt, C.R. O'Melia, Jour. Amer. Water Works Assoc. 80 (1988) 176.
- [8] J.E Van Benschoten, J.K Edzwald, Water Research 24 (1990) 1519.