

MEKANISME PENURUNAN JUMLAH BAKTERI INDIKATOR DALAM PROSES KOAGULASI FLOKULASI

REMOVAL MECHANISM OF INDICATOR BACTERIAL NUMBER IN COAGULATION-FLOCCULATION PROCESS

Ignasius Dwi Atmana Sutapa, Eka Prihatinningtyas dan Irene Lorinda Indalao
Pusat Penelitian Limnologi-LIPI
Kompleks LIPI-Cibinong-BOGOR
email: IgnasiusSutapa@chemist.com dan ignasdas@yahoo.co.id

Abstrak

Aplikasi koagulan merupakan salah satu cara yang efektif dalam menurunkan jumlah bakteri indikator dalam proses pengolahan air bersih. Untuk mendapatkan kinerja koagulan yang optimal dalam sistem pengolahan air bersih, mekanisme penurunan jumlah bakteri indikator oleh koagulan perlu dipelajari. Hingga kini, belum ada penelitian yang menjelaskan bagaimana mekanisme koagulan menurunkan jumlah bakteri indikator. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari mekanisme penurunan jumlah bakteri indikator yang terjadi akibat aplikasi koagulan.

Penelitian ini dilakukan dengan menghitung jumlah bakteri indikator dalam sampel yang diambil dari Situ Cibuntu. Metode penghitungan jumlah bakteri indikator yang digunakan adalah metode membran filter. Dalam penelitian ini juga dilakukan pengukuran parameter fisik dan kimia air selama proses pengolahan seperti turbiditas, pH, dan kandungan nutrisi dalam air.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses penurunan jumlah bakteri indikator akibat aplikasi koagulan terdiri dari tiga mekanisme yang diduga terjadi bersamaan, yaitu penurunan pH, penjebakan bakteri dalam flok, dan penurunan kandungan nutrisi dalam air.

Kata kunci: mekanisme, bakteri indikator, flok, koagulan

Abstract

Coagulant application is one of effective manners to reduce indicator bacterial number in drinking water treatment process. In order to achieve optimal condition of coagulant function in such treatment, it is important to know the removal mechanism of indicator bacterial number by this coagulant. Currently, there is no research publication explaining how the coagulant could reduce the number of indicator bacterial. This research aims to carry out the removal mechanism of indicator bacterial number by coagulant application. For this work, the number of indicator bacterial was counted from a set of samples taken from Situ Cibuntu. Filter membrane method was used to enumerate the total of indicator bacterial in the samples. Other parameters measured in this experiment were turbidity, pH nutrient contents. Results of this research showed that the removal process of indicator bacterial number caused by coagulant application seemed to be three ways or mechanisms that probably worked in the same time. These three mechanisms should be related to the decrease of pH, flock trap and the decrease of nutrient contents.

Key words: mechanism, indicator bacterial, flock, coagulant

1. PENDAHULUAN

Salah satu masalah yang dihadapi dalam pengolahan air bersih adalah jumlah bakteri indikator dalam air yang menjadi indikasi adanya bakteri patogen dalam air. Bulson *et al.* (1984) maupun Chowdury *et al.* (1997) menunjukkan bahwa koagulan merupakan salah satu cara yang efektif dalam mengurangi jumlah bakteri indikator.

Walaupun begitu, belum ada penelitian yang menjelaskan tentang mekanisme penurunan jumlah bakteri indikator akibat aplikasi koagulan.

Dalam penelitian Bulson *et al.* (1984), penurunan jumlah bakteri menggunakan alum sebagai koagulan. Efisiensi penurunan jumlah tiap bakteri indikator adalah 90 % untuk *fecal coliform* dan 70% untuk *fecal streptococci*. Bulson *et al.* (1984)

mengajukan pengebakan flok sebagai penyebab utama penurunan jumlah bakteri. Karena berkaitan dengan pembentukan flok, maka untuk mendukung pendapat ini, diperlukan data yang belum disertakan dalam penelitian tersebut yaitu hubungan efisiensi koagulasi (E_{NTU}) dan efisiensi penurunan jumlah bakteri (E_N).

Penelitian lain yang juga menyinggung hubungan koagulasi dan penurunan jumlah bakteri adalah penelitian yang dilakukan Khan *et al.* (1984). Menurut penelitian ini, eksperimen *in vitro* menunjukkan bahwa aplikasi alum terhadap air danau menurunkan pH dari 7 sampai 5 menjadi 4 hingga 1. Pada pH ini, koagulan tersebut terbukti membunuh *Vibrio cholerae*, *Shigella* spp, dan *Escherichia coli*. Hasil penelitian Chowdury *et al.* (1997) mendukung penelitian Khan *et al.* (1984). Pada penelitian dengan menggunakan kultur murni, ditemukan bahwa pertumbuhan *Vibrio cholerae* terhambat akibat aplikasi 0,5 % alum dan pengamatan terhadap bakteri patogen tersebut menunjukkan bahwa *Vibrio cholerae* dalam kondisi VBNC. Walau demikian, penelitian tersebut dilakukan terbatas pada kultur murni saja. Hal ini dinilai masih belum lengkap untuk menjelaskan penurunan jumlah bakteri dalam skala instalasi mengingat kondisi instalasi bukan kultur murni.

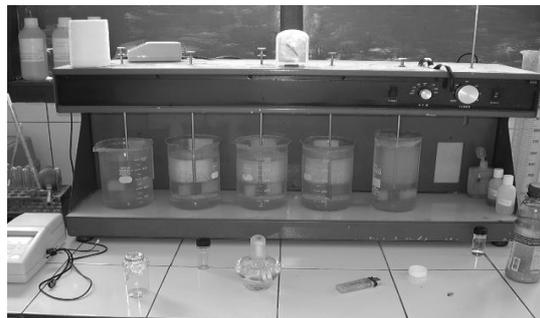
Dengan mempertimbangkan beberapa aspek dari penelitian-penelitian sebelumnya yang masih belum diselidiki, penelitian ini ditujukan untuk mempelajari mekanisme penurunan jumlah bakteri indikator yang disebabkan koagulan secara keseluruhan

2. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dalam dua skala yaitu jar test (skala lab) dan skala instalasi. Jar test dilakukan dengan langkah sebagai berikut. Koagulan (alum dan PAC, masing-masing 1 %) ditambahkan pada tiap gelas beker sesuai dengan perlakuan yang digunakan. Variasi konsentrasi koagulan yang digunakan adalah 0, 5, 10, 15, 20, 30, dan 40 ppm.

Pengadukan cepat dilakukan selama 1 menit, kemudian dilanjutkan pengadukan lambat selama 10 menit. Pengadukan dihentikan agar flok yang telah terbentuk turun ke dasar beker gelas. Air jernih di permukaan beker gelas (supernatan) diambil secara hati-hati untuk diukur turbiditasnya.

Turbiditas pada jar test diukur dengan turbidimeter. Rangkaian alat jar test dapat dilihat pada Gambar 1.

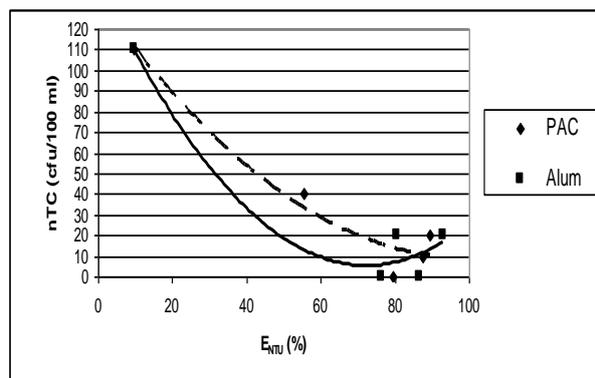


Gambar 1. Alat Jar Test

Pada skala instalasi, sampel diambil dari beberapa titik pengolahan air bersih yaitu sebelum masuk koagulator, wadah flokulator, wadah sedimentasi, dan setelah filtrasi. Pengukuran turbiditas dan pH dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel dengan menggunakan *Water Quality Checker*. Penghitungan jumlah bakteri dilakukan dengan menggunakan metode membran filter. Kelompok bakteri indikator yang dihitung meliputi *total coliform*, *fecal coliform*, dan *fecal streptococci*. Pengukuran kandungan nutrisi dalam air meliputi fosfat dan nitrat dilakukan dengan metode spektrofotometri. Kandungan *Total Organic Carbon* (TOC) dalam air diukur dengan menggunakan *TOC Analyzer*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Indikasi adanya pengebakan bakteri di dalam flok ditunjukkan oleh hubungan efisiensi koagulasi dengan jumlah bakteri indikator (Gambar 2).

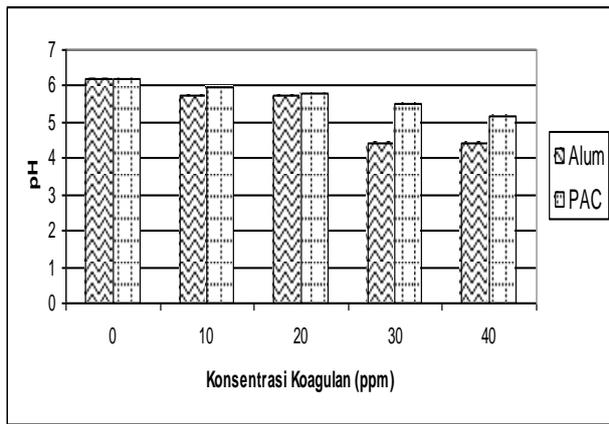


Gambar 2. Hubungan Efisiensi Koagulasi dan Total Coliform pada Jar Test

Pada proses koagulasi, flok yang terbentuk akan menarik partikel-partikel bermuatan negatif yang

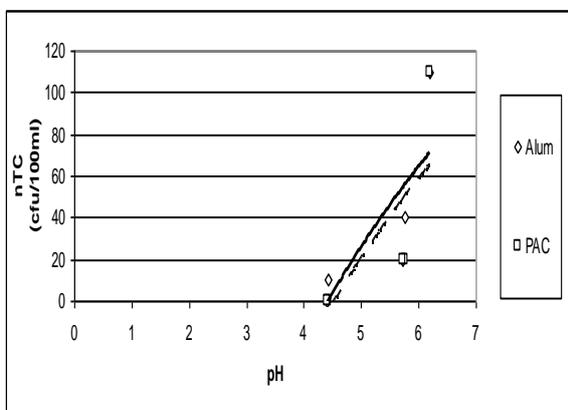
ada di sekitarnya. Membran sel bakteri dalam air bersifat negatif (Bulson *et al.* (1984)). Muatan negatif ini akan diadsorpsi oleh muatan positif milik koagulan. Akibatnya jumlah bakteri indikator dalam air akan berkurang.

Gambar 3 menunjukkan bahwa nilai pH dipengaruhi oleh konsentrasi koagulan. Kecenderungan yang diperlihatkan pada gambar 3 adalah semakin besar konsentrasi yang digunakan mengakibatkan penurunan nilai pH.



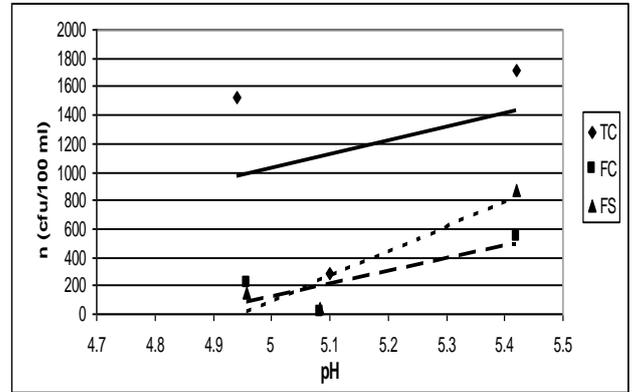
Gambar 3. Pengaruh Konsentrasi Alum dan PAC terhadap pH Air Sampel

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa penurunan *total coliform* pada skala jar test berkaitan dengan terjadinya penurunan pH akibat penambahan konsentrasi koagulan. Hal ini berlaku baik pada aplikasi alum maupun PAC. pH awal sebelum aplikasi koagulan berada pada kisaran 6.4 turun pada kisaran 4.2 setelah penambahan koagulan. Sementara itu jumlah bakteri cenderung berkurang dari kisaran 40-100 cfu/100ml menjadi pada kisaran 0-10 cfu/100ml.



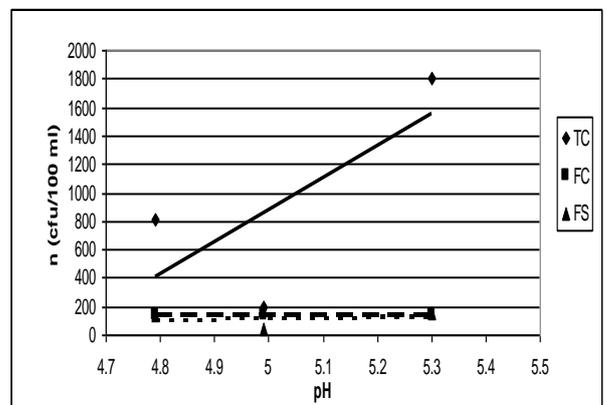
Gambar 4. Hubungan pH dengan Total Coliform

Hal ini menunjukkan bahwa adanya koagulan akan cenderung menurunkan nilai pH dalam air dan kemudian akan menurunkan jumlah bakteri indikator. Hal ini diperkuat dengan hasil yang diperoleh pada aplikasi koagulan dalam skala instalasi (Gambar 5 dan 6).



Gambar 5. Hubungan pH dengan Jumlah Bakteri Indikator Pada Skala Instalasi dengan Koagulan PAC

Rendahnya nilai pH air akibat keberadaan koagulan akan mempengaruhi daya tahan bakteri indikator karena sebagian besar bakteri tumbuh dalam lingkungan dengan pH netral. Bakteri indikator diduga mengalami status *viabile but non culturable* (VBNC), sehingga tidak terdeteksi pada saat perhitungan koloni bakteri. Dalam penelitian ini belum dilakukan pengamatan yang membuktikan secara langsung kondisi VBNC tersebut. Dugaan adanya proses inaktivasi akibat konsentrasi koagulan terhadap bakteri didasarkan atas adanya hubungan antara penurunan jumlah bakteri indikator dan penurunan nilai pH (Gambar 6).

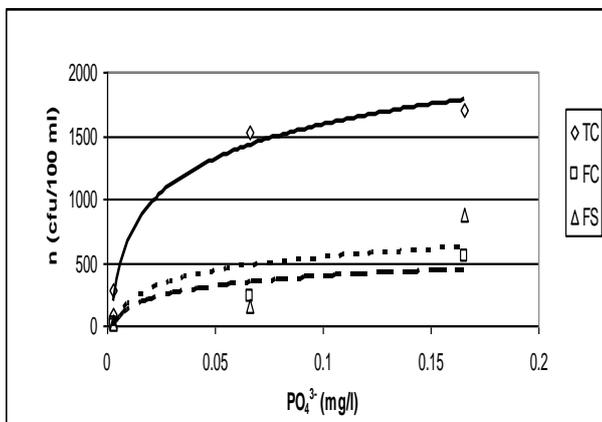


Gambar 6. Hubungan pH dengan Jumlah Bakteri Indikator Pada Skala Instalasi dengan Koagulan Alum

Keberadaan *total coliform*, *fecal coliform* dan *fecal streptococci* dalam air dipengaruhi berbagai faktor, seperti pH dan ketersediaan nutrien. Pertumbuhan bakteri biasanya dibatasi oleh ketersediaan nutrien seperti karbon organik, nitrogen dan fosfor (Peterson *et al.*, 2005; Camper *et al.*, 1991). Jika kondisi lingkungan tidak mendukung atau bahkan menekan pertumbuhan bakteri, maka bakteri akan memasuki tahap VBNC (Oliver,1999).

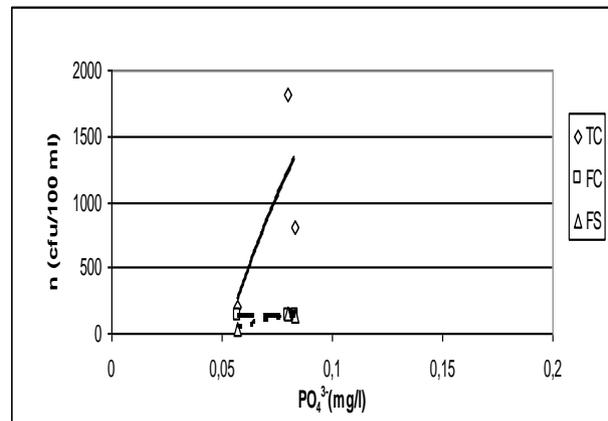
Fosfat merupakan komponen yang sangat vital bagi sistem ATP. Dengan demikian ketersediaan fosfor dapat mempengaruhi jumlah bakteri (Lehtola, 2002). Penurunan konsentrasi fosfat dalam air terbukti dapat menurunkan jumlah bakteri indikator. Sebagaimana terlihat pada Gambar 6 ditunjukkan bahwa konsentrasi fosfat turun sekitar 97% (dari 0,279 menjadi 0,007 mg/l) untuk PAC dan 83% (dari 0,238 menjadi 0,039 mg/l) untuk alum. Jumlah bakteri indikator tertinggi ditemukan sebelum koagulan diaplikasikan, dimana fosfat berada dalam konsentrasi tertinggi. Dengan berjalannya proses koagulasi flokulasi menunjukkan bahwa jumlah bakteri indikator mengalami penurunan bersamaan dengan berkurangnya fosfat yang terdapat dalam air. Hal ini secara jelas dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.

Nitrat juga diduga menjadi nutrien pembatas bagi bakteri indikator. Hal ini disebabkan ketika jumlah nitrat dalam air berkurang, akibat keberadaan PAC maupun alum, jumlah bakteri juga ikut berkurang (Gambar 7 dan 8). Konsentrasi nitrat turun sekitar 46% (dari 0,192 menjadi 0,104 mg/l) untuk PAC dan 27% untuk alum (dari 0,154 menjadi 0,111 mg/l).

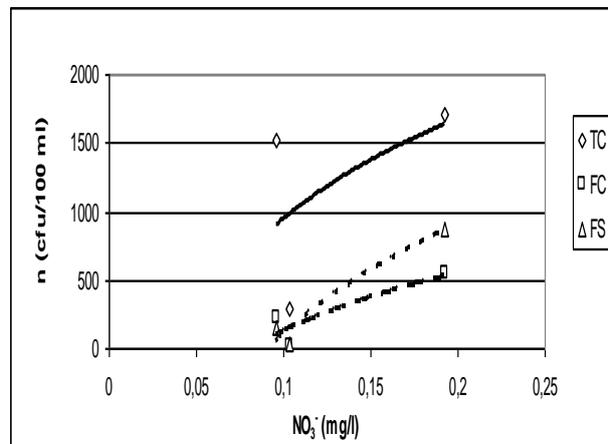


Gambar 7. Hubungan Konsentrasi Fosfat dan Jumlah Bakteri Indikator Pada Aplikasi PAC

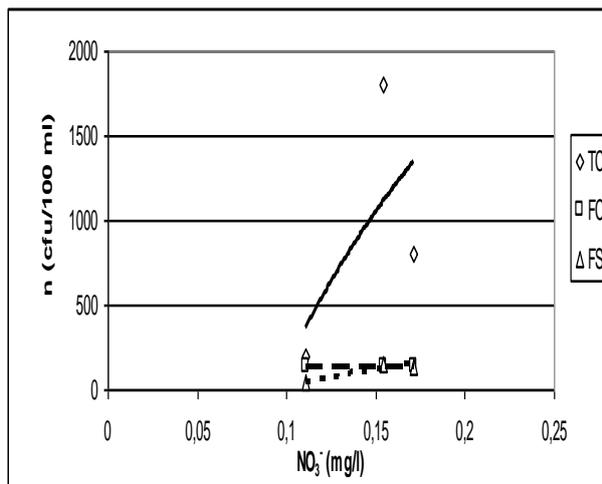
Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa, baik pada aplikasi PAC dan alum, jumlah bakteri indikator berkurang ketika penurunan kandungan total karbon organik dalam air terjadi. Konsentrasi TOC turun dari 21,9 mg/l menjadi 13,4 mg/l (38,7%) untuk PAC dan dari 25,3 mg/l menjadi 20,3 mg/l (19,5%) untuk alum. Hal ini menunjukkan bahwa PAC dan alum secara tidak langsung mempengaruhi jumlah bakteri dengan menurunkan jumlah nutrien yang dibutuhkan bakteri untuk tumbuh dalam air. Secara umum jumlah bakteri mengalami penurunan setelah aplikasi koagulan PAC diatas 80% (*total coliform* 83%, *fecal coliform* 97,9% dan *fecal streptococcus* 95%). Sementara dengan koagulan alum, penurunan jumlah bakteri secara berturutan adalah: *total coliform* 89%, *fecal coliform* 5% dan *fecal streptococcus* 73%.



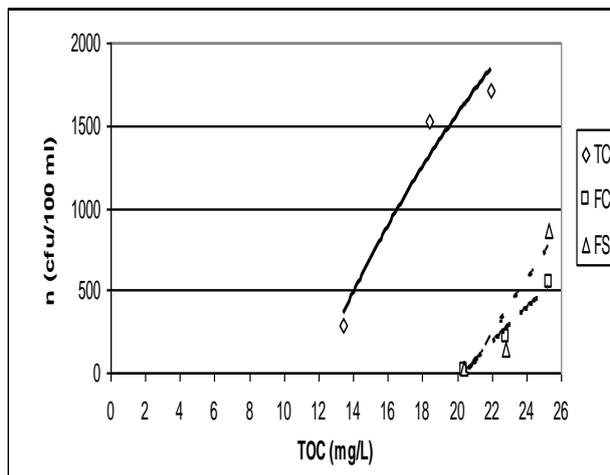
Gambar 8. Hubungan Konsentrasi Fosfat dan Jumlah Bakteri Indikator Pada Aplikasi Alum



Gambar 9. Hubungan Konsentrasi Nitrat dan Penurunan Jumlah Bakteri Indikator Pada Aplikasi PAC



Gambar 10. Hubungan Konsentrasi Nitrat dan Penurunan Jumlah Bakteri Indikator Pada Aplikasi Alum



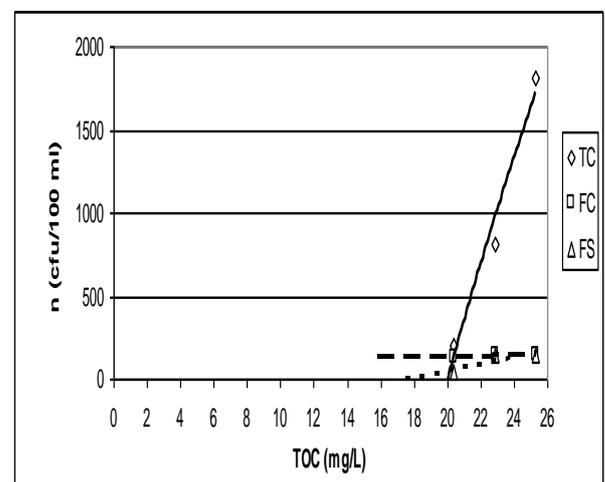
Gambar 11. Hubungan TOC Air dan Jumlah Bakteri Indikator Pada Aplikasi PAC

Data yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa proses koagulasi tidak hanya memberikan efek secara langsung dalam mengurangi jumlah bakteri melalui penjebaran dalam flok. Akan tetapi proses koagulasi juga memberikan pengaruh secara tidak langsung terhadap penurunan jumlah nutrisi dalam air yang pada akhirnya juga akan menurunkan jumlah bakteri.

Senyawa karbon, nitrogen dan fosfor memegang peranan yang sangat penting dalam metabolisme dan dengan demikian kehidupan bakteri juga akan terpengaruh (Peterson *et al.* (2005); Camper *et al.* (1991). Seiring dengan peningkatan efisiensi

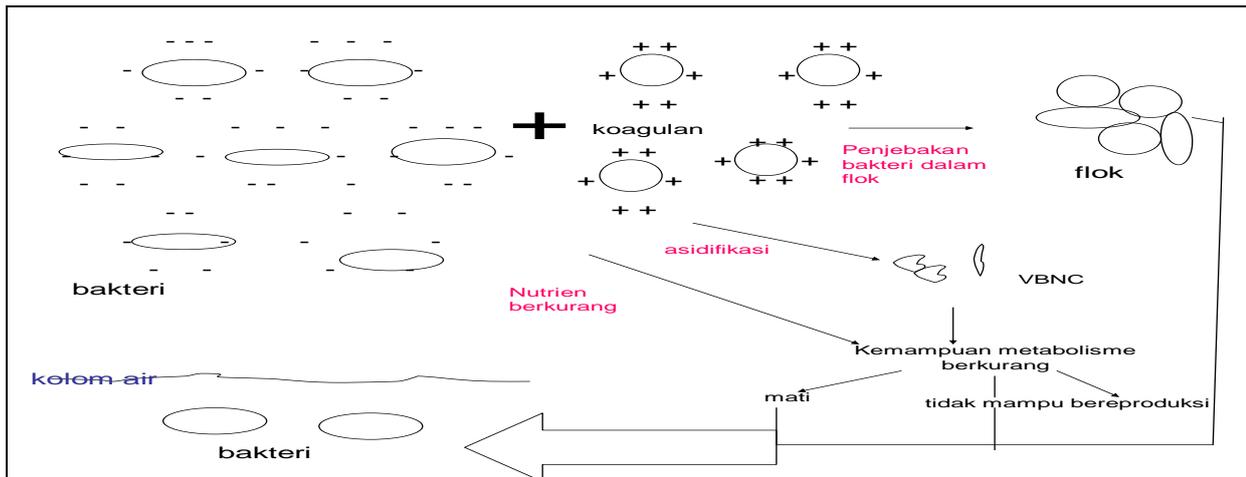
penurunan nilai nutrisi dalam tiap tahap pengolahan air bersih, nilai nutrisi bagi bakteri terutama fosfat, nitrat dan TOC yang semakin rendah menyebabkan bakteri indikator mengalami tekanan dari lingkungan tersebut. Penjelasan terkait hal ini dapat dilihat dari Gambar 5 sampai 12). Camper *et al.* (1991) menyatakan bahwa salah satu faktor penyebab adanya induksi bakteri dalam kondisi VBNC adalah disebabkan faktor nutrisi. Walaupun demikian Le Chevallier *et al.* (2004) menjelaskan bahwa faktor nutrisi bukanlah faktor tunggal penyebab pengurangan bakteri dalam pengolahan air bersih.

Dari rangkaian mekanisme yang diduga terjadi selama proses koagulasi flokulasi ini, diketahui bahwa penjebaran bakteri dalam flok diduga sebagai mekanisme utama yang menyebabkan terjadinya penurunan jumlah bakteri. Sedangkan adanya asidifikasi belum dapat diajukan sebagai mekanisme utama dalam menyebabkan penurunan jumlah bakteri indikator. Hal ini mengingat keterbatasan informasi yang mendukung mekanisme ini. Namun asidifikasi yang disebabkan oleh keberadaan koagulan bersama dengan penurunan kandungan nutrisi dalam air diduga menyebabkan inaktivasi pada bakteri yang belum terjebak di dalam flok.



Gambar 12. Hubungan TOC Air dan Jumlah Bakteri Indikator Pada Aplikasi Alum

Berdasarkan penjelasan-penjelasan yang telah diuraikan di atas, dapat dibuat skema mekanisme penurunan jumlah bakteri akibat aplikasi koagulan. Skema mekanisme tersebut diperlihatkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Mekanisme Penurunan Jumlah Bakteri Indikator Akibat Aplikasi Koagulan

4. KESIMPULAN

Penambahan koagulan disinyalir menurunkan pH dan konsentrasi nutrisi yang menyebabkan berkurangnya jumlah bakteri indikator pencemar disamping mekanisme utama berupa penjebakan bakteri di dalam flok. Nilai pH awal sebelum aplikasi koagulan berada pada kisaran 6,4 dan turun pada kisaran 4,2 setelah penambahan koagulan. Sementara konsentrasi fosfat turun 97% (untuk PAC dan 83% untuk alum. Konsentrasi nitrat turun 46% untuk PAC dan 27% untuk alum. Konsentrasi TOC turun dari 21,9 mg/l menjadi 13,4 mg/l (38,7%) untuk PAC dan dari 25,3 mg/l menjadi 20,3 mg/l (19,5%) untuk alum. Hal ini menunjukkan bahwa PAC dan alum secara tidak langsung mempengaruhi jumlah bakteri dengan menurunkan jumlah nutrisi yang dibutuhkan bakteri untuk tumbuh dalam air. Secara umum jumlah bakteri berkurang setelah aplikasi koagulan PAC diatas 80% (*total coliform* 83%, *fecal coliform* 97,9% dan *fecal streptococcus* 95%). Sementara dengan koagulan alum, penurunan jumlah bakteri secara berturut-turut adalah *total coliform* 89%, *fecal coliform* 5% dan *fecal streptococcus* 73%.

DAFTAR PUSTAKA

- Bulson, P.C., D.L. Johnstone, H.L. Gibbons dan W. H. Funk. 1984. **Removal and Inactivation of Bacteria During Alum Treatment of A Lake.** *Applied and Environmental Microbiology.* **48**(2): 425-430.
- Camper, A.K., G.A. McFeters, W.G. Characklis dan W.L. Jones. 1991. **Growth Kinetics Of**

Coliform Bacteria Under Condition Relevant to Drinking Water Systems. *Applied and Environmental Microbiology.* **57**(8): 2233-2239.

- Chowdhury, M.A.R., A. Huq, B. Xu, F.J. Madeira dan R.R. Colwell. 1997. **Effect of Alum on Free-Living and Copepod.** Associated *Vibrio Chloreae O1 and O 139.* *Applied and Environmental of Microbiology.* **63** (8): 3323-3326.
- Khan, M.U., M.R. Khan, B. Hossain dan Q.S. Ahmed. 1984. Alum Potash in Water To Prevent Cholera in S. Dutta dan Bhattacharya (ed). *In Vitro Antimicrobial Activity of Potash Alum.* National Institute of Cholera and Enteric Disease. Calcutta.
- Lehtola, M. 2002. **Microbially Available Phosphorus in Drinking Water.** University of Kuopio. Finlandia. pp. 18,25-31,38-50.
- Le Chevallier, M.W. and K.K. Au. 2004. **Water Treatment and Pathogen Control: Process Efficiency in Achieving Safe Drinking Water.** IWA Publishing. London.
- Oliver, J.D. 1999. The Viable But Non Culturable State and Cellular Resuscitation in C.R. Bell, M. Brylinsky, and P.J. Green (eds). *Microbial Biosystems: New Frontiers Proceedings of the 8th International Symposium on Microbial Ecology.* pp. 723-730
- Peterson, C.N., M.J. Mandel dan T.J. Sillivay. 2005. **Escherichia coli Starvation: Essential Nutrients Weigh.** *Journal of Bacteriology.* **187**(22):7549-7553