

APAKAH BREAKPOINT CHLORINATION SELALU APLIKATIF UNTUK MENGOLAH LIMBAH CAIR RUMAH SAKIT?

IS BREAKPOINT CHLORINATION ALWAYS APPLICATIVE FOR HOSPITAL WASTEWATER TREATMENT?

Maya Shovitri

Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Jl. Arief Rahman Hakim, Sukolilo, Surabaya 60111

***e-mail: maya@bio.its.ac.id**

Abstrak

Klorinasi adalah salah satu teknik pengolahan limbah yang sering digunakan untuk membunuh bakteri koliform patogenik dalam pengolahan limbah cair rumah sakit. Di sisi lain, aplikasi kaporit berkorelasi positif dengan pembentukan senyawa organohalogen yang beracun. Sehingga aplikasi kaporit harus berdasarkan perhitungan titik *breakpoint chlorination* (BPC) agar aman terhadap lingkungan. Dengan menggunakan sampel limbah cair dari sebuah rumah sakit yang melakukan klorinasi dengan dosis 5 mg/L, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui apakah aplikasi kaporit di titik BPC selalu aplikatif untuk mengolah limbah tersebut. Titik BPC ditentukan dengan metode titrasi iodometri dan kalium permanganat. Berdasarkan titrasi kalium permanganat, limbah mengandung bahan organik sebesar 39.79 mg/L, sehingga dosis klor aktif yang diujikan adalah 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, dan 65 mg/L. Dari semua waktu inkubasi yang dibandingkan (0, 15, 30 dan 45 menit) terlihat bahwa titik BPC terjadi pada dosis yang sama yaitu 55 mg/L. Dosis tersebut mampu menurunkan konsentrasi bakteri koliform dari sekitar 10^6 sel/100 ml menjadi 200 sel/100 ml. Bila klorinasi hanya dilihat sebagai desinfektan, klorinasi pada dosis BPC tersebut belum tentu aplikatif, karena ternyata dengan dosis 10 mg/L juga menurunkan konsentrasi bakteri koliform menjadi 200 sel/100 ml. Selain itu, aplikasi klor 55 mg/L terdeteksi meninggalkan residu klor sebanyak rerata 43 mg/L klor aktif ke lingkungan. Residu tersebut relatif tinggi bila dibandingkan dengan aplikasi nyata dari mana sampel tersebut diambil, yaitu 5 mg/L, walaupun dosis 5 mg/L terdeteksi masih mengandung bakteri koliform yang di atas ambang batas, yaitu sekitar 10^5 sel/100 ml.

Kata kunci: limbah cair rumah sakit, klorinasi, bakteri koliform.

Abstract

Chlorination is one of the wastewater treatment techniques are often used to kill pathogenic coliform bacteria in hospital wastewater treatment. However, the application of chlorine was positively correlated with the formation of toxic organohalogen compounds. Therefore, chlorine application should be based on the calculation of breakpoint chlorination (BPC) for environmental protection. By using wastewater samples from a hospital that use 5 mg/L chlorination dose, this study was conducted for determining the chlorination applicability at BPC. BPC point was determined by iodometric titration method and potassium permanganate. Based on the titration of potassium permanganate, wastewater samples containing organic materials of 39.79 mg/L, the active chlorine doses were tested at 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, and 65 mg/L. At all incubation periods of 0, 15, 30 and 45 minutes the BPC occurs at similar concentration of 55 mg/L. The dose was able to reduce coliform bacteria concentrations from 10^6 cells/100 mL to 200 cells/100 mL. If chlorination was only considered as a disinfectant, chlorination at BPC was questionable, because at 10 mg/L the coliform bacteria concentration could be reduced to 200 ml. In addition, the application of 55 mg/L chlorination left residual chlorine of 43 mg/L in average into the environment. This residual chlorine concentration was relatively high when compared to the real application (residual chlorine of 5 mg/L), although in this chlorine concentration the residual chlorine left coliforms of 10^5 ml cells/100 mL.

Key words: hospital wastewater, chlorination, coliform bacteria

1. PENDAHULUAN

Rumah sakit adalah faktor penting untuk pelayanan kesehatan masyarakat, tetapi rumah sakit juga berpotensi sebagai sumber penyebaran penyakit melalui limbah cair, padat dan gas yang dihasilkannya. Oleh karena itu pengelolaan limbah rumah sakit adalah utama dan harus dilakukan untuk melindungi masyarakat dan lingkungan (Ekhaise dan Omavwoya, 2008; Emmanuel *et al.*, 2002). Teknik *biofilter aerob anaerob* merupakan salah satu teknik pengolahan limbah cair yang banyak dilakukan dengan klorinasi atau pembubuhan kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) di tahap akhirnya. Klor (Cl) dari kaporit berfungsi sebagai oksidator limbah organik dan anorganik, serta sebagai desinfektan yang efektif membunuh mikroorganisme patogen, seperti *Escherichia coli*, *Legionella*, *Streptococcus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Amoeba* dan harganya terjangkau (Sururi *et al.*, 2008; Saefuddin, 2007; Giyatmi. 2003).

Kelemahan klorinasi adalah adanya korelasi positif antara kaporit dengan senyawa organohalogen yang merupakan hasil reaksi antara klor dengan senyawa organik berhalogen (CHCl_3) yang terdapat dalam limbah. Salah satu senyawa organohalogen adalah trihalometan (THM). Semakin tinggi konsentrasi kaporit, semakin tinggi pula probabilitas terbentuknya THM. Trihalometan bersifat karsinogenik dan mutagenik (Sururi, *et al.*, 2008). Untuk mengeliminasi terbentuknya THM, penentuan titik *breakpoint chlorination* (BPC) menjadi penting sebelum aplikasi kaporit di lapangan. BPC adalah jumlah klor aktif (ion ClO^- dan OHCl) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi semua

bahan organik dan bahan anorganik yang terlarut dalam limbah dan kemudian sisa klor aktifnya berfungsi sebagai desinfektan (Lestari *et al.*, 2008; Sururi, 2008; Brooks, 1999; Alaerts dan Sumestri, 1984).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui apakah aplikasi kaporit di titik BPC selalu aplikatif untuk mengolah limbah cair rumah sakit. Sampel limbah cair diambil dari Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Kabupaten Sidoarjo, karena rumah sakit tersebut mengelola limbah cairnya dengan teknik *biofilter aerob-anaerob*. Klorinasi dilakukan di bak indikator Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) yang merupakan hasil pengolahan dari bak anaerobik dan aerobik.

2. METODA

Pengukuran bahan organik

Pengukuran ini untuk menentukan dosis klor aktif dalam klorinasi. Sampel diambil dari bak indikator dan disimpan dalam botol steril gelap ukuran 500 ml sampai volume botol penuh dan ditutup rapat. Kandungan bahan organik sampel diukur dengan titrasi kalium permanganat menurut Badan Standarisasi Nasional (2004) dengan 3 kali ulangan. Sampel sebanyak 25 ml diencerkan dengan 75 ml akuades di dalam erlenmeyer 300 ml. Larutan kemudian ditambah 2,5 ml asam sulfat 4N dan 10 ml larutan KMnO_4 0.01N hingga berwarna merah muda. Larutan dididihkan selama 10 menit dan ditambah 10 ml asam oksalat 0,1N hingga menjadi tidak berwarna. Larutan kemudian dititrasi dengan KMnO_4 0,01N sampai muncul warna merah lagi. Konsentrasi KMnO_4 kemudian dihitung berdasarkan volume KMnO_4 yang dibutuhkan dengan persamaan (1) :

$$\text{Kadar KMnO}_4 \text{ (mg/L)} = \frac{(10 + a)b - (10 \times c) \times 31,6 \times 1000}{d} \quad (1)$$

(BSN, 2004)

Keterangan : (a) volume KMnO_4 yang dibutuhkan (ml), (b) normalitas KMnO_4 , (c) normalitas asam oksalat, (d) volume sampel yang dipakai (ml).

$$\text{OCI} / \text{HOCl} \text{ (mg/L)} = \frac{1000}{\text{mL sampel}} \times \text{ml natrium tiosulfat} \times \text{N natrium sulfat} \times \text{BM Cl} \quad (2)$$

Pengukuran Kadar Klor dan Penentuan Dosis Aplikasi Klor Aktif

Kadar klor aktif (mg/L) dari kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) diukur dengan titrasi iodometri. Kaporit sebanyak 1 g dilarutkan ke dalam 1L akuades dan kemudian diambil sebanyak 25 mL dan dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL. Larutan ditambah 1 g kristal KI dan 2,5 mL asam asetik glasial, kemudian ditetesi dengan indikator hingga muncul warna biru. Kemudian larutan dititrasi dengan natrium tiosulfat 0.0125 N hingga tak berwarna. Kadar klor aktif dihitung berdasarkan jumlah natrium tiosulfat yang dibutuhkan dengan persamaan (2).

Berdasarkan kadar klor aktif tersebut, volume larutan kaporit yang dibutuhkan dalam perlakuan sampel dengan dihitung berdasarkan persamaan $N_1 \times V_1 = N_2 \times V_2$ untuk mendapatkan dosis klor aktif yang ditentukan. Dimana N_1 adalah konsentrasi kaporit berdasarkan kandungan bahan organik, V_1 adalah volume sampel, N_2 adalah dosis klor aktif dalam kaporit dan V_2 adalah volume larutan kaporit yang dibutuhkan.

Pengukuran Kurva BPC

Setelah konsentrasi dosis kaporit ditentukan, kemudian 200 ml sampel dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 ml dan masing-masing diberi kaporit sebesar dosis tersebut dan diinkubasikan pada suhu ruang selama 15 menit, 20 menit dan 30 menit. Sisa klor aktif dalam sampel diukur dengan natrium thiosulfat seperti pada langkah 2.2. Berdasarkan sisa klor aktif tersebut kemudian

dibuat kurva *breakpoint chlorination* (BPC). Pengukuran diulang sebanyak 3 kali untuk masing-masing waktu inkubasi.

Uji *Most Probable Number* (MPN) Bakteri Koliform

Sampel adalah limbah cair yang telah diklorinasi sesuai dengan dosis titik BPC. Sampel sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam erlenmeyer 500 mL dan dilakukan pengenceran bertingkat hingga 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , dan 10^{-4} . Dari masing-masing pengenceran diambil 1 mL suspensi inokulum dan dibiakkan ke 10 ml medium laktosa di tabung reaksi yang berisi dan tabung Durham terbalik. Masing-masing pengenceran mempunyai 5 tabung reaksi pengujian. Biakan diinkubasi pada suhu 36°C selama 2x24 jam, dengan pengamatan setiap 24 jam. Tabung reaksi yang mengandung gas akan dilanjutkan dengan tes penegasan (BSN, 2006)

Sebanyak 2 tetes biakan dari tabung reaksi yang positif mengandung gas diambil dan ditanam dalam 10 ml medium *Brilliant Green Lactose Bile (BGLB) Broth* di tabung reaksi yang juga berisi tabung Durham terbalik. Setelah dihomogenisasi, biakan di inkubasi pada suhu 36°C selama 2x24 jam. Tabung reaksi yang mediumnya menjadi keruh dan mengandung gas dinyatakan positif mengandung bakteri koliform. Berdasarkan jumlah tabung reaksi yang positif, kemudian MPN dihitung dengan melihat Tabel MPN baku dan jumlah bakteri koliform dihitung dengan persamaan (3) :

$$\text{MPN /100 ml} = \text{nilai MPN} \times \text{faktor pengenceran} \quad (3)$$

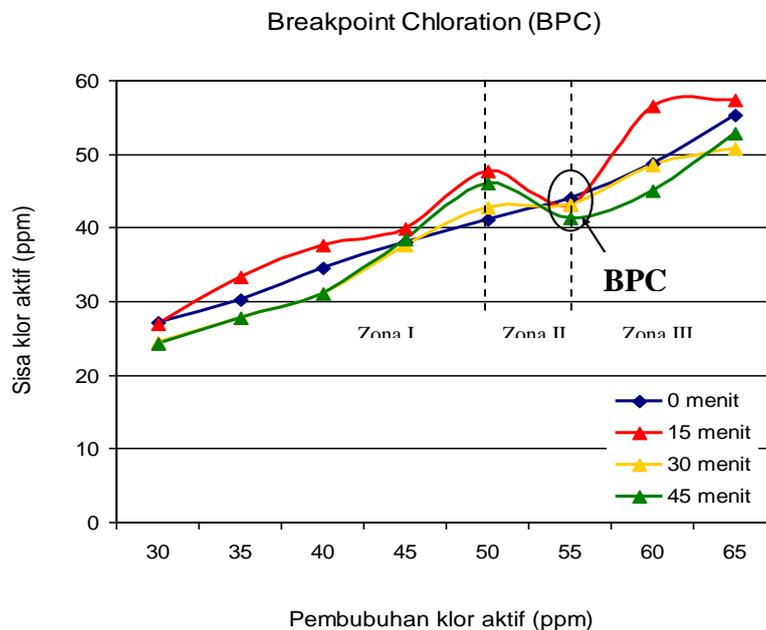
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Breakpoint Chloration (BPC)

Dari tiga kali pengukuran, rerata kandungan bahan organik terukur sebesar 39.79 mg/L. Berdasarkan kandungan bahan organik tersebut maka dosis aplikasi klor aktif dalam kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) yang dibubuhkan dalam penelitian ini adalah 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, dan 65 mg/L. Selain dosis aplikasi, waktu inkubasi juga merupakan faktor penting agar aplikasi kaporit menjadi aman, efisien dan efektif (Rahayu, 2006). Oleh karena itu waktu inkubasi 0 menit, 15 menit, 30 menit dan 45 menit juga diamati pengaruhnya terhadap BPC.

Dari hasil pengamatan, ternyata waktu inkubasi 15, 30 dan 45 menit tidak berpengaruh terhadap pembentukan titik BPC. Ketiga waktu inkubasi tersebut menunjukkan titik BPC yang sama, yaitu pada aplikasi klor aktif 55 mg/L (Gambar 1). Secara teori titik BPC direpresentasikan oleh sebuah kurva

yang mempunyai titik puncak maksimum dan titik puncak minimum. Titik puncak minimum inilah yang disebut titik BPC. Ketika kaporit bereaksi dengan air (H_2O), kaporit akan menjadi klor aktif bebas asam hipoklorit (HOCl) dan ion hipoklorit (OCl^-). Klor aktif bebas ini kemudian bereaksi dengan bahan organik dan anorganik yang terdapat dalam sampel (zona I). Salah satu bahan anorganik adalah amoniak (NH_4) yang apabila bereaksi dengan klor aktif bebas akan membentuk kloramin. Berdasarkan keasaman sampel yang terukur dalam penelitian ini, yaitu $7 < \text{pH} < 8$, sehingga diduga kloramin yang terbentuk pada zona I adalah monokloramin (NH_2Cl). Brooks (1999) menyebutkan bahwa pada kisaran $\text{pH} \geq 7$, HOCl dan ion OCl^- cenderung berikatan dengan NH_4 membentuk NH_2Cl yang juga bersifat aktif yang juga memiliki daya desinfektan walau tidak sekuat klor aktif bebas HOCl dan ion OCl^- .



Gambar 1. Pembentukan Titik *Breakpoint Chlorination* (BPC) dengan Waktu Inkubasi 0, 15, 30, dan 45 menit.

Kemudian apabila kandungan bahan organik, anorganik dan amoniak dalam sampel telah

habis teroksidasi, sedangkan kaporit masih dibubuhkan secara konsisten, maka NH_2Cl

dioksidasi oleh klor aktif bebas membentuk gas nitrogen (N_2). Pembentukan N_2 inilah merupakan titik puncak maksimum, karena N_2 hilang ke udara dan dapat menurunkan konsentrasi sisa klor aktif secara drastis (zona II). Selain itu, pembentukan N_2 berpotensi menurunkan pH (Lestari *et al.*, 2008; Sururi, 2008; Brooks, 1999; Alaerts dan Sumestri, 1984) yang juga terindikasi pada penelitian ini. Pada zona II (aplikasi klor aktif 55 mg/L) keasaman limbah cair rumah sakit terukur menjadi kurang dari 6 ($pH \leq 6$).

Seiring dengan menurunnya konsentrasi NH_2Cl , maka pembentukan gas nitrogen pun akan turun. Sehingga apabila pembubuhan kaporit terus dilanjutkan, maka akan kembali terjadi kenaikan konsentrasi klor aktif bebas pada suatu titik puncak minimum (zona III) atau titik BPC. Apabila BPC sudah tercapai, maka sebaiknya aplikasi kaporit harus segera dihentikan untuk mengurangi terbentuknya senyawa organohalogen (Lestari *et al.*, 2008; Sururi, 2008; Brooks, 1999; Alaert dan Sumestri, 1984).

Pada waktu inkubasi 0 menit tidak terjadi titik BPC. Kurva terlihat berupa garis linier yang naik sebanding dengan penambahan klor aktif. Meskipun begitu, secara kuantitatif penurunan konsentrasi klor aktif tetap terjadi. Misalkan pada pembubuhan klor aktif 50 mg/L terukur menjadi 41 mg/L (Gambar 1). Rerata penurunan klor aktif yang terjadi adalah 15%. Penurunan ini terjadi karena sifat klor yang sangat reaktif, dimana klor akan langsung bereaksi dengan bahan organik, bahan dan anorganik yang terkandung dalam sampel. Namun klor aktif membutuhkan rentang waktu tertentu untuk bereaksi secara optimal seperti juga diamati oleh Rahayu (2006).

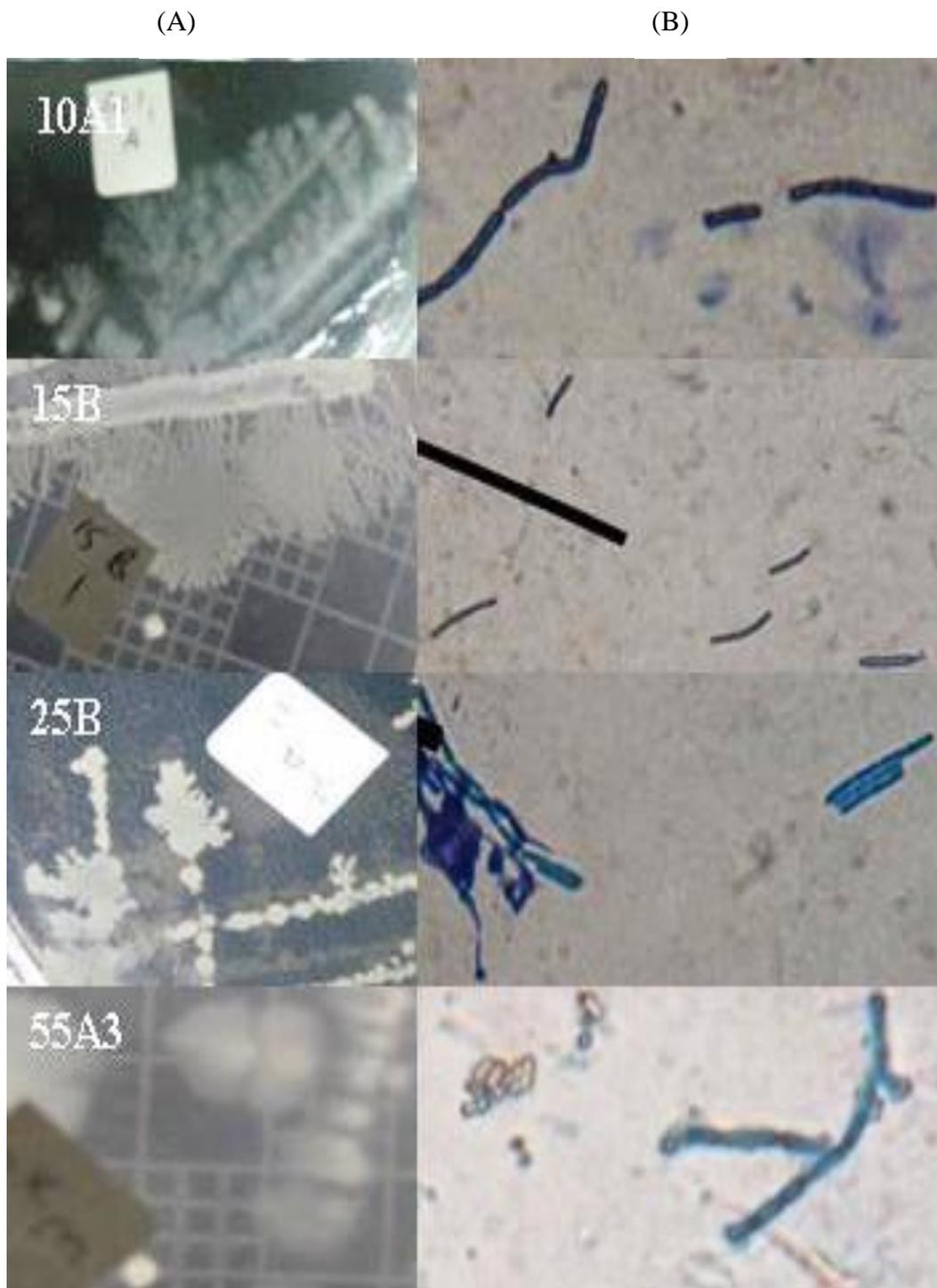
Dari 4 masa inkubasi yang dilakukan, masa inkubasi 30 menit adalah waktu yang terbaik karena menghasilkan rerata sisa klor yang

terendah dibandingkan masa inkubasi 0, 15 dan 45 menit (Gambar 1). Dengan asumsi bahwa semakin banyak klor aktif bereaksi dengan bahan organik dan anorganik yang terlarut dalam sampel, maka semakin sedikit pula sisa klor aktif yang terukur, sehingga semakin bersih limbah cair rumah sakit dari kontaminasi bahan organik dan anorganik, serta semakin rendah probabilitas terbentuknya senyawa trihalometan yang berbahaya bagi kesehatan. Hasil ini sesuai dengan rekomendasi *The World Health Organization* (WHO) yang menyebutkan bahwa waktu desinfektasi yang efektif adalah 30 menit (Hend Galal-Gorchev, 1996). Selanjutnya untuk mengetahui apakah asumsi tersebut adalah benar, bahwa naik turunnya kadar klor aktif selama masa inkubasi (Gambar 1) juga diikuti dengan perubahan kadar bahan organik, anorganik, pembentukan kloramin dan gas nitrogen, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mengukur parameter tersebut.

Bakteri Koliform

Uji efektifitas disinfektan klor aktif di titik BPC 55 mg/L menunjukkan bahwa setelah waktu inkubasi selama 15, 30, dan 45 menit, sampel limbah cair rumah sakit mengandung bakteri koliform sebanyak 200 sel/100 ml, sedangkan pada kontrol mengandung $\geq 1.6 \times 10^5$ sel/100 mL (Tabel 1). Ini mengindikasikan bahwa aplikasi klor aktif 55 mg/L dapat menurunkan 100% bakteri koliform. Berdasarkan baku mutu limbah cair, jumlah maksimum jumlah bakteri koliform dari limbah cair rumah sakit adalah 10.000 sel/100 ml sampel.

Klor aktif $HOCl$ dan ion OCl^- selain dapat mengoksidasi bahan organik dan anorganik, juga dapat menghidrolisis dan deaminasi komponen kimia bakteri seperti peptidoglikan, lipid, dan protein dan menimbulkan kerusakan fisiologis yang mungkin mempengaruhi mekanisme seluler.



Gambar 3.(A) Morfologi koloni dan (B) morfologi sel bakteri pembentuk biofilm pada aplikasi klor aktif 10 mg/L (10A1), 15 mg/L (15B1), 25 mg/L (25B1), dan 55 mg/L (55A3). Ukuran koloni dan sel tidak dalam skala yang sesungguhnya.

Meskipun jumlah bakteri koliform sudah di bawah baku mutu, ternyata klorinasi dengan 55 mg/L belum membunuh semua mikroorganisme di sampel limbah cair tersebut. Hal ini terlihat dari adanya lendir biofilm mikroorganisme di permukaan dan dasar medium buatan selama proses pengujian (Gambar 2). Biofilm membantu mikroorganisme menempel pada suatu permukaan dan secara fisik melindungi mereka dari paparan disinfektan berbahaya atau kondisi lingkungan yang merugikan. Kumpulan bakteri yang membentuk biofilm akan 3.000 kali lebih tahan terhadap klor bebas, dibandingkan jika pada populasi bebas (Kelly, 2002). Berdasarkan morfologi koloni dan sel, bakteri tersebut bukan termasuk bakteri koliform. Koloni bakteri berbentuk irregular, filamentous dan rhizoid (Gambar 3A) dan sel berbentuk batang panjang dan berantai (streptobasil) (Gambar 3B). Kelly (2002) menyebutkan bahwa beberapa bakteri mampu menghasilkan eksopolisakarida (EPS) seperti jelatin bahan pembentuk biofilm. Hasil ini menunjukkan bahwa ada bakteri yang tahan terhadap klor aktif dan memberikan sebuah peluang menarik untuk mengeksplorasi dan mengidentifikasi bakteri tahan klor untuk meningkatkan fungsi pengolahan limbah cair rumah sakit.

Aplikasi Kaporit

Berdasarkan Gambar 1, dosis aplikasi klor aktif 55 mg/L menghasilkan sisa klor aktif sebesar 43 mg/L. Walaupun Kep. MN LH tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair rumah sakit tidak menjelaskan batas residu klor aktif yang boleh dilepas ke lingkungan, tetapi sisa tersebut ternyata 90% lebih banyak daripada dosis aplikasi nyata di IPAL RSUD Sidoarjo yaitu 5 mg/L. Bila membandingkan dengan perlakuan di penelitian ini, aplikasi klor aktif 5 mg/L sangat ramah lingkungan, karena residunya akan lebih sedikit dan probabilitas terbentuknya senyawa THMs menjadi lebih rendah. Tetapi dari sisi lain, aplikasi 5 mg/L belum dapat menurunkan konsentrasi bakteri koliform (rerata 1×10^5 sel/100ml) sampai batas baku mutu

lingkungan. Oleh karena itu hasil penelitian ini masih perlu dikaji secara bijaksana, walaupun aplikasi dosis klor aktif di penelitian ini ditentukan berdasarkan kandungan bahan organik terlarut pada sampel. Tingginya aplikasi klorinasi di penelitian ini berkorelasi positif dengan tingginya kandungan bahan organik dalam sampel. Ini menunjukkan bahwa usaha untuk menurunkan kandungan bahan organik merupakan urgensi yang harus diperhatikan sebelum melakukan klorinasi.

Karena sampel limbah cair diambil dari bak indikator (tempat penampungan limbah setelah diolah secara anaerobik dan aerobik), maka peningkatan efektivitas proses di bak pengolah anaerobik dan bak pengolahan aerobik sebelumnya perlu dioptimalkan. Seperti memperpanjang masa penyimpanan dan memperluas bidang kontak air limbah dengan dinding bak di bak anaerobik dan aerobik. Kedua cara tersebut memberikan waktu yang cukup bagi mikroorganisme untuk mengoksidasi bahan organik dan menurunkan konsentrasinya dalam sampel (Rezaee *et al.*, 2005; Nurdjannah dan Moesriati, 2005; Said dan Wahyono, 1999). Semakin rendah kandungan bahan organik, maka semakin sedikit pula aplikasi pembubuhan klor aktif. Semakin rendah dosis aplikasi kaporit maka akan semakin ekonomis dan sehat bagi lingkungan.

Sebagai pembanding, dilakukan aplikasi klor aktif di bawah titik BPC, yaitu 10, 15, 20 dan 25 mg/L yang diinkubasi selama 30 menit. Hasil menunjukkan bahwa walaupun belum terjadi titik BPC, tetapi aplikasi tersebut dapat menurunkan kandungan bakteri koliform menjadi menjadi 200 sel/100 ml. Hal ini membuktikan bahwa apabila tidak memperhatikan fungsi klor sebagai oksidator bahan organik dan anorganik, konsentrasi klor aktif 10, 15, 20 dan 25 mg/L telah mampu berfungsi optimal sebagai disinfektan yang menurunkan konsentrasi bakteri koliform

sampel limbah cair rumah sakit sampai jauh di bawah baku mutu yang dianjurkan.

4. KESIMPULAN

Limbah cair rumah sakit mengandung bahan organik sebesar 39.79 mg/L, sehingga kisaran dosis klor aktif yang diujikan adalah 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, dan 65 mg/L. Dari semua waktu inkubasi 0, 15, 30 dan 45 menit terlihat bahwa titik BPC terjadi pada titik yang sama yaitu pada dosis 55 mg/L dan mampu menurunkan konsentrasi bakteri koliform dari sekitar 10^6 sel/100 ml menjadi 200 sel/100 ml. Meskipun begitu, aplikasi klor di titik PBC belum aplikatif karena tingginya residu klor yang tersisa di lingkungan (rerata 43 mg/L klor aktif), karena sebagai pembanding aplikasi klor 10 mg/L juga berhasil menurunkan konsentrasi bakteri koliform menjadi 200 sel/100 mL.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada segenap staf Laboratorium Kualitas Lingkungan di Jurusan Teknik Lingkungan, FTSP-ITS yang telah membantu analisis sisa residu klor.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G., dan Sumestri, S. (1987). Metode Penelitian Air. Usaha Nasional. Surabaya.
- Cappucino, J.G. dan Sherman. 2002. Microbiology a Laboratory Manual 6th. Person Education, Inc., Publishing as Benjamin Cummings. San Francisco.
- Badan Standarisasi Nasional (2004). Air dan Air Limbah-Bagian 22: Cara Uji Nilai Permanganat Secara Titrimetri. SNI 06-6989.22-2004.
- Badan Standarisasi Nasional (2006). Cara uji Mikrobiologi-Bagian 1: Penentuan *Coli-*

form dan *Escherichia coli* Pada Produk Perikanan. SNI 01-2332.1-2006.

- Brooks, A. M. (1999). Breakpoint Chlorination as an Alternate Means of Ammonia-Nitrogen Removal at a Water Reclamation Plant. Environmental Sciences and Engineering. Northern Virginia Center. Virginia.
- Ekhaise, F.O., Omavwoya, B.P. (2008). "Influence of Hospital Wastewater Discharged from University of Benin Teaching Hospital (UBTH), Benin City on its Receiving Environment". American-Eurasian J. Agric. & Environ. Science. Department of Microbiology, Faculty of Life Sciences, University of Benin. Nigeria.
- Emmanuel, E., Blanchard, J.M., Keck, G., Perrodin, Y. (2002). Effects of Hospital Wastewater on Aquatic Ecosystem. XXVIII Congreso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental. Cancun. Mexico.
- Giyatmi (2003). Efektivitas Pengolahan Limbah Cair Rumah Sakit Dokter Sardjito Yogyakarta terhadap Pencemaran Radioaktif. Pasca Sarjana Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Gorchev, H.G. (1996). Disinfection of Drinking Water and By-Products of Health Concern. CEPIS Atikel. WHO.
- Kelly A.R. (2002). Microbial Resistance to Disinfectants. Water Conditioning and Purification Magazine. Arizona. Diakses dari [http:// www.wcponline.com](http://www.wcponline.com). Pada tanggal 7 Mei 2010.
- LecHevallier., Mark, W. (2004). Water Treatment and Pathogen Control. IWA Publishing. Alliance House. World Health Organisation. United Kingdom.

Lestari, D.E., Utomo, S.B., Sunarko, Virkyanov. (2008). Pengaruh Penambahan Biosida Pengoksidasi Terhadap Kandungan Klorin untuk Pengendalian Pertumbuhan Mikroorganisme pada Air Pendingin Sekunder RSG-GAS. Pusat Reaktor Serba Guna-BATAN. Kawasan Puspitek Serpong. Tangerang. Banten.

Nurdjannah, S., dan Moesriati, A. (2005). Optimalisasi Pembubuhan Gas Klor di Instalasi Penjernih Ngagel II PDAM Kota Surabaya. Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi I. Program Studi Magister Manajemen Teknologi. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Rahayu (2006). Tindakan-tindakan Pencegahan Penyakit. Fakultas Pertanian Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang. Malang.

Rezaee, A., Ansari, M., Khavanin, A., Sabzali, A., Aryan, M.M. (2005). Hospi-

tal Wastewater Treatment Using an Integrated Anaerobic Aerobic Fixed Film Bioreactor. *American Journal of Environmental Sciences. Department of Environmental Health, Faculty of Medical Sciences.*

Saefuddin (2007). Instalasi Pengolah Air Limbah Bojongsoang. Program Studi Ilmu Mikrobiologi. ITB. Bandung.

Said, I. N., dan Wahyono, Dwi H., 1999. Teknologi Pengolahan Air Limbah Rumah Sakir dengan Teknik Biofilter Aerob-anaerob. Direktorat Teknologi Lingkungan. Deputi Bidang Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan-BPPT. Jakarta.

Sururi, R. M., Rachmawati, S.Dj., Sholichah, M. (2008). Perbandingan Efektifitas Klor dan Ozon sebagai Desinfektan pada Sampel Air dari Unit Filtrasi Instalasi PDAM Kota Bandung. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II 2008 Universitas Lampung.