

EVALUASI PEMANFAATAN TEKNOLOGI BAKTERI DAN PEMODELAN PROSES BIODEGRADASI DALAM PEKERJAAN RESTORASI SUNGAI XUXI, KOTA WUXI, CHINA

Doddi Yudianto¹ and Xie Yuebo²

¹Fakultas Teknik – Jurusan Teknik Sipil, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia

² National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety, Hohai University, Nanjing, China

Email:doddi_yd@yahoo.com

Abstrak

Melihat keberhasilan aplikasi pengolahan secara biologi dalam sejumlah pekerjaan restorasi di negeri China, studi ini bermaksud untuk memberikan gambaran dan evaluasi atas pemanfaatan teknologi bakteri dalam merestorasi sungai perkotaan. Terkait dengan hal tersebut, lokasi penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah Sungai Xuxi yang berada di Kota Wuxi. Berdasarkan hasil yang diperoleh diketahui bahwa teknologi bakteri ini mampu memberikan pandangan baru dalam proses pengendalian tingkat pencemaran sungai perkotaan. Selain ini Sungai Xuxi memiliki air yang jernih, pada sejumlah lokasi terindikasi adanya kehidupan grup ikan kecil. Meskipun selama proses restorasi diketahui bahwa terdapat peningkatan konsentrasi sejumlah parameter yang meliputi total phosphorus, total nitrogen, dan ammonium nitrogen, serta terjadinya pembentukan alga di permukaan air, namun di akhir pekerjaan diperoleh hasil yang cukup menjanjikan. Ditinjau dari segi pemodelan, melalui studi ini pula diketahui bahwa kombinasi antara konsep self purification dan persamaan kinetik Activated Sludge Model No.1 (ASM-1) mampu memberikan gambaran mekanisme proses biodegradasi yang terjadi. Dengan menggunakan serangkaian data yang diperoleh oleh EPA kota Wuxi pada tanggal 25-31 Agustus 2009, model yang dikembangkan diketahui menunjukkan hasil kalibrasi yang baik untuk sejumlah parameter terukur yang meliputi DO, COD, dan ammonium nitrogen. Sayangnya karena terbatasnya ketersediaan data yang dimiliki, model yang dikembangkan tidak dapat diverifikasi. Untuk itu, guna mendukung kelayakan dari aplikasi teknologi ini, mutlak diperlukan serangkaian uji laboratorium dan data pengamatan yang lebih detail serta kajian terkait lebih lanjut.

Kata Kunci: Restorasi Sungai, Pengolahan Limbah Secara Biologis, Teknologi Bakteri, Activated Sludge Model, Sungai Xuxi

Abstract

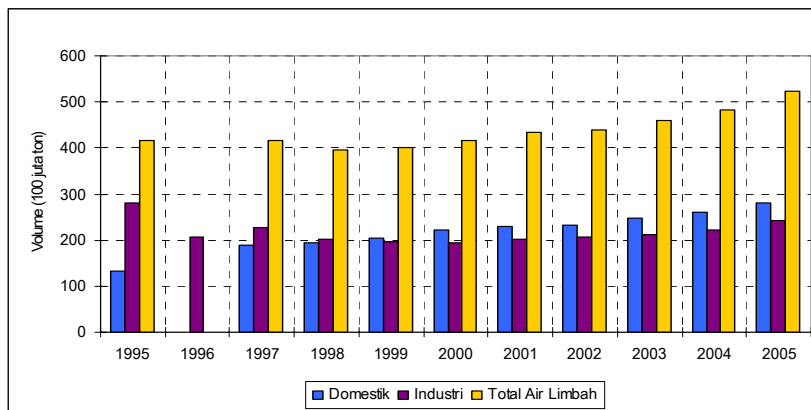
Considering the successful applications of biological treatment in several restoration works in China, this study is aimed to give description and evaluation on the application of bacterial technology in restoring urban stream/river. Here the Xuxi River in Wuxi City was selected as an example of case study. Based on the results obtained, it is found that this bacterial technology is able to provide broader views of river restoration work for urban area. Besides it results better water quality, the water is now clearer and contains aquatic life. Although a considerable increase of concentration of total phosphorus, total nitrogen, and ammonium nitrogen which might have enhanced to algae problem during the treatment, but the final results showed good achievement. Using average values of some EPA data series observed from 25 to 31 August 2009, the numerical model developed based on the concept of stream self purification and some kinetics equilibria of Activated Sludge Model No.1 (ASM-1) performed excellent results. Good agreements in time to the observed data are shown by most calibrated parameters that include DO, COD, and ammonium nitrogen. Because of data limitation, unfortunately, verification of the model could not be done. More detail data and further studies are required to support the feasibility of this technology.

Keywords: River Restoration, Biological Treatment, Bacterial technology, Urban Stream, Xuxi River

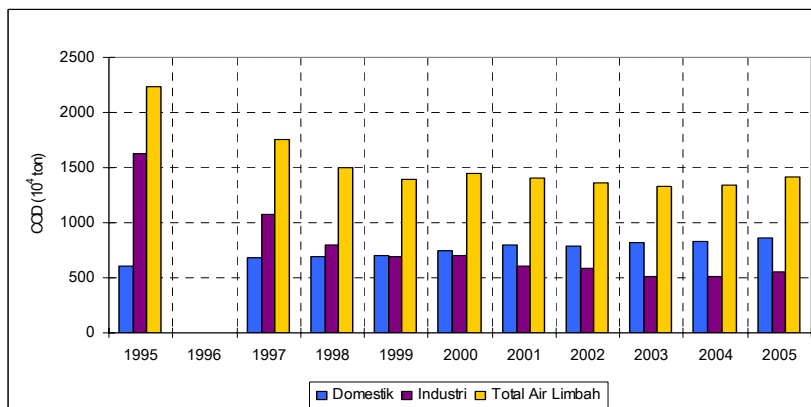
1 PENDAHULUAN

Seiring dengan pesatnya pertumbuhan penduduk perkotaan dan tingginya angka produksi sejumlah kebutuhan, sungai sebagai tampungan berbagai macam limbah kini telah mengalami penurunan kualitas air yang signifikan. Kondisi yang cukup menyedihkan sesungguhnya banyak terjadi di sejumlah negara berkembang dan kota metropolitan dimana tidak terdapat pengendalian pertumbuhan penduduk dan pengembangan industri yang baik (Jirka dan Weitbrecht, 2005). Meskipun saat ini telah tersedia berbagai macam kebijakan dan peraturan terkait dengan pengendalian pembuangan limbah ke dalam sungai, namun lemahnya praktis penegakan hukum menyebabkan penurunan kualitas air sungai dan badan air lainnya terus berlangsung. Kondisi ini kian memburuk sejak dijumpainya berbagai kegagalan sejumlah instalasi pengolahan air limbah (IPAL) dalam menghasilkan effluent sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Serupa dengan tingkat pencemaran badan air yang terjadi di Indonesia, berdasarkan studi investigasi yang dilakukan oleh Qi, dkk. pada tahun 1999, lebih dari 80% sungai-sungai di China mengalami penurunan kualitas air yang signifikan meskipun dalam kurun waktu 5 tahun terhitung 1996 – 2000 pemerintah China meraih keberhasilan luar biasa dengan diberlakukannya kebijakan dan sistem penegakan hukum yang baru terkait pencemaran badan air oleh industri. Selain ditutupnya lebih dari 80.000 industri yang dinilai bertanggungjawab atas tingginya konsentrasi bahan pencemar di sejumlah sungai, pemerintah China pun berhasil melakukan penyesuaian kualitas effluent yang dihasilkan lebih dari 214.200 buah industri. Amat sangat disayangkan ternyata keberhasilan pengendalian pencemaran badan air oleh industri tersebut tidak cukup untuk memperbaiki kualitas badan air. Sesuai dengan laporan nasional investigasi kondisi lingkungan yang dipublikasi oleh *State Environmental Protection Administration* (SEPA) pada tahun 2002, diketahui bahwa 70% dari 741 buah sungai terindikasi pencemaran yang amat serius sehingga tidak aman untuk digunakan secara langsung oleh publik. Selain kurang efektifnya pelaksanaan pengendalian tingkat pencemaran badan air ((Abigail, 1997; Zhang, dkk., 1997; Zhang, dkk., 2007), berdasarkan studi yang dilakukan oleh Wang, dkk., pada tahun 2006, teridentifikasi bahwa justru daerah perdesaan dan permukiman kota yang sesungguhnya telah memberikan kontribusi bahan pencemar domestik yang sangat besar dan kian meningkat setiap tahunnya baik volume maupun konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* atau COD (lihat Gambar 1 dan 2). Untuk itu diperlukan adanya suatu kegiatan penanganan dan pemulihan kualitas air sungai dan badan air yang tercemar.



Gambar 1 Volume air limbah terbuang yang berasal dari kawasan permukiman dan industri
(Sumber: China's Environmental Statistics and China's Statistics Yearbook, multi years)



Gambar 2. COD air limbah terbuang yang berasal dari kawasan permukiman dan industri
(Sumber: China's Environmental Statistics and China's Statistics Yearbook, multi years)

Mengingat adanya resiko dan sejumlah hasil akhir yang tidak dikehendaki dari pengolahan limbah secara kimiawi, kini teknik restorasi sungai secara alami memperoleh perhatian yang cukup besar dari berbagai kalangan. Selain pengalihan titik pembuangan limbah (Gupta, dkk., 2004), pemanfaatan pelimpah secara seri guna meningkatkan kemampuan aerasi sungai (Campolo, dkk., 2002; Cox 2003^{a,b}; Kannel, dkk., 2007; Yudianto dan Xie, 2008), serta pemompaan oksigen ke dalam badan air (Campolo, dkk., 2002; Misra, dkk., 2006), teknik restorasi menggunakan *wetland* dan *constructed wetland* telah menjadi fokus kajian selama beberapa tahun terakhir (Green, dkk., 1996; Jing, dkk., 2001; Juang dan Chen, 2007; Chen, dkk., 2008; Cheng, dkk., 2008). Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Zhou, dkk. (2007), *constructed wetland* dinilai mampu memberikan solusi terbaik dalam pengembalian daya dukung dan kualitas sungai tercemar di antara teknik restorasi yang ada. Bahkan karena biaya konstruksi dan operasi pemeliharannya yang relatif rendah dibandingkan IPAL konvensional serta kemudahannya untuk dioperasikan dalam skala yang berbeda-beda, *constructed wetland* menjadi pilihan favorit di banyak negara berkembang.

Sayangnya, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pusat Litbang Sumber Daya Air (2004) serta Juang dan Chen (2007), diketahui bahwa secara umum *wetland* dan *constructed wetland* memiliki efisiensi yang relatif rendah dalam mengolah limbah organik. Lebih daripada itu, *wetland* dan *constructed wetland* ternyata tidak mampu memberikan hasil terbaiknya apabila diaplikasikan pada suhu udara yang rendah. Terkait dengan ketersediaan lahan khususnya di daerah perkotaan, dapat dipastikan bahwa aplikasi teknologi ini menjadi semakin terbatas.

Meskipun teknologi bakteri bukanlah hal baru dalam teknik restorasi sungai dan badan air lainnya dan seiring dengan hasil studi yang dilakukan oleh Wu, dkk. (2008) yang menyatakan bahwa pengelolaan sumber daya air tercemar secara alami masih merupakan suatu tantangan mengingat akan terbentuknya produk akhir sebagai respon atas proses restorasi tersebut, namun keberhasilan yang diperoleh teknologi ini dalam proses restorasi danau Tai di kota Suzhou (Nie, dkk. 2008), peningkatan kualitas effluent dari sistem pengolahan limbah industri di kota Taixing (Liao, dkk. 2008), dan pemulihan kualitas air sejumlah sungai serta peningkatan kapasitas *wetland* di kota Shenzhen, membuat para pengambil keputusan serta sejumlah peneliti khususnya di China mulai memberikan perhatiannya kepada teknologi ini. Sebab itu, studi ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran terkait dengan proses dan hasil yang diperoleh dengan dimanfaatkannya teknologi bakteri sebagai solusi alternatif penanganan pencemaran sungai perkotaan. Adapun tinjauan kasus yang menjadi materi dasar dalam studi ini adalah pekerjaan restorasi Sungai Xuxi yang terletak di Kota Wuxi, China.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Persamaan Streeter Phelps

Sesuai dengan konsep restorasi alami sungai yang dikemukakan oleh Streeter dan Phelps pada tahun 1925, konsentrasi *dissolved oxygen* (DO) pada dasarnya akan mengalami penurunan akibat degradasi biologis dari material organik yang direpresentasikan sebagai Biochemical Oxygen Demand (BOD) (Schnoor, 1996). Hubungan antara konsentrasi DO dan BOD ini secara matematik dapat didefinisikan sebagai:

$$\frac{dL}{dt} = -u_x \frac{dL}{dx} - k_d L \quad (1)$$

$$\frac{dC}{dt} = -u_x \frac{dC}{dx} - k_d L + k_a (C_s - C) \quad (2)$$

dimana:

L : konsentrasi BOD_{ultimate} (ML⁻³)

C : Konsentrasi DO (ML⁻³)

u_x : kecepatan aliran rata-rata (L/T)

C_s : konsentrasi jenuh DO (ML⁻³)

k_d : laju *deoxygenation* (T⁻¹)

k_a : laju reaerasi (T⁻¹)

2.2 Model Reaktor

Secara umum terdapat dua buah metode yang dapat digunakan dalam memformulasikan transportasi massa aliran permukaan satu dimensi yaitu *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR) dan *Plug Flow Reactor* (PFR). Namun karena perbedaan karakteristik yang dimiliki kedua reaktor tersebut, mutlak diperlukan pemahaman kasus yang baik sebelum menentukan jenis reaktor yang sesuai (Jones, 1978; Benefield and Randall, 1980). Adapun persamaan matematik yang digunakan untuk mempresentasikan kedua jenis reaktor tersebut tersaji sebagai berikut.

CSTR

$$\frac{dS}{dt} = \frac{Q}{V} (S_0 - S) - \frac{\mu_{maxH}}{Y^o_{x/s}} \frac{S}{K_S + S} X \quad (3)$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{Q}{V} (X_0 - X) + \mu_{maxH} \frac{S}{K_S + S} X - k_{dH} X^n \quad (4)$$

PFR dengan dispersi

$$\frac{dS}{dt} = -u_x \frac{dS}{dx} + E_x \frac{d^2 S}{dx^2} - \frac{\mu_{maxH}}{Y^o_{x/s}} \frac{S}{K_S + S} X \quad (5)$$

$$\frac{dX}{dt} = -u_x \frac{dX}{dx} + E_x \frac{d^2 X}{dx^2} + \mu_{\max,H} \frac{S}{K_S + S} X - k_{dH} X^n \quad (6)$$

dimana:

S : konsentrasi substrat yang dinyatakan sebagai BOD₅ (ML⁻³)

X : konsentrasi bakteri (ML⁻³)

Q : debit inflow (L³T⁻¹)

V : volume reaktor (L³)

$\mu_{\max,H}$: laju pertumbuhan spesifik maksimum (T⁻¹)

$Y^o_{x/s}$: koefisien pemanfaatan substrat oleh bakteri

K_S : koefisien derajat kejenuhan (ML⁻³)

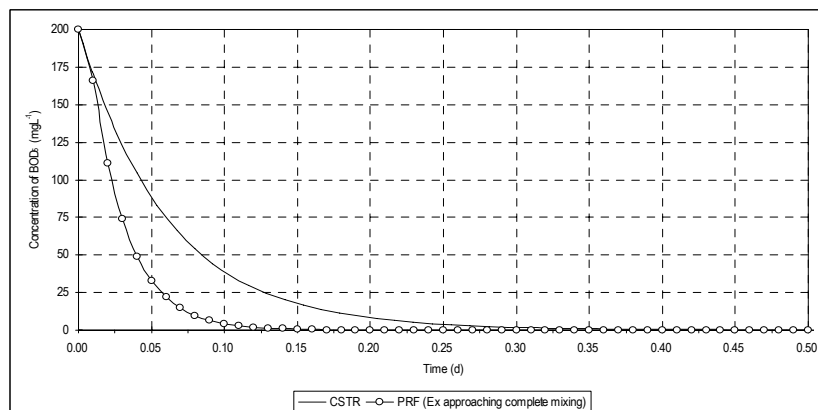
u_x : kecepatan rata-rata aliran (LT⁻¹)

E_x : koefisien dispersi (L²T⁻¹)

k_{dH} : koefisien pembusukan bakteri (T⁻¹)

n : order reaksi pembusukan, untuk kondisi linier diasumsikan sama dengan 1

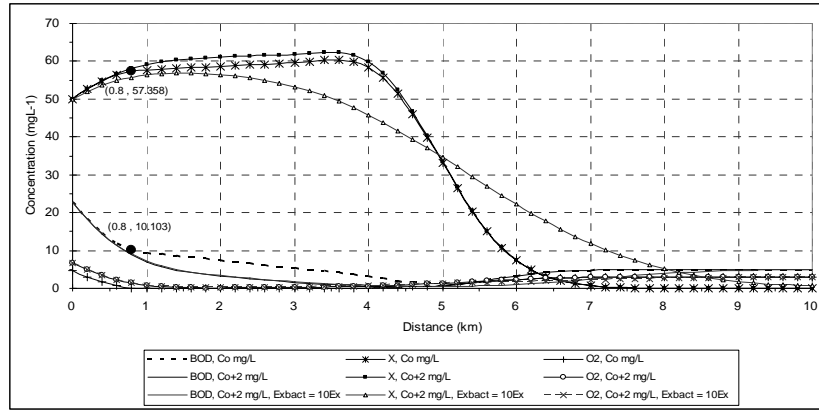
Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Lawrence dan McCarty (1970) yang kemudian dilanjutkan oleh Benefield dan Randall (1980) serta Wiesmann, et al. (2007) diketahui bahwa PFR memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan CSTR. Mengingat PFR yang ideal (lihat Gambar 1.) sesungguhnya hampir tidak pernah dijumpai dalam praktis sehari-hari, maka sungai sebagai sebuah sistem PFR dengan tingkat dispersi yang bervariasi sesungguhnya memiliki potensi yang besar untuk dapat dikaji lebih lanjut sebagai reaktor yang baik terkait dengan proses restorasi secara alami.



Gambar 3 Perbandingan hasil keluaran sistem CSTR dan PFR dari instalasi pengolah limbah cair pada kondisi ideal (Sumber: Yudianto and Xie, 2010^a)

2.3 Potensi Aplikasi Teknologi Bakteri Berdasarkan Analisis Numerik

Dengan memanfaatkan persamaan kinetik Monod, Yudianto dan Xie (2010) mencoba untuk memberikan deskripsi awal secara numerik terkait dengan aplikasi teknologi bakteri dalam proses restorasi sungai. Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh, melalui kombinasi persamaan *Streeter Phelps* dan kinetik PFR di atas, diketahui bahwa ketersediaan sejumlah substrat dan oksigen merupakan faktor pembatas bagi pertumbuhan bakteri. Dengan meningkatkan dispersi melalui *artificial mixing* dan memberikan injeksi oksigen tambahan yang cukup ke dalam badan air, efisiensi proses restorasi dapat ditingkatkan secara signifikan (lihat Gambar 4).



Gambar 4 Pengaruh *artificial mixing* dan injeksi oksigen dalam proses restorasi sungai menggunakan teknologi bakteri (Sumber: Yudianto dan Xie, 2010^a)

Pada tahap selanjutnya dimana model dikembangkan lebih jauh dengan menyertakan serangkaian proses biodegradasi seperti yang dinyatakan secara matematik dalam *Activated Sludge Model No.1*, hasil simulasi numerik yang dilakukan menjelaskan bahwa bakteri akan tumbuh jauh lebih lambat lagi apabila ammonium nitrogen yang tersedia di dalam air adalah terbatas. Selain menyebabkan ketidakefisienan dari proses biodegradasi, pada periode waktu tertentu sejumlah parameter seperti *total phosphorus*, *total nitrogen*, dan *ammonium nitrogen* akan mengalami kenaikan konsentrasi yang akhirnya memberikan potensi terhadap pembentukan alga atau bahkan terjadinya *algae bloom* selama pelaksanaan restorasi. Kemudian, berdasarkan hasil simulasi lebih lanjut diketahui pula bahwa ketidakefisienan dari proses biodegradasi juga dapat terjadi apabila teknologi bakteri ini diaplikasikan pada suhu yang rendah. Secara lengkap persamaan kinetik yang digunakan beserta hasil simulasinya disajikan pada Persamaan (7) – (16) dan Gambar 5-7 berikut ini.

Readily biodegradable COD (S_s):

$$\frac{dS_s}{dt} = -u_x \frac{dS_s}{dx} + E_x \frac{d^2 S_s}{dx^2} - \frac{\mu_{maxH}}{Y_{xH/SS}} \frac{S_s}{K_S + S_s} \left[\frac{C}{K_{OH} + C} \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} + \eta_g \frac{K_{OH}}{K_{OH} + C} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right] X_H \quad (7)$$

$$+ k_h \frac{X_s/X_H}{K_X + X_s/X_H} \left[\frac{C}{K_{O_2} + C} + \eta_h \frac{K_{O_2}}{K_{O_2} + C} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right] X_H$$

Active heterotrophic bacteria (X_H):

$$\frac{dX_H}{dt} = -u_x \frac{dX_H}{dx} + E_x \frac{d^2 X_H}{dx^2} + \mu_{maxH} \frac{S_s}{K_S + S_s} \left[\frac{C}{K_{OH} + C} \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} + \eta_g \frac{K_{OH}}{K_{OH} + C} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right] X_H - k_{dH} X_H^{nH} \quad (8)$$

Active autotrophic bacteria (X_A):

$$\frac{dX_A}{dt} = -u_x \frac{dX_A}{dx} + E_x \frac{d^2 X_A}{dx^2} + \mu_{maxA} \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \frac{C}{K_{OA} + C} X_A - k_{dA} X_A^{nA} \quad (9)$$

Nitrate nitrogen (S_{NO_3}):

$$\frac{dS_{NO_3}}{dt} = -u_x \frac{dS_{NO_3}}{dx} + E_x \frac{d^2 S_{NO_3}}{dx^2} - \mu_{maxH} \eta_g \frac{1 - Y_{xH/SS}}{2.86 Y_{xH/SS}} \frac{S_s}{K_S + S_s} \frac{K_{OH}}{K_{OH} + C} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} X_H \quad (10)$$

$$+ \frac{\mu_{maxA}}{Y_{NO_3/XA}} \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \frac{C}{K_{OA} + C} X_A$$

Ammonium nitrogen (S_{NH_4}):

$$\begin{aligned} \frac{dS_{NH_4}}{dt} = & -u_x \frac{dS_{NH_4}}{dx} + E_x \frac{d^2 S_{NH_4}}{dx^2} - iX_B \mu_{\max H} \frac{S_S}{K_S + S_S} \\ & \left[\frac{C}{K_{OH} + C} \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} + \eta_g \frac{K_{OH}}{K_{OH} + C} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right] X_H + k_{aN} S_{ND} X_H \\ & - \mu_{\max A} \left[iX_B + \frac{1}{Y_{NO_3/XA}} \right] \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \frac{C}{K_{OA} + C} X_A \end{aligned} \quad (11)$$

Slowly biodegradable COD (X_S):

$$\begin{aligned} \frac{dX_S}{dt} = & -u_x \frac{dX_S}{dx} + E_x \frac{d^2 X_S}{dx^2} + (1-f_p)k_{dH} X_H + (1-f_p)k_{dA} X_A \\ & - k_h \frac{X_S/X_H}{K_X + X_S/X_H} \left[\frac{C}{K_{OH} + C} + \eta_h \frac{K_{OH}}{K_{OH} + C} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right] X_H \end{aligned} \quad (12)$$

Particulate products from COD decay (X_P):

$$\frac{dX_P}{dt} = -u_x \frac{dX_P}{dx} + E_x \frac{d^2 X_P}{dx^2} + f_p k_{dH} X_H + f_p k_{dA} X_A \quad (13)$$

Soluble degradable organic nitrogen (S_{ND}):

$$\begin{aligned} \frac{dS_{ND}}{dt} = & -u_x \frac{dS_{ND}}{dx} + E_x \frac{d^2 S_{ND}}{dx^2} - k_{aN} S_{ND} X_H \\ & + k_h \frac{X_{ND}/X_H}{K_X + X_S/X_H} \left[\frac{C}{K_{OH} + C} + \eta_h \frac{K_{OH}}{K_{OH} + C} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right] X_H \end{aligned} \quad (14)$$

Particulate degradable organic nitrogen (X_{ND}):

$$\begin{aligned} \frac{dX_{ND}}{dt} = & -u_x \frac{dX_{ND}}{dx} + E_x \frac{d^2 X_{ND}}{dx^2} + (iX_B - f_p iX_P) (k_{dH} X_H + k_{dA} X_A) \\ & - k_h \frac{X_{ND}/X_H}{K_X + X_S/X_H} \left[\frac{C}{K_{OH} + C} + \eta_h \frac{K_{OH}}{K_{OH} + C} \frac{S_{NO_3}}{K_{NO_3} + S_{NO_3}} \right] X_H \end{aligned} \quad (15)$$

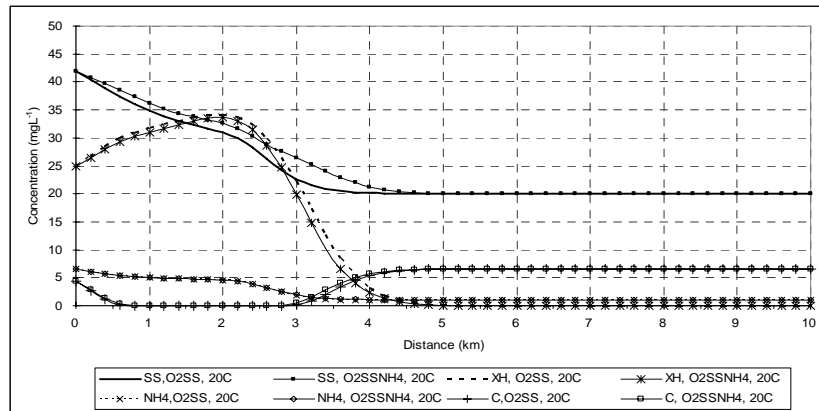
Dissolved oxygen (C):

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} = & -u_x \frac{dC}{dx} + E_x \frac{d^2 C}{dx^2} + k_a (C_s - C) - \mu_{\max H} \frac{1 - Y_{XH/SS}}{Y_{XH/SS}} \frac{S_S}{K_S + S_S} \\ & \left(\frac{C}{K_{OH} + C} \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \right) X_H - \mu_{\max A} \frac{4.57 - Y_{NO_3/XA}}{Y_{NO_3/XA}} \frac{S_{NH_4}}{K_{NH_4} + S_{NH_4}} \frac{C}{K_{OA} + C} X_A \end{aligned} \quad (16)$$

dimana

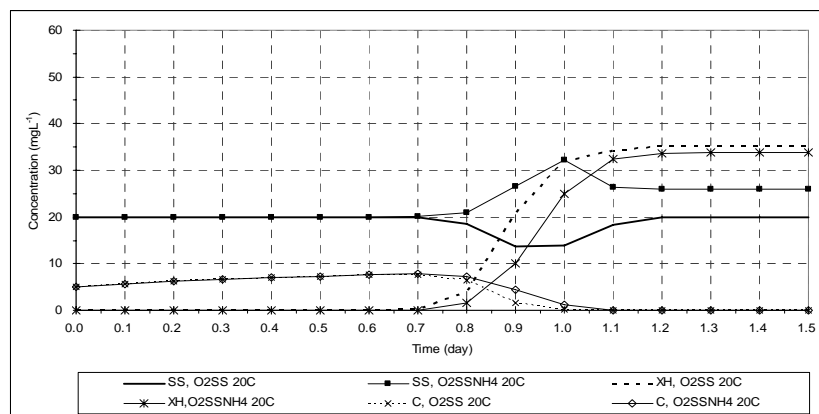
- $Y_{XH/SS}$: mg biomass COD formed per mg COD removed
 f_p : mg debris COD (mg biomass COD)⁻¹
 iX_B : mg N (mg COD)⁻¹ in active biomass
 iX_P : mg N (mg COD)⁻¹ in active debris

- $Y_{NO_3/XS}$: mg biomass COD formed per mg N oxidized
- $\mu_{max H}$: laju pertumbuhan maksimum bakteri heterotropik
- $\mu_{max A}$: laju pertumbuhan maksimum bakteri autotropik
- K_{dH} : koefisien pembusukan bakteri heterotropik
- K_{dA} : koefisien pembusukan bakteri autotropik
- K_S : half saturation coefficient of degradable dissolves in heterotrophic growth
- K_{OH} : half saturation coefficient of oxygen in heterotrophic growth
- K_{NO_3} : half saturation coefficient of NO_3 in anoxic heterotrophic growth
- K_X : half saturation coefficient of organic in hydrolysis
- K_{NH_4} : half saturation coefficient of NH_4 in growth of heterotrophs
- K_{OA} : half saturation coefficient of oxygen in nitrifying bacterial growth
- k_h : koefisien laju hidrolisis maksimum pada suhu 20°C
- k_{aN} : ammonification rate by anoxic hydrolysis of heterotrophs
- k_a : koefisien reaerasi
- η_g : correction factor for anoxic growth of heterotrophs
- η_h : correction factor for anoxic hydrolysis



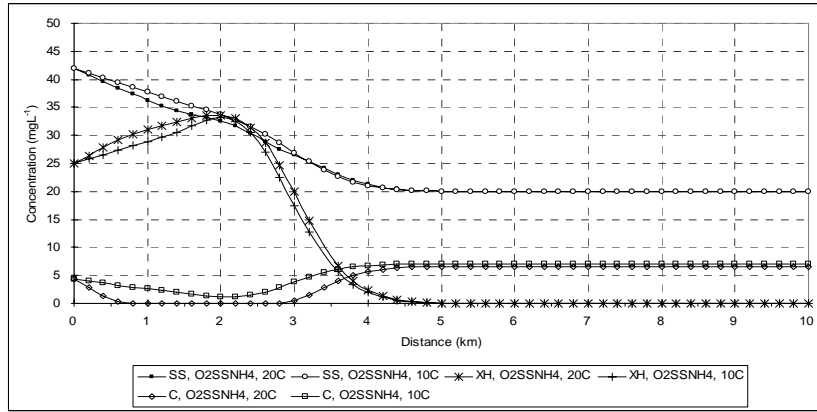
Gambar 5 Pengaruh terbatasnya ketersediaan *ammonium nitrogen* terhadap distribusi konsentrasi parameter COD, bakteri, *ammonium nitrogen*, dan DO

(Sumber: Yudianto dan Xie, 2010^b)



Gambar 6 Pengaruh terbatasnya ketersediaan *ammonium nitrogen* terhadap proses biodegradasi secara periodik

(Sumber: Yudianto dan Xie, 2010^b)



Gambar 7 Pengaruh temperatur terhadap proses biodegradasi

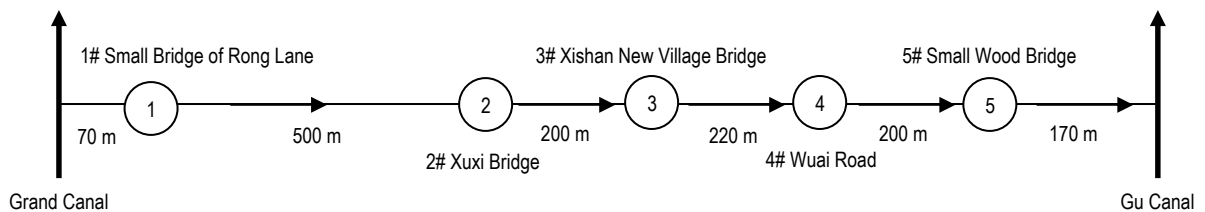
(Sumber: Yudianto dan Xie, 2010^b)

3 METODOLOGI

Studi ini merupakan kajian lanjutan dari keberhasilan aplikasi teknologi bakteri pada sejumlah instalasi pengolah air limbah, danau, *wetland*, dan *communal septic tank* di negara China. Dengan mengambil kasus Sungai Xuxi di Kota Wuxi, studi ini mencoba untuk memaparkan secara umum proses pengembalian daya dukung sungai perkotaan yang tercemar dengan menggunakan teknologi bakteri yang mencakup pemilihan lokasi studi, pengembangan biokultur bakteri, pola dan teknis pendistribusian bakteri ke dalam sungai, serta identifikasi produk akhir yang dihasilkan dalam proses restorasi tersebut. Selain memberikan gambaran pelaksanaan pekerjaan restorasi Sungai Xuxi, di dalam makalah ini juga disajikan sejumlah hasil akhir dari aplikasi teknologi bakteri terkait.

4 GAMBARAN UMUM LOKASI STUDI

Sungai Xuxi, yang sebelumnya lebih dikenal dengan nama Shaoxiangbang, terletak di wilayah Chang Nan Kota Wuxi. Berawal dari Jing Hang *canal*, Sungai Xuxi mengalir melalui sebuah saluran kuno yang memiliki total panjang saluran 1,36 km, lebar permukaan rata-rata 5,0 m, dan kedalaman aliran sebesar 1,5 m. Untuk jelasnya, skema Sungai Xuxi tersaji pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8 Skema Sungai Xuxi berikut letak titik pengamatan kualitas air

Selain terdapat kawasan permukiman yang cukup padat di sepanjang aliran sungai, di sisi hilir Sungai Xuxi terdapat sebuah pasar tradisional yang setiap harinya memberikan kontribusi volume sampah padat yang besar ke dalam sungai. Hal ini tentu saja mengakibatkan sungai menghasilkan bau amis yang amat tidak sedap dan memiliki warna hijau pekat. Di samping limbah domestik tersebut di atas, Sungai Xuxi ternyata diketahui pula menerima beban buangan limbah dari sekitar 50 buah industri rumah tangga dan 5 buah jamban umum. Secara lengkap, kondisi Sungai Xuxi sebelum dilakukannya kegiatan restorasi disajikan pada Gambar 9.

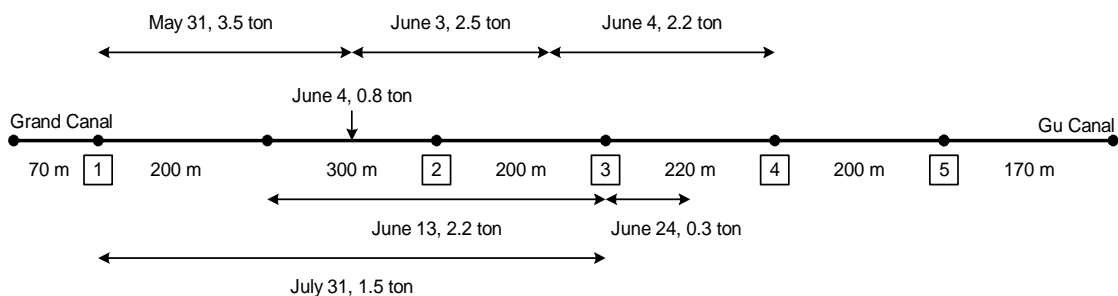
5 PEKERJAAN RESTORASI

Secara umum pekerjaan restorasi Sungai Xuxi dilakukan sepanjang 1,2 km terhitung mulai dari titik Small Bridge of Rong Lane hingga Jembatan *Small Wood*. Agar bakteri dapat dimanfaatkan secara efisien, tepat di bawah Jembatan *Small Wood* dibangun sebuah ambang tidak permanen dengan tinggi 0,5 m di atas muka air rata-rata. Kemudian karena total volume bakteri yang akan diaplikasikan ke dalam sungai adalah cukup besar yaitu 11,1 ton dan sehubungan dengan kemudahan praktis pelaksanaan di lapangan, bakteri dikembangkan di tepi Sungai Xuxi dengan menggunakan drum.



Gambar 9 Kondisi Sungai Xuxi sebelum dilakukannya kegiatan restorasi

Mengingat kurangnya studi penelitian dan referensi terkait dengan aplikasi teknologi bakteri untuk mengembalikan daya dukung sungai dan karena kesulitan dalam pengendalian sumber-sumber pencemaran di sepanjang Sungai Xuxi, praktis pendistribusian bakteri ke dalam Sungai Xuxi dilakukan berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan pengalaman penulis khususnya Prof. Xie Yuebo. Seperti yang tersaji pada Gambar 10 diketahui bahwa bakteri didistribusikan ke dalam Sungai Xuxi secara bertahap dengan volume yang berbeda-beda. Pendistribusian awal dilakukan pada tanggal 31 Mei 2009 dengan total volume bakteri sebesar 3,5 ton. Pendistribusian kembali dilakukan secara kontinu pada tanggal 3 Juni 2009 (2,5 ton), 4 Juni 2009 (3,0 ton), 13 Juni 2009 (2,2 ton), 24 Juni 2009 (0,3 ton), dan 31 Juli 2009 (1,5 ton).



Gambar 10 Pola pendistribusian bakteri ke dalam Sungai Xuxi

6 HASIL PENELITIAN

6.1 Hasil Pelaksanaan Restorasi Lapangan

Setelah kurang lebih 3 bulan pelaksanaan pekerjaan restorasi Sungai Xuxi, tepatnya pada tanggal 25 - 31 Agustus 2009, dilakukan pengambilan contoh air oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) Kota Wuxi. Berdasarkan hasil uji laboratorium EPA diketahui bahwa Sungai Xuxi mengalami peningkatan kualitas air yang sangat signifikan. Selain ini Sungai Xuxi memiliki air yang jernih, pada sejumlah lokasi terindikasi adanya kehidupan grup ikan kecil. Meskipun selama proses restorasi diketahui bahwa terdapat peningkatan konsentrasi sejumlah parameter yang meliputi *total phosphorus*, *total nitrogen*, dan *ammonium nitrogen*, serta terjadinya pembentukan alga di permukaan air sungai, namun di akhir pekerjaan diperoleh hasil yang cukup menjanjikan (lihat Gambar 11 dan 12).



(a) Penyebaran *flocs* di dekat Jalan Wuai



(b) Tampak dekat dari *flocs*



(c) Kondisi sisi hulu Sungai Xuxi



(d) Kondisi sisi tengah hulu Sungai Xuxi



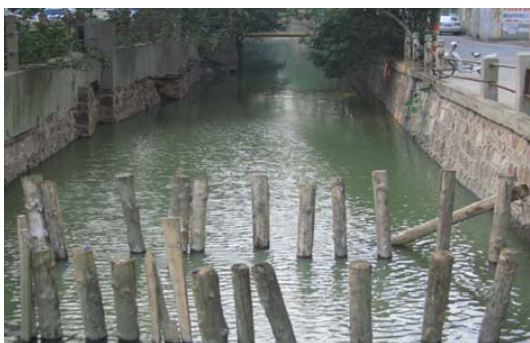
(e) Kondisi sisi tengah hilir Sungai Xuxi



(f) Kondisi sisi hilir Sungai Xuxi

Gambar 11 Ilustrasi pembentukan *flocs* dan penyebaran alga dalam proses restorasi Sungai Xuxi

Seperti yang tersaji pada Gambar 13, pada konsentrasi *dissolved oxygen* berkisar antara 2,14 – 2,72 mg/liter, konsentrasi COD, *total nitrogen*, *total phosphorus* dan *ammonium nitrogen* menurun cukup signifikan pada arah hilir meskipun pada saluran bagian tengah konsentrasi keempat parameter di atas sempat mengalami kenaikan akibat dominasi bakteri yang dituangkan pada ruas tersebut. Amat disayangkan, pada awal pelaksanaan pekerjaan ini tidak dilakukan pengambilan contoh air secara detail yang tentunya memberikan manfaat informasi teknis kualitas air sungai sebelum dilakukannya restorasi.



(a) Tampak Sungai Xuxi di dekat Jalan Wuai



(b) Tampak Sungai Xuxi di hulu Jembatan Xiaomu

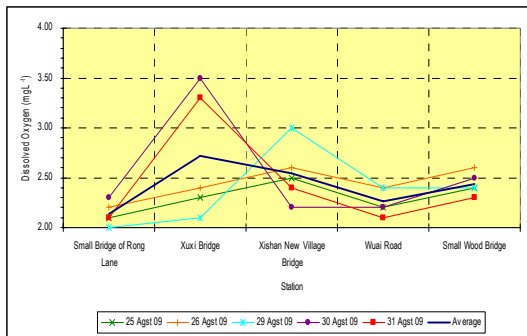


(c) Tampak Sungai Xuxi tepat di Jembatan Xiaomu

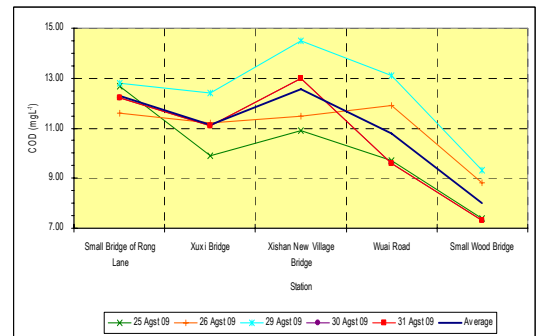


(d) Penampakan group ikan kecil

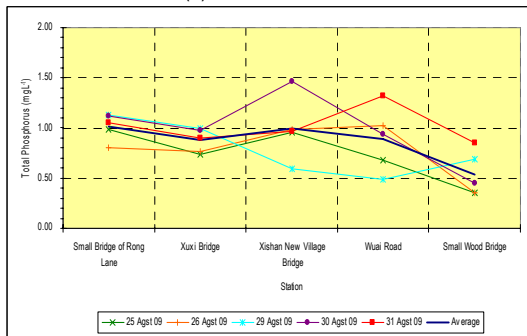
Gambar 12 Kondisi Sungai Xuxi setelah restorasi



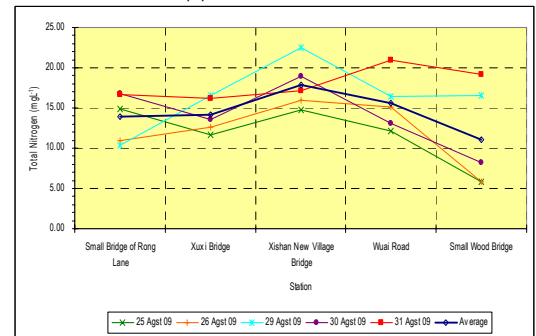
(a) Konsentrasi DO



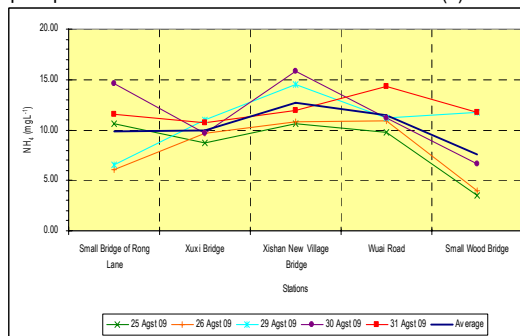
(b) Konsentrasi COD



(c) Konsentrasi total phosphorus



(d) Konsentrasi of total nitrogen

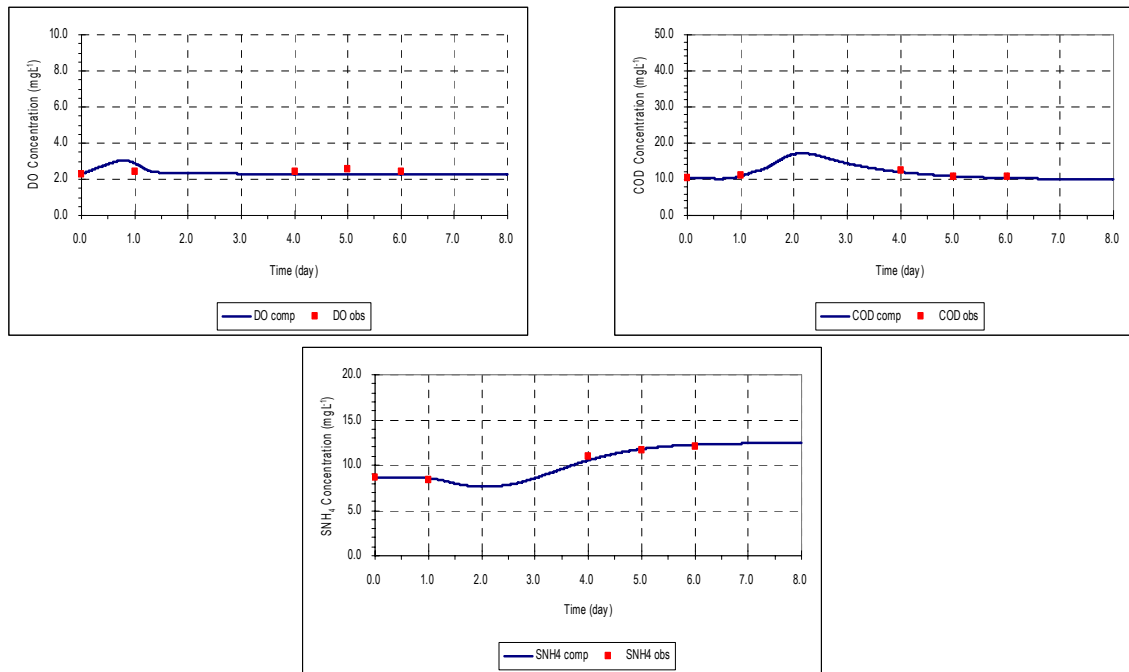


(e) Konsentrasi ammonium nitrogen

Gambar 13 Konsentrasi sejumlah parameter kualitas air Sungai Xuxi pada tanggal 25-31 Agustus 2009

6.2 Hasil Kalibrasi Model Numerik

Ditinjau dari segi pemodelan, berdasarkan konsep *self purification* seperti yang diuraikan oleh Streeter dan Phelps, diketahui bahwa persamaan kinetik *Activated Sludge Model No.1* (ASM-1) mampu memberikan gambaran mekanisme proses biodegradasi yang terjadi. Dengan menggunakan serangkaian data yang diperoleh oleh EPA kota Wuxi pada tanggal 25-31 Agustus 2009, model yang dikembangkan menunjukkan hasil kalibrasi yang baik untuk sejumlah parameter terukur yang meliputi DO, COD, dan *ammonium nitrogen*. Sayangnya karena terbatasnya ketersediaan data yang dimiliki, model yang dikembangkan tidak dapat diverifikasi lebih lanjut. Secara lengkap hasil kalibrasi model disajikan pada Gambar 14.



Gambar 14 Kalibrasi model terkait parameter DO, COD, dan ammonium nitrogen terhadap waktu

7 PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil yang tersaji pada Gambar 11 - 13, secara umum dapat disimak bahwa aplikasi teknologi bakteri memberikan pandangan baru dalam proses restorasi sungai. Selain dapat mengisi gap yang terjadi dalam praktis restorasi (Abigail, 1997; Zhang, dkk., 1997; Pusat Litbang Sumber Daya Air, 2004; Zhang, dkk., 2007; Juang and Chen, 2007; Liao, dkk., 2008), khususnya bagi daerah perkotaan dimana ketersediaan lahan adalah amat terbatas, teknologi bakteri ini dapat menjadi alternatif solusi dalam hal restorasi sungai tercemar. Meskipun terindikasi pembentukan alga secara signifikan selama proses pengelolaan sebagai dampak atas meningkatnya konsentrasi sejumlah substrat baik *nitrogen* maupun *phosphorus* (Wu, dkk., 2008; lihat Gambar 9), tidak dapat dipungkiri bahwa pada akhir pekerjaan diperoleh hasil yang cukup menjanjikan. Sayangnya dalam pekerjaan restorasi Sungai Xuxi ini tidak dilakukan pengamatan kualitas air secara detail. Selain tidak tersedianya informasi kualitas air sebelum pekerjaan restorasi dilaksanakan, data akhir yang digunakan oleh EPA sebagai dasar penilaian atas kinerja teknologi bakteri ini sangatlah minim sehingga hasil akhir yang diperoleh kurang memiliki nilai keilmuan yang berarti. Kemudian karena dalam pelaksanaan pekerjaan ini tidak ada pengendalian atas sumber-sumber pencemaran di sepanjang Sungai Xuxi dan melihat penentuan pola pendistribusian bakteri yang didasarkan kepada sejumlah faktor termasuk pengalaman lapangan ahli terkait, amat dimungkinkan terjadinya ketidakefisienan proses restorasi. Untuk itu diperlukan adanya pengujian contoh air lebih lanjut dan penyempurnaan model matematik yang kiranya dapat memberikan kontribusi dalam penentuan baik lokasi, waktu, dan konsentrasi bakteri yang dibutuhkan untuk menguraikan limbah organik pada badan sungai. Mengingat bakteri merupakan mikroorganisme yang sensitif dan memiliki kemampuan bermutasi pada kondisi lingkungan tertentu, pelaksanaan studi mikrobiologi menjadi amat penting guna menjamin bahwa teknologi ini adalah aman untuk digunakan dalam pekerjaan restorasi sungai tercemar.

8 KESIMPULAN DAN SARAN

Melihat keberhasilan aplikasi teknologi bakteri dalam sejumlah pekerjaan pengendalian pencemaran sumber daya air, studi ini merupakan kajian awal yang diperuntukan bagi penyediaan informasi dasar atas aplikasi teknologi terkait dalam proses pengembalian daya dukung sungai perkotaan yang tercemar limbah domestik. Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam pekerjaan restorasi Sungai Xuxi, sejumlah kesimpulan dan saran yang dapat diberikan melalui studi ini antara lain:

1. Teknologi bakteri menawarkan solusi yang inovatif dalam pengembalian daya dukung sungai tercemar.
2. Meskipun secara visual hasil yang diberikan oleh teknologi bakteri ini cukup menjanjikan, kurangnya data pengamatan yang dimiliki melemahkan dukungan ilmiah terhadap aplikasi dari teknologi bakteri ini.
3. Untuk menjamin bahwa teknologi ini aman untuk diaplikasikan perlu dilakukan studi mikrobiologi lebih lanjut dan studi terkait lainnya yang memberikan indikasi terbentuknya sejumlah produk akhir baru yang tentunya tidak dikehendaki selama dan pada akhir pengelolaan sungai tercemar.
4. Pengujian aplikasi teknologi bakteri terkait dalam skala laboratorium dan pengembangan model matematik lebih lanjut mutlak diperlukan untuk meningkatkan efisiensi dari aplikasi teknologi bakteri.

9 DAFTAR PUSTAKA

- Abigail, R.J. (1997) The Contradictory Impact of Reform on Environmental Protection in China. *China Quarterly*, 149, 81 - 103.
- Benefield, L.D. and Randall, C.W., (1980) Biological Process Design for Wastewater Treatment. New York: Prentice Hall, Inc.
- Campolo, M., Andreussi, P., and Soldati, A. (2002) Water Quality Control in the River Arno, Technical Note. *Water Resources*, 36(10), 2673–2680.
- Chen, Z.M., Chen, B., Zhou, J.B., Li, Z., Zhou, Y., Xi, X.R., Lin, C., and Chen, G.Q. (2008) A Vertical Subsurface-Flow Constructed Wetland in Beijing. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 13(9), 1986-1997.
- Cheng, H.S., Yusoff, M.K., Shutes, B., Ho, S.C., and Mansor, M. (2008) Nutrient Removal in A Pilot and Full Scale Constructed Wetland, Putrajaya city, Malaysia. *Journal of Environmental Management*, 88(2), 307-317.
- Cox, B.A. (2003^a) A Review of Currently Available In-stream Water Quality Models and Their Applicability for Simulating Dissolved Oxygen in Lowland Rivers. *The Science of the Total Environment*, 314 –316(1), 335–377.
- Cox, B.A. (2003^b) A Review of Dissolved Oxygen Modelling Techniques for Lowland Rivers. *The Science of the Total Environment*, 314 –316(1), 303–334.
- Gupta, I., Dhage, S., Chandorkar, A.A., and Srivastav, A. (2004) Numerical Modeling for Thane Creek. *Environmental Modelling & Software*, 19(6), 571–579.
- Green, M., Safray, I., and Agami, M. (1996) Constructed Wetlands for River Reclamation: Experimental design, start-up and preliminary results. *Bioresource Technology*, 55(2), 157-162.
- Jing, S.R., Lin, Y.F., Lee, D.Y., and Wang, T.W. (2001) Nutrient Removal from Polluted River Water by Using Constructed Wetlands. *Bioresource Technology*, 76(2), 131-135.
- Jirka, G.H. and Weitbrecht, V. (2005) Mixing Models for Water Quality Management in Rivers: Continuous and instantaneous pollutant releases. In *Water Quality Hazards and Dispersion of Pollutants*. Rowinski, P.M. and Czernuszenko, W., Eds. Springer: New York, 1-34.
- Jones, G.L. (1978) A Mathematical Model for Bacterial Growth and Substrate Utilization in the Activated Sludge Process. In *Mathematical Models in Water Pollution Control*. James. A., Ed., John Wiley and Sons: Avon, 265-279.
- Juang, D.F., and Chen, P.C. (2007) Treatment of Polluted River Water by A New Constructed Wetland. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 4(4), 481-488.
- Kannel, P.R., Lee, S. Lee, Y.S., Kanel, S.R., and Pelletier, G.J. (2007) Application of Automated QUAL2Kw for Water Quality Modeling and Management in the Bagmati River, Nepal. *Ecological Modelling*, 202(3-4), 503–517.
- Lawrence, A.W. and McCarty, P.L., (1970) Unified basis for biological treatment design and operation. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE*, 96(3): 767 - 778.
- Liao, J., Xie, Y.B., Zong, X.C., and Cao, G.J. (2008) Pilot Study on Treatment of Complicated Chemical Industrial Effluent with CABRM Process. *Pollution Control Technology*, 21(1), 11-15.
- Misra, A.K., Chandra, P. and Shukla, J.B. (2006) Mathematical Modeling and Analysis of the Depletion of Dissolved Oxygen in Water Bodies. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, 7(5), 980 – 996.
- Nie, Q.Y., Xie, Y.B., Zhuang, J., and She, L.L. (2008) Cyanobacteria Control Using Microorganism. *World Sci-Tech Research and Development*, 30(4), 430-432.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air (RIWRD) (2004) Status Mutu Air Sungai (in Indonesian). Ministry of Public Works: Bandung.
- Qi, F., Cheng, G.D., and Masao, M., (1999) Water resources in China: problems and countermeasures. *Ambio* 28(2): 202 - 203.
- Schnoor, J.L. (1996) *Environmental Modeling: fate and transport of pollutants in water, air, and soil*. John Wiley and Sons: New York.
- State Environmental Protection Administration (SEPA), (2002) Report on the State of the Environment in China 2002. Environmental Information Centre (SEPA), Beijing.
- Wang, M., Webber, M., Finlayson, B., and Barnett, J., (2006) Rural industries and water pollution in China. *Journal of Environmental Management*, 86: 648 - 659.
- Wu, Q.H., Zhang, R.D., Huang, S., and Zhang H.J. (2008) Effects of bacteria on nitrogen and phosphorus release from river sediment. *Journal of Environmental Sciences*, 20: 404 - 412.
- Wiesmann, U., Choi, I.S., and Dombrowski, E.M. (2007) *Fundamentals of Biological Wastewater Treatment*, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA: Weinheim.
- Yudianto, D. and Xie, Y.B. (2008) The Development of Simple DO Sag Curve in Lowland Non-tidal River using MATLAB. *Journal of Applied Science in Environmental Sanitation*, 3(2), 80-98.
- Yudianto, D. and Xie, Y.B. (2010) The Feasibility of Bacteria Application for Treating the Polluted Urban Stream from the Perspective of Numerical Modelling. In Press of *Polish Journal of Environmental Studies*, Vol. 19(2), 421-429.
- Yudianto, D. and Xie, Y.B. (2010) Influences of Limited Ammonium Nitrogen and Water Temperature on the Urban Stream Restoration. In Press of *Journal of Water Resources and Protection*.

- Zhang, T. Z., Wang, D.Q., Wu, G.Y., and Wang, J.N. (1997) Water Pollution Charges in China: Practice and Prospects. In *Applying Market based Instruments to Environmental Policies in China and OECD Countries*. Organization for Economic Co-operation and Development, Ed., OECD: Paris, 239 - 257.
- Zhang, K.M., Wen, Z.G., and Peng, L.Y. (2007) Environmental Policies in China: Evolvement, Features and Evaluation. *China Population, Resources, and Environment*, 17(2), 1 - 7.
- Zhou, J.B., Jiang, M.M., Chen, B., and Chen, G.Q., (2007) Emergy evaluations for constructed wetland and conventional wastewater treatments. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 14(4): 1781-1789.