

APLIKASI TEKNOLOGI BAKTERI DALAM PEKERJAAN RESTORASI SUNGAI XUXI, KOTA WUXI, CHINA

Doddi Yudianto¹✉, Xie Yuebo²

¹ Universitas Katolik Parahyangan
Jln. Ciumbuleuit No. 94, Bandung

²National Engineering Research Center of Water Resources Efficient Utilization and Engineering Safety
Hohai University
Xikang Road, Nanjing, Jiangsu Province, China
✉ E-mail: doddi_yd@yahoo.com

Diterima: 29 September 2009 Disetujui: 15 Maret 2010

ABSTRAK

Melihat keberhasilan aplikasi teknik pengolahan limbah secara biologi dari sejumlah pekerjaan restorasi di negeri China, studi ini bermaksud untuk memberikan gambaran baik proses maupun hasil yang diperoleh dari pemanfaatan teknologi bakteri dalam merestorasi sungai perkotaan. Sehubungan 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.

Kata kunci: Restorasi sungai, pengolahan limbah secara biologis, teknologi bakteri, sungai perkotaan, Sungai Xuxi.

ABSTRACT

Considering previous successful applications of biological treatment in several restoration works in China, this study is aimed to describe the complete processes and results derived from the application of bacterial technology in restoring urban 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 may have enhanced to Algae problem during the treatment, but the final results show good achievement. Detail laboratory tests and mathematical model development are necessary to optimize the implementation.

Keywords: River restoration, biological treatment, bacterial technology, urban stream, Xuxi River.

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 penegakan

hukum praktis 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 keberha-

silan 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. (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.

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.

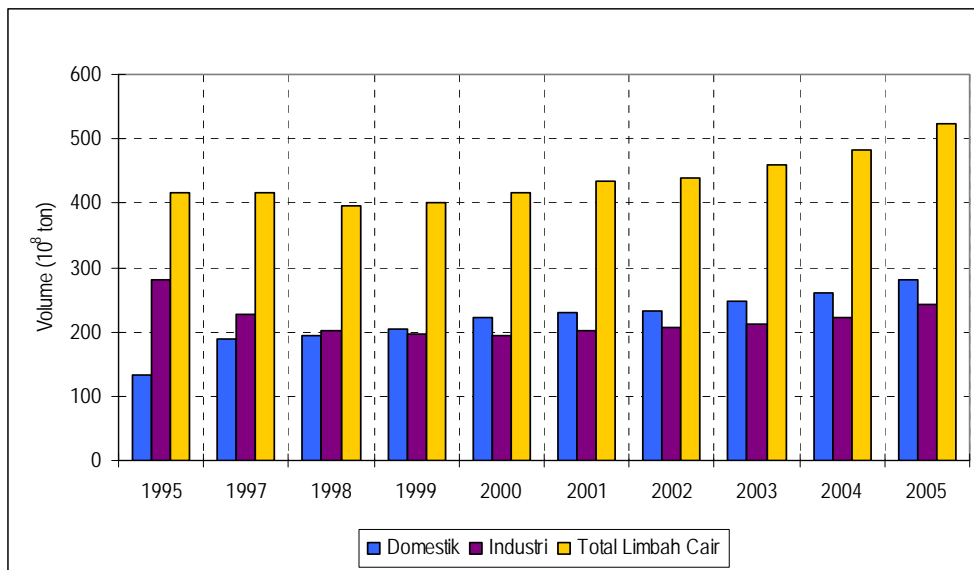
Sayangnya, berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Pusat Litbang Sumber Daya Air (2004) serta Juang dan Chen (2007), diketahui bahwa secara umum *wetland* dan *constructed wetland* memiliki *surface loading* yang relatif rendah dalam mengolah limbah organik. Lebih daripada itu, *wetland* dan *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 sebelumnya dari 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, teknis pelaksanaan, 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 (Yudianto dan Xie, publikasi tahun 2011).

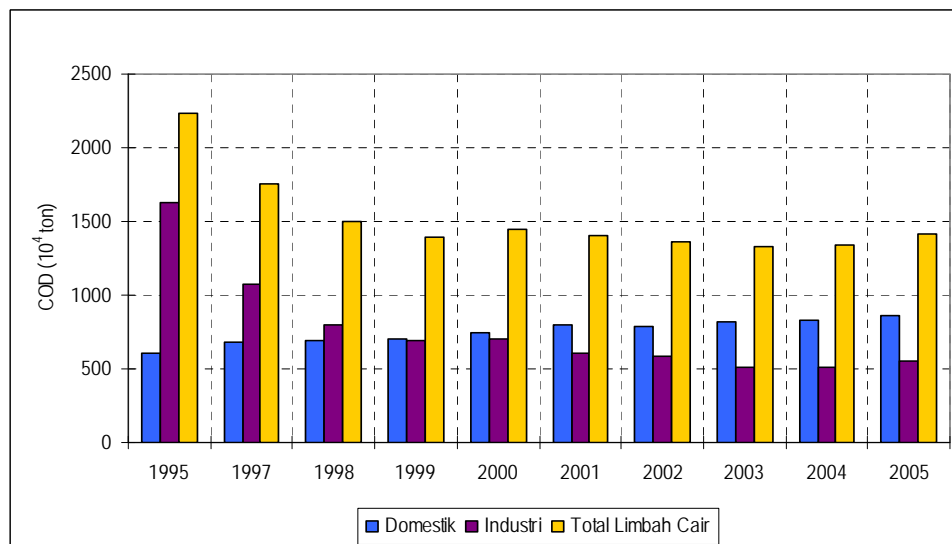
TINJAUAN PUSTAKA

1 Parameter Kualitas Air

Pada dasarnya kualitas air sangat tergantung kepada komponen penyusunnya. Sebagai luasan yang terbuka, air permukaan praktis akan dipengaruhi oleh berbagai faktor yang kiranya memberikan kontribusi atau masukan terhadap konsentrasi parameter kualitas air dari badan air tersebut. Pembuangan limbah baik padat maupun cair ke dalam badan air tentunya merupakan faktor yang sangat penting yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas air secara signifikan.



Gambar 1 Volume Limbah Cair Terbuang yang Berasal dari Permukiman dan Industri (Zhang, dkk., 2007)



Gambar 2 COD Air Limbah Terbuang yang Berasal dari Permukiman dan Industri (Zhang, dkk. 2007)

Secara umum, terdapat sejumlah parameter kualitas air yang menjadi acuan dalam penilaian tingkat pencemaran yang terjadi. Dua diantaranya adalah *Biological Oxygen Demand* (BOD) dan *Dissolved Oxygen* (DO). Analisis BOD adalah suatu analisis empiris untuk mengukur proses biologis yang terkait khususnya dengan aktivitas mikroorganisme yang berlangsung di dalam air. Di sisi lain, DO merupakan suatu pendekatan umum yang menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme untuk menguraikan material atau zat organik terlarut dan sebagian zat organik yang tersuspensi di dalam air. Selain BOD, di dalam pemantauan kualitas air

sungai atau pun badan air lainnya, nilai DO ini menjadi salah satu parameter yang juga digunakan untuk mengukur tingkat pencemaran air. Namun demikian, kelarutan oksigen di dalam air sangat dipengaruhi oleh suhu. Semakin tinggi suhu, seiring dengan meningkatnya aktivitas penguraian material atau zat organik oleh mikroorganisme, maka konsentrasi oksigen yang terlarut di dalam air akan semakin rendah.

2 Persamaan Streeter dan 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 terkandung dalam air dan direpresentasikan sebagai *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) (Schnoor 1996). Secara matematik, hubungan antara konsentrasi BOD dan DO ini dapat didefinisikan sebagai:

$$\frac{dL}{dt} = -u_x \frac{dL}{dx} + E_x \frac{d^2L}{dx^2} - k_d L \quad \dots (1)$$

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

$$\frac{dD}{dt} = -u_x \frac{dD}{dx} + E_x \frac{d^2D}{dx^2} + k_d L - k_a D \quad \dots (3)$$

dengan keterangan:

- L , konsentrasi BOD_{ultimate} (ML⁻³)
- C , konsentrasi DO (ML⁻³)
- D , konsentrasi defisit DO (ML⁻³)
- u_x , kecepatan aliran rata-rata (LT⁻¹)
- E_x , koef. dispersi horisontal (L²T⁻¹)
- C_s , konsentrasi jenuh DO (ML⁻³)
- k_d , laju *deoxygenation* (T⁻¹)
- k_a , laju reaerasi (T⁻¹)

Seperti yang tersaji dalam persamaan (1) dan (2), terdapat lima buah parameter yang mempengaruhi profil konsentrasi DO dan BOD. Selain parameter adveksi (u_x) dan dispersi horisontal (E_x), terdefinisi secara jelas bahwa laju reaerasi (k_a) dan *deoxygenation* (k_d) yang sering kali diasumsikan mengikuti laju pembusukan bakteri dengan order linier juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap proses biodegradasi yang terjadi. Mengingat bahwa parameter adveksi dan dispersi di atas merupakan fungsi dari kecepatan aliran pada saluran terbuka, maka peran model hidraulik menjadi penting dalam penentuan profil terkait.

Dalam perkembangan selanjutnya, persamaan Streeter dan Phelps ini mengalami modifikasi sehingga parameter yang ikut diperhitungkan menjadi bertambah sesuai dengan kompleksitas proses biodegradasi yang terjadi. Dalam bentuk terbarunya, persamaan Streeter dan Phelps menyertakan sejumlah parameter baru antara lain: *background BOD*, *Carboneous BOD*, *Nitogenous BOD*, *Sediment Oxygen Demand* (SOD), dan fungsi fotosintesis. Pada kondisi aliran langgeng (*steady state*), dengan memperhitungkan berbagai parameter tersebut, besarnya konsentrasi defisit DO dapat dihitung sesuai dengan persamaan (4) berikut ini.

$$D = D_0 e^{-k_a t} + \frac{k_d L_0}{k_a - k_r} [e^{-k_r t} - e^{-k_a t}] + \frac{k_n N_0}{k_a - k_n} [e^{-k_n t} - e^{-k_a t}] + \frac{S}{k_a H} [1 - e^{-k_a t}] + \frac{R - P}{k_a} [1 - e^{-k_a t}] + \frac{k_d L_b}{k_a} \quad \dots (4)$$

dengan keterangan:

- D , konsentrasi O₂ defisit (ML⁻³)
- L_0 , konsentrasi awal CBOD (ML⁻³)
- N_0 , konsentrasi awal NBOD (ML⁻³)
- S , SOD (ML⁻²)
- H , kedalaman aliran (L)
- $R-P$, Respirasi-fotosintesis (ML⁻³)
- L_b , background BOD (ML⁻³)
- k_d , laju *deoxygenation* (T⁻¹)
- k_a , laju reaerasi (T⁻¹)
- t , waktu pengaliran (T)

3 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 dan Randall 1980). Adapun persamaan matematik yang digunakan untuk mempresentasikan kedua jenis reaktor tersebut tersaji sebagai berikut.

Persamaan CSTR

$$\frac{dS}{dt} = \frac{Q}{V} (S_0 - S) - \frac{\mu_{\max H}}{Y^o_{X/S}} \frac{S}{K_S + S} X \quad \dots (5)$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{Q}{V} (X_0 - X) + \mu_{\max H} \frac{S}{K_S + S} X - k_{dH} X^n \quad \dots (6)$$

Persamaan PFR dengan dispersi

$$\frac{dS}{dt} = -u_x \frac{dS}{dx} + E_x \frac{d^2S}{dx^2} - \frac{\mu_{\max H}}{Y^o_{X/S}} \frac{S}{K_S + S} X \quad \dots (7)$$

$$\frac{dX}{dt} = -u_x \frac{dX}{dx} + E_x \frac{d^2X}{dx^2} + \mu_{\max H} \frac{S}{K_S + S} X - k_{dH} X^n \quad \dots (8)$$

dengan keterangan:

S , konsentrasi substrat sebagai BOD_5 (ML^{-3})

X , konsentrasi bakteri (ML^{-3})

Q , debit *inflow* (L^3T^{-1})

V , volume reaktor (L^3)

μ_{maxH} , laju pertumbuhan spesifik maks. (T^{-1})

$Y^0_{x/s}$, koef. pemanfaatan substrat oleh bakteri

K_S , koef. derajat kejenuhan (ML^{-3})

k_{dh} , koefisien pembusukan bakteri (T^{-1})

N , order reaksi pembusukan, untuk kondisi linier diasumsikan = 1

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Lawrence dan McCarty (1970), yang kemudian dilanjutkan oleh Benefield dan Randall (1980) serta Wiesmann, dkk. (2007), diketahui bahwa PFR memiliki efisiensi yang lebih besar dibandingkan CSTR. Mengingat PFR yang ideal (lihat Gambar 3) sesungguhnya hampir tidak pernah dijumpai dalam praktis sehari-hari, sungai sebagai sebuah sistem PFR dengan tingkat dispersi yang bervariasi sesungguhnya tetap memiliki potensi yang besar untuk dapat dikaji lebih lanjut sebagai reaktor yang baik terkait dengan proses restorasi secara alami.

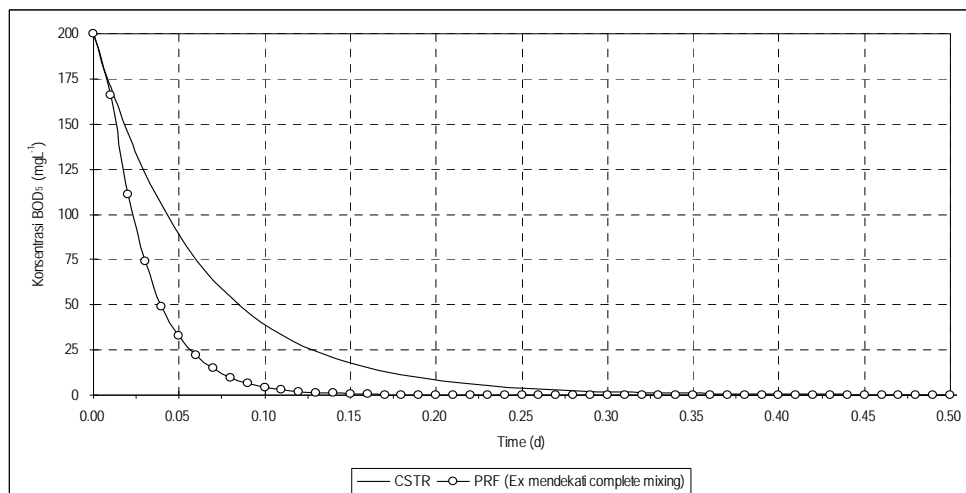
Sesuai dengan pemahaman tersebut, maka secara umum dapat disimpulkan bahwa efektivitas dari suatu proses biodegradasi alami pada sungai juga akan dipengaruhi oleh tingkat pencampuran mikroorganisme pengurai dan material organik yang terkandung di dalam aliran. Besarnya pengaruh tersebut, ditinjau dari segi dinamika aliran pada saluran terbuka, dinyatakan sebagai koefisien dispersi.

4 Potensi Aplikasi Teknologi Bakteri Berdasarkan Analisis Numerik

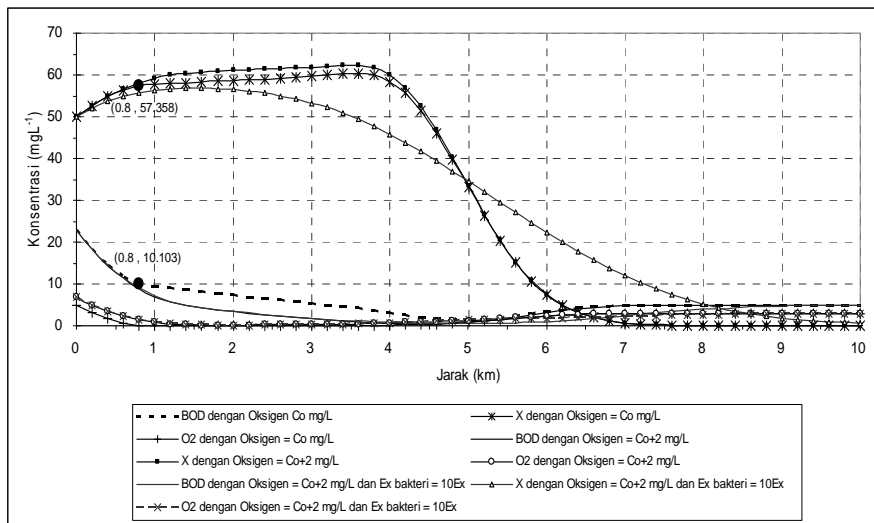
Dengan memanfaatkan persamaan kinetik *Monod*, Yudianto dan Xie (2010^{a,b}) mencoba untuk

memberikan deskripsi awal secara numerik terkait dengan aplikasi teknologi bakteri dalam proses restorasi sungai. Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh, diketahui bahwa ketersediaan sejumlah substrat dan oksigen merupakan faktor pembatas bagi pertumbuhan bakteri. Artinya, meskipun di dalam aliran sungai tersedia cukup material organik, tanpa adanya kandungan oksigen yang memadai maka pertumbuhan bakteri menjadi sangat terbatas. Sebab itu, dengan memperbesar 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).

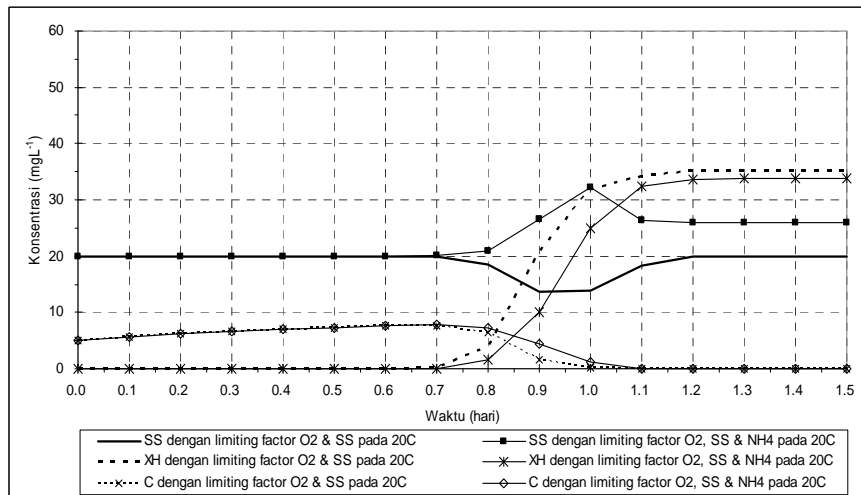
Kemudian, pada kondisi model tersebut di atas disimulasikan terhadap variasi substrat, diketahui bahwa akibat penyertaan ammonium nitrogen sebagai faktor pembatas pertumbuhan bakteri terindikasi adanya peningkatan sesaat terhadap konsentrasi COD (SS). Secara lengkap hasil simulasi tersebut disajikan pada Gambar 5. Selain substrat dan oksigen, sesungguhnya pertumbuhan bakteri juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lain, salah satunya adalah suhu air. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan oleh Yudianto dan Xie (2010^b), dengan menggunakan seri data yang diperoleh dari studi terdahulu melalui serangkaian percobaan *activated sludge*, diketahui bahwa pertumbuhan bakteri cenderung lambat pada suhu yang rendah. Dengan demikian, agar proses biodegradasi dapat berlangsung secara efisien, suhu air menjadi parameter lain yang juga penting untuk diperhatikan dalam penerapan teknologi bakteri untuk memulihkan kondisi sungai yang tercemar khususnya oleh limbah organik (lihat Gambar 6).



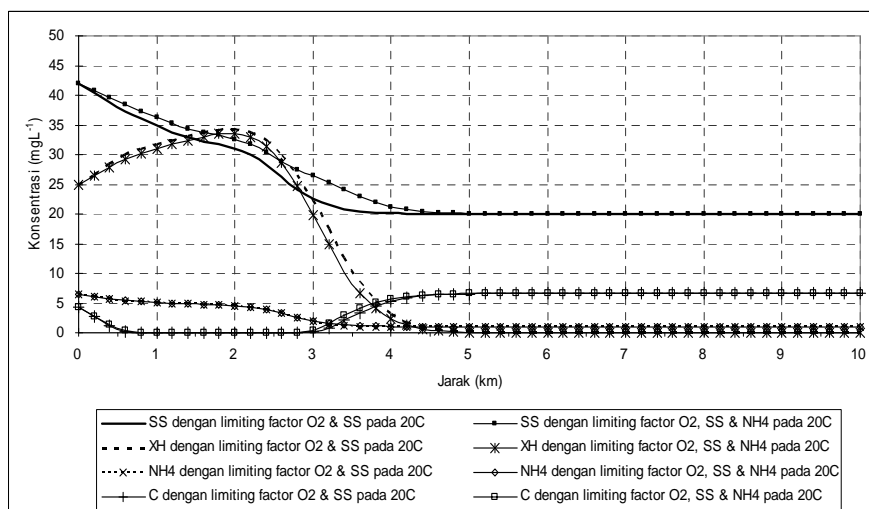
Gambar 3 Perbandingan Hasil Keluaran Sistem CSTR dan PFR Instalasi Pengolah Limbah pada Kondisi Ideal (Yudianto & Xie, 2010^a)



Gambar 4 Pengaruh *Artificial Mixing* dan Injeksi Oksigen dalam Proses Restorasi Sungai Menggunakan Teknologi Bakteri (Yudianto dan Xie, 2010^a)



Gambar 5 Pengaruh Terbatasnya Ketersediaan Ammonium Nitrogen terhadap Proses Biodegradasi secara Periodik (Yudianto dan Xie, 2010^b)



Gambar 6 Pengaruh Suhu Air terhadap Proses Biodegradasi oleh Bakteri (Yudianto dan Xie, 2010^b)

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, pengembangbiakan kultur 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 ilustrasi dan evaluasi hasil akhir yang diperoleh dari aplikasi teknologi bakteri.

GAMBARAN 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 7. 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. Berdasarkan hasil pengamatan saat dilakukan survai lapangan awal, pada ruas sungai yang terletak di sekitar Jembatan *Xishan New Village* terdapat lapisan minyak yang mendominasi permukaan air. Secara lengkap, kondisi Sungai Xuxi sebelum dilakukannya kegiatan restorasi disajikan pada Gambar 8.

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*. Sebelum pekerjaan restorasi dimulai, sebagai langkah persiapan dilakukan pengangkatan sampah padat yang tergenang di permukaan sungai. Selain itu, 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



Gambar 7 Skema Sungai Xuxi Berikut Letak Titik Pengamatan Kualitas Air



(a) Kondisi Hulu Sungai Xuxi



(b) Kondisi Tengah Sungai Xuxi

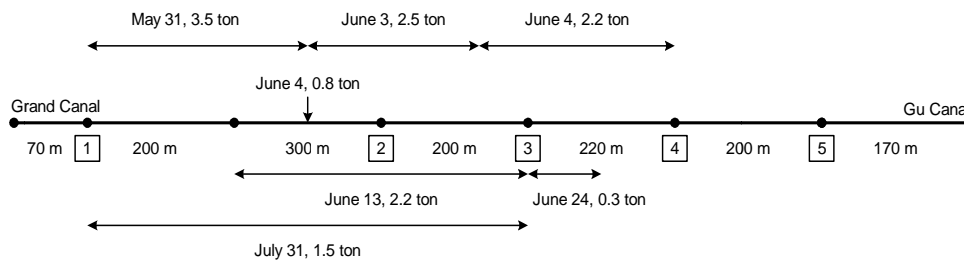


(c) Kondisi di Jembatan Xishan New Village



(d) Kondisi Hilir Sungai Xuxi

Gambar 8 Kondisi Sungai Xuxi Sebelum Dilakukannya Kegiatan Restorasi

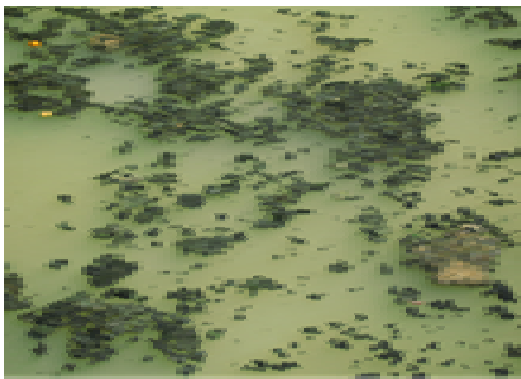


Gambar 9 Waktu dan Lokasi Pendistribusian Bakteri ke dalam Sungai Xuxi

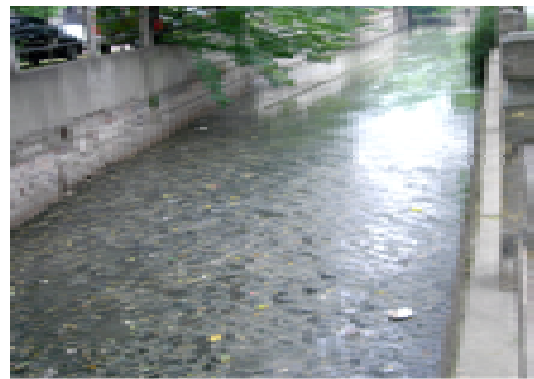
dengan menggunakan sejumlah drum. Adapun besarnya konsentrasi bakteri yang digunakan dan lamanya waktu pengembangbiakan yang diperlukan, diperkirakan melalui uji laboratorium untuk parameter COD atas sejumlah contoh air yang diambil pada saat investigasi awal kondisi Sungai Xuxi. Dalam hal ini, bakteri disiapkan selama kurang lebih dua minggu dengan konsentrasi bervariasi antara 110–120 gram bakteri/liter. 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 secara bertahap sesuai dengan hasil pengamatan lapangan.

Secara umum, pendistribusian awal bakteri dilakukan pada tanggal 31 Mei 2009 dengan total volume bakteri sebesar 3,5 ton dengan aerasi sederhana yang dilakukan dengan *artificial mixing* menggunakan perahu sampan. Pendistribusian kembali dilakukan secara berkesinambungan 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). Selengkapnya waktu dan lokasi pendistribusian bakteri disajikan pada Gambar 9.



(a) Tampak Dekat *Flocs*



(b) Sebaran *Flocs* di Permukaan Sungai Xuxi



(c) Sebaran Alga di Hulu Sungai Xuxi



(d) Sebaran Alga di Bagian Tengah Sungai Xuxi

Gambar 10 Kondisi Sungai Xuxi sebelum dilakukannya kegiatan restorasi

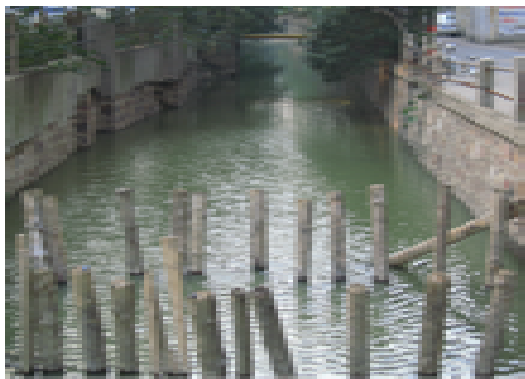
HASIL PENELITIAN

Diawali dengan terbentuknya *flocs* pada minggu awal setelah pendistribusian bakteri ke dalam sungai (lihat Gambar 10a dan 10b), setelah kurang lebih 3-4 minggu, dalam proses selanjutnya teridentifikasi pembentukan Alga secara marak (*Algae bloom*) di permukaan air sungai (lihat Gambar 10c dan 10d). Namun demikian, setelah penambahan kembali bakteri ke dalam Sungai Xuxi, sebaran Alga yang terjadi berangsur-angsur berkurang dalam 1-2 minggu. Tiga bulan kemudian tepatnya pada tanggal 25-31 Agustus 2009, sebagai pihak yang ditetapkan untuk mengevaluasi hasil pekerjaan ini, *Environmental Protection Agency* (EPA) Kota Wuxi melakukan pengambilan contoh air di kelima stasiun pengamatan. Sayangnya, karena keterbatasan dana yang dimiliki, pengujian contoh air tidak dilakukan secara mendetail dan kontinu. Adapun parameter yang diukur meliputi antara lain suhu air, derajat keasaman (pH), DO, COD, *total nitrogen*, *ammonium nitrogen*, dan *phosporus*.

Berdasarkan hasil pengamatan lapangan, setelah pekerjaan restorasi usai, tampak bahwa selain kini Sungai Xuxi memiliki air yang jernih, pada sejumlah lokasi terindikasi adanya kehidupan grup ikan kecil (lihat Gambar 11).

Seiring dengan itu, hasil uji laboratorium menunjukkan peningkatan kualitas air yang cukup berarti meskipun proses restorasi terjadi peningkatan konsentrasi sejumlah parameter yang meliputi *total phosphorus*, *total nitrogen*, dan *ammonium nitrogen*.

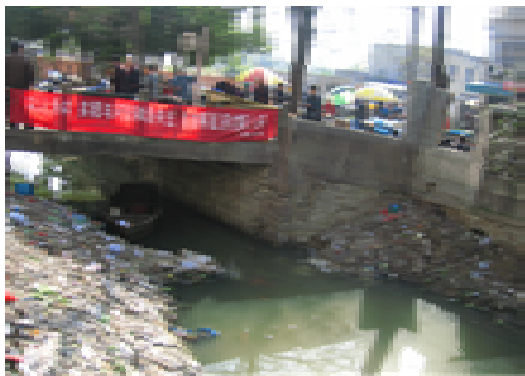
Seperti yang tersaji pada Gambar 12, dengan konsentrasi DO berkisar antara 2,14 – 2,72 mg/liter, konsentrasi COD, *total nitrogen*, *total phosphorus* dan *ammonium nitrogen* menurun pada arah hilir meskipun pada saluran bagian tengah konsentrasi keempat parameter di atas sempat mengalami kenaikan akibat dominasi bakteri yang dituangkan pada ruas tersebut. Sedangkan ditinjau dari segi waktu, diketahui bahwa seiring dengan bertambahnya waktu pemulihan, konsentrasi sebagian besar parameter yang diukur mengalami fluktuasi. Khususnya untuk COD, tidak lama berselang, tepatnya pada hari pengamatan ke empat terjadi peningkatan konsentrasi yang cukup signifikan sebelum akhirnya konsentrasi tersebut menurun. Ketidakstabilan dari hasil yang diperoleh ini diduga disebabkan oleh pendistribusian bakteri yang tidak didasarkan pada suatu prediksi yang akurat baik untuk konsentrasi, lokasi, maupun waktu. Selain itu, akibat tidak adanya pengen-



(a) Kondisi Tengah Sungai Xuxi



(b) Kondisi di Hulu Jembatan Xiaomu



(c) Kondisi Tepat di Jembatan Xiaomu



(d) Kelompok Ikan Kecil yang Teridentifikasi

Gambar 11 Kondisi Sungai Xuxi Sebelum Dilakukannya Kegiatan Restorasi

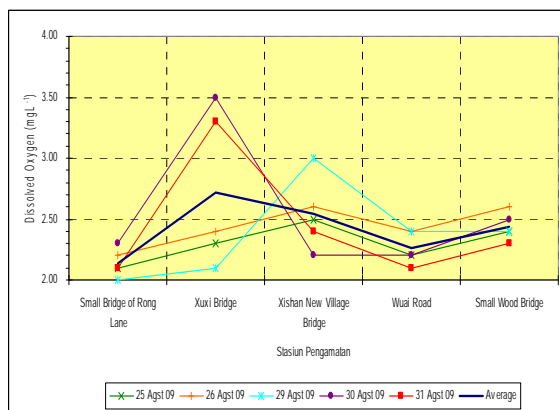
dalian dan pengawasan terhadap pembuangan limbah oleh masyarakat setempat ke dalam sungai selama proses restorasi berlangsung, efektivitas dari proses biodegradasi menjadi tidak terevaluasi secara komprehensif. Tentunya amat disayangkan pula bahwa pada awal pelaksanaan pekerjaan ini tidak dilakukan pengambilan contoh air secara detail, sehingga hasil akhir yang diperoleh melalui pekerjaan ini pun kurang memberikan dukungan secara ilmiah. Meskipun terindikasi adanya peningkatan sejumlah konsentrasi substrat khususnya *ammonium nitrogen* yang disertai pembentukan Alga secara marak selama proses restorasi berlangsung, tidak dapat dipungkiri bahwa pada akhir pekerjaan diperoleh hasil yang cukup menjanjikan. Sesungguhnya peristiwa marak Alga dapat direduksi atau bahkan mungkin dihindari apabila dalam penerapan teknologi bakteri ini dilakukan perencanaan secara matang khususnya terkait dengan identifikasi karakteristik material pencemar dan teknis pendistribusian bakteri.

Sayangnya dalam pekerjaan restorasi Sungai Xuxi ini tidak dilakukan pengamatan kualitas air secara detail dan kontinu. Selain tidak tersedianya informasi kualitas air sebelum pekerjaan restorasi dilaksanakan, data yang digunakan oleh EPA Kota Wuxi sangatlah minim

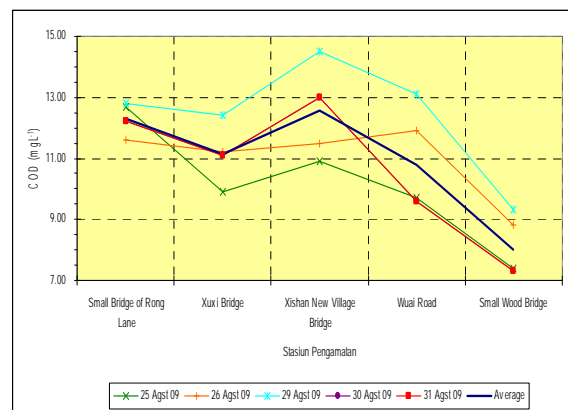
sehingga hasil akhir yang diperoleh kurang memiliki nilai keilmuan yang berarti. Seperti tersaji pada Gambar 12 dan 13, pengamatan yang tidak intensif menyebabkan kesinambungan proses biodegradasi yang terjadi tidak dapat secara utuh digambarkan.

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, terjadi ketidak efisienan proses restorasi. Untuk itu diperlukan adanya serangkaian uji laboratorium dan pengembangan sebuah model matematik yang dapat mendukung optimasi aplikasi khususnya dalam penentuan baik lokasi, waktu, dan konsentrasi bakteri.

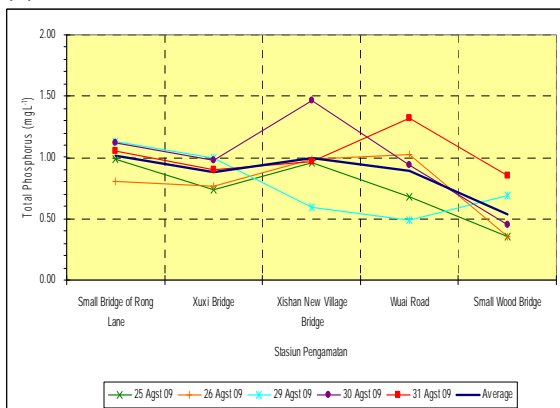
Mengingat bakteri merupakan mikroorganisme yang sensitif, selain pengujian dasar di atas, mutlak diperlukan studi identifikasi terhadap sejumlah unsur pencemar yang dapat menimbulkan kematian bakteri secara massal. Hal ini menjadi sangat penting melihat tingkat kompleksitas unsur pencemar yang terkandung dalam limbah buangan masyarakat, terlebih sungai yang tercemar oleh limbah industri. Di samping itu, karena bakteri secara biologis memiliki



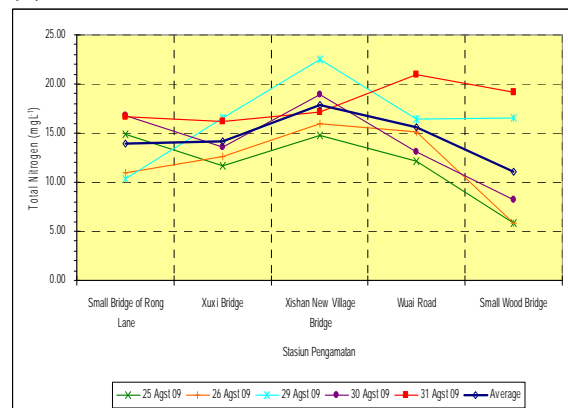
(a) Konsentrasi DO



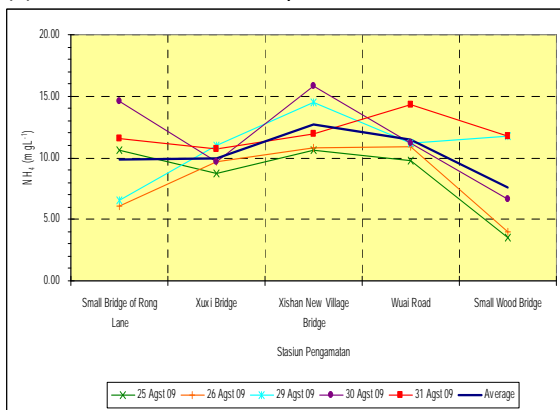
(b) Konsentrasi COD



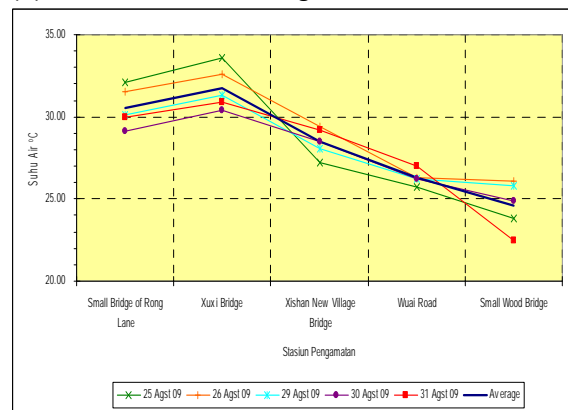
(c) Konsentrasi Total Phosphorus



(d) Konsentrasi Total Nitrogen



(e) Konsentrasi Amonium Nitrogen



(f) Distribusi Suhu Air

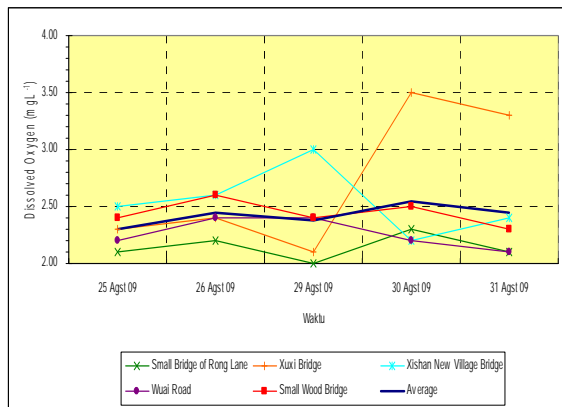
Gambar 12 Kondisi Sungai Xuxi Sebelum Dilakukannya Kegiatan Restorasi

kemampuan bermutasi pada kondisi lingkungan tertentu, pelaksanaan studi mikrobiologi menjadi diperhatikan guna menjamin bahwa teknologi ini adalah aman untuk digunakan dalam pekerjaan restorasi sungai tercemar.

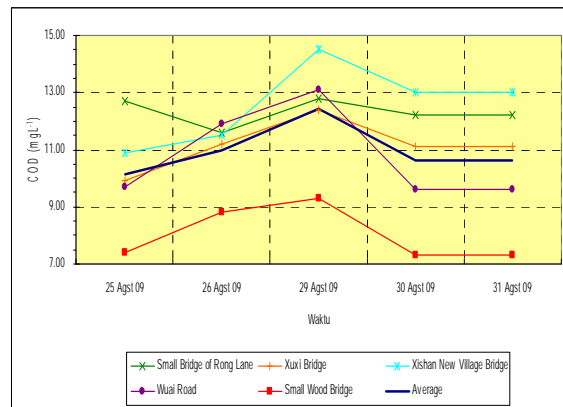
Melihat keberhasilan aplikasi teknologi bakteri dalam sejumlah pekerjaan pengendalian pencemaran sumber daya air, studi ini merupakan kajian awal yang diperuntukkan bagi penyediaan informasi dasar atas aplikasi teknologi terkait dalam proses pengembalian daya dukung sungai perkotaan yang tercemar limbah domestik.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam pekerjaan restorasi Sungai Xuxi, sejumlah kesimpulan dan saran yang dapat diberikan melalui studi ini antara lain:

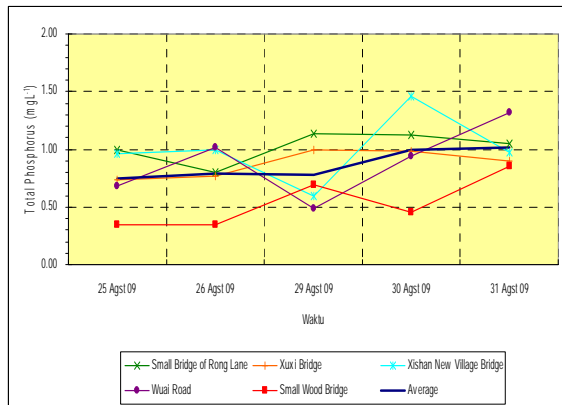
- 1) Teknologi bakteri menawarkan solusi yang inovatif dalam pemulihan daya dukung sungai tercemar.
- 2) Karena teknologi bakteri ini praktis tidak hanya dipengaruhi oleh ketersediaan substrat, penambahan oksigen selama proses restorasi menjadi suatu hal yang penting untuk diperhatikan. Selain itu, karena bakteri



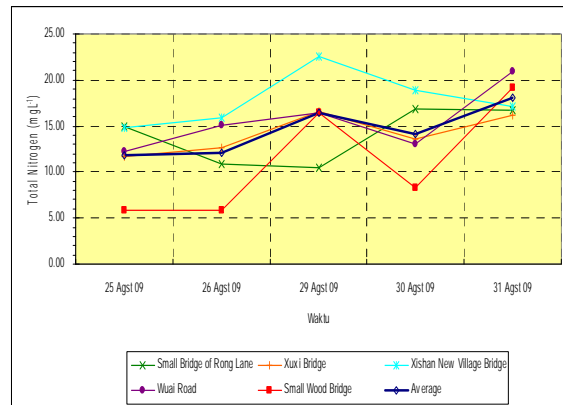
(a) Konsentrasi DO



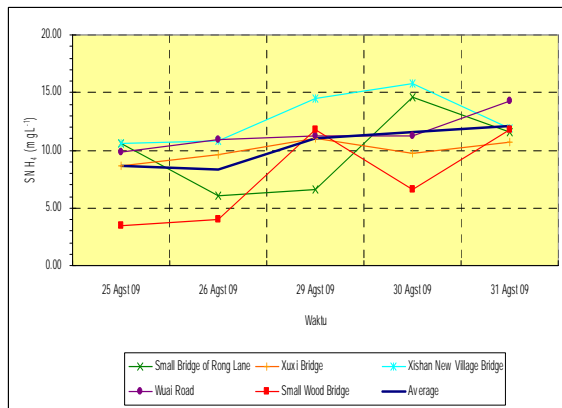
(b) Konsentrasi COD



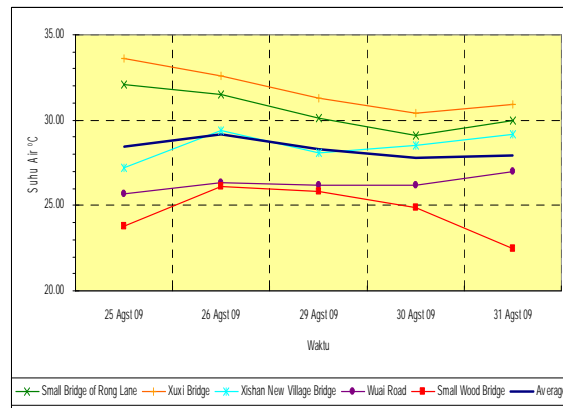
(c) Konsentrasi Total Phosphorus



(d) Konsentrasi Total Nitrogen



(e) Konsentrasi Amonium Nitrogen



(f) Distribusi Suhu Air

Gambar 13 Kondisi Sungai Xuxi Sebelum Dilakukannya Kegiatan Restorasi

cenderung tumbuh lebih baik pada suhu air 20° - 35° Celcius, penerapan teknologi terkait pada kawasan tropis seperti Indonesia menjadi sangat potensial.

- 3) Meskipun secara visual hasil yang diberikan oleh teknologi bakteri ini pada pekerjaan restorasi Sungai Xuxi adalah cukup menjanjikan, namun kurangnya data pengamatan yang dimiliki melemahkan dukungan ilmiah terhadap aplikasi dari teknologi bakteri ini. Selain studi mikrobiologi lanjut, pengujian aplikasi teknologi bakteri terkait

dalam skala laboratorium dan pengembangan model matematik mutlak diperlukan untuk mengoptimalkan aplikasi teknologi bakteri.

- 4) Karena keberhasilan pengendalian pencemaran badan air tidak terlepas dari peran aktif berbagai pihak/pemangku kepentingan, diperlukan tindakan nyata khususnya dari pihak pengelola sungai dan masyarakat setempat untuk secara konsisten mendukung keberlanjutan dari sungai yang telah direstorasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abigail, R.J. 1997. The Contradictory Impact of Reform on Environmental Protection in China. *China Quarterly* 149: 81 - 103.
- Campolo, M., P. Andreussi, dan A. Soldati. 2002. Water Quality Control in the River Arno. *Technical Note of Water Resources* 36(10): 2673–2680.
- Chen, Z.M., B. Chen, and J.B. Zhou, et. al. 2008. A Vertical Subsurface-flow Constructed Wetland in Beijing. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 13(9): 1986-1997.
- Cheng, H.S., M.K. Yusoff, B. Shutes, S.C. Ho, dan M. Mansor. 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., S. Dhage, A.A. Chandorkar, dan A. Srivastav. 2004. Numerical Modeling for Thane Creek. *Environmental Modelling and Software* 19(6): 571–579.
- Green, M., I. Safray, dan M. Agami. 1996. Constructed Wetlands for River Reclamation: Experimental Design, Start-up and Preliminary Results. *Bioresource Technology* 55(2): 157-162.
- Jing, S.R., Y.F. Lin, D.Y. Lee, dan T.W. Wang. 2001. Nutrient Removal from Polluted River Water by Using Constructed Wetlands. *Bioresource Technology* 76(2): 131-135.
- Jirka, G.H. dan V. Weitbrecht. 2005. Mixing Models for Water Quality Management in Rivers: Continuous and Instantaneous Pollutant Releases. *Water Quality Hazards and Dispersion of Pollutants*. eds. Rowinski, P.M. dan Czernuszenko, W., New York: Springer, 1-34.
- Juang, D.F., dan P.C. Chen. 2007. Treatment of Polluted River Water by A New Constructed Wetland. *Int. J. Environ. Sci. Tech.* 4(4): 481-488.
- Kannel, P.R., S. Lee, Y.S. Lee, S.R. Kanel, dan G.J. Pelletier. 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. dan P.L. McCarty. 1970. Unified Basis for Biological Treatment Design and Operation. *Journal of the Sanitary Engineering Division, ASCE* 96(3): 767 - 778.
- Liao, J., Y.B. Xie, X.C. Zong, dan G.J. Cao. 2008. Pilot Study on Treatment of Complicated Chemical Industrial Effluent with CABRM Process. *Pollution Control Technology* 21(1): 11-15.
- Misra, A.K., P. Chandra, dan J.B. Shukla. 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., Y.B. Xie, J. Zhuang, dan L.L. She. 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*. Bandung. Departemen Pekerjaan Umum.
- Qi, F., D.G. Cheng, dan M. Masao. 1999. Water Resources in China: Problems and Countermeasures. *Ambio* 28(2): 202 - 203.
- State Environmental Protection Administration (SEPA). 2002. *Report on the State of the Environment in China 2002*. Beijing. Environmental Information Centre (SEPA).
- Wang, M., M. Webber, B. Finlayson, dan J. Barnett. 2006. Rural Industries and Water Pollution in China. *Journal of Environmental Management* 86: 648-659.
- Wu, Q.H., R.D. Zhang, S. Huang, dan H.J. Zhang. 2008. Effects of Bacteria on Nitrogen and Phosphorus Release from River Sediment. *Journal of Environmental Sciences* 20: 404-412.

- Wiesmann, U., I.S. Choi, dan E.M. Dombrowski. 2007. *Fundamentals of Biological Wastewater Treatment*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Yudianto, D. dan Y.B., Xie. 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. dan Y.B. Xie. 2010^a. The Feasibility of Bacteria Application for Treating the Polluted Urban Stream from the Perspective of Numerical Modelling. *Polish Journal of Environmental Studies* 19(2): 421-429.
- Yudianto, D. dan Y.B. Xie. 2010^b. Influences of Limited Ammonium Nitrogen and Water Temperature on the Urban Stream Restoration. *Journal of Water Resources and Protection* 2(3): 227-234.
- Yudianto, D. dan Y.B. Xie. The Natural Restoration of Xuxi River Using Bacterial Technology. diterima dalam *Water Environment Research* untuk dipublikasikan pada tahun 2011.
- Zhang, K. M., Z.G. Wen, and L.Y. Peng. 2007. Environmental Policies in China: Evolvement, Features and Evaluation, China Population. *Resources and Environment* 17(2): 1-7.
- Zhang, T. Z., D.Q. Wang, G.Y. Wu, dan J.N. Wang. 1997. Water Pollution Charges in China: Practice and Prospects. In *Applying Market Based Instruments to Environmental Policies in China and OECD Countries*. Paris. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), 239-257.
- Zhou, J.B., M.M. Jiang, B. Chen, dan G.Q. Chen. 2007. Energy Evaluations for Constructed Wetland and Conventional Wastewater Treatments. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14(4): 1781-1789.