

Technical Review

METODE PENGOLAHAN AIR LIMBAH ALTERNATIF UNTUK NEGARA BERKEMBANG

Satoto E. Nayono¹

ABSTRACT

Domestic or industrial wastewater management and treatment in many developing countries tend to imitate the systems and technology from industrialized countries by adopting a centralized wastewater processing system and treatment technologies such as activated sludge or tertiary nutrients removal. However, the effort to replicate these methods, in fact, is not an appropriate solution to overcome the problems of sanitation in developing countries, particularly Indonesia. These sophisticated technologies require a large energy supply, skilled operators as well as substantial operating costs. Furthermore, these methods do not provide any opportunity to recover energy and valuable nutrients contained in wastewater. These reasons can cause wastewater management become unsustainable. This paper will present some alternatives and concepts in the management and treatment of wastewater. It will be limited to several natural wastewater treatment alternatives to support sustainable management of water resources in terms of both technology and financing. Some low-cost appropriate technologies for wastewater treatment will also be discussed include: anaerobic treatment, wastewater treatment by waste stabilization ponds, wastewater treatment by macrophytes ponds and wastewater treatment by constructed wetlands.

Keywords: wastewater, natural wastewater treatment, anaerobic treatment, waste stabilization ponds, macrophytes ponds, constructed wetlands

PENDAHULUAN

Salah satu konsekuensi dari ledakan jumlah penduduk adalah semakin besarnya volume air limbah domestik yang harus diolah dan dibuang ke badan air. Air limbah, terutama yang mengandung ekskreta manusia dapat mengandung patogen yang berbahaya dan oleh karena itu harus dikelola dan diolah dengan baik (Feacham *et al.*, 1983). Kurangnya pengelolaan dan pembuangan air limbah yang memadai dapat menyebabkan morbiditas dan angka kematian yang tinggi. Menurut WHO (2005), sekitar 3 milyar orang tidak memiliki akses terhadap sanitasi yang memadai dan sekitar lima juta orang meninggal setiap tahun karena kurangnya sanitasi yang memadai. Sebagian besar orang-orang ini hidup di negara berkembang.

Millenium Development Goals (MDGs) mempunyai target untuk menurunkan jumlah penduduk yang tidak mempunyai akses terhadap sanitasi memadai sebesar 50% pada 2015 (Cosgrove dan Rijsberman, 2000). Untuk mencapai tujuan tersebut sekitar 460.000 orang harus diberikan dengan sarana sanitasi yang baik setiap hari (WHO, 2005). Untuk mencapai target pasokan air dan sanitasi seluruh dunia pada tahun 2025, dibutuhkan investasi di seluruh dunia sekitar \$ 200 milyar per tahun (dengan asumsi bahwa yang digunakan adalah teknologi konvensional). Perkiraan biaya ini tidak termasuk cakupan penuh dari manajemen air limbah (diperkirakan sebesar \$ 70-90/orang/tahun), yang akan meningkatkan kebutuhan total investasi tahunan di seluruh dunia sekitar \$ 600-800 milyar (Bos *et al.*, 2005).

¹ Dosen Jurusan Pendidikan Teknik Sipil dan Perencanaan FT UNY

Di banyak negara berkembang seperti di Indonesia, karena keterbatasan dana dan kompetisi dengan sektor pembangunan yang lain, pengelolaan air limbah biasanya menempati prioritas yang rendah. Kalaupun ada usaha pengelolaan air limbah, karena kurangnya dasar pengetahuan dan penguasaan teknologi, banyak negara berkembang yang mengelola air limbahnya dengan meniru konsep dan teknologi pengelolaan air limbah dari negara maju. Hal tersebut juga diperparah karena negara maju juga ingin “menjual” teknologinya tanpa mempertimbangkan kemampuan negara berkembang untuk membiayai investasi maupun pemeliharannya. Konsep pengelolaan air limbah di negara maju biasanya mempunyai karakter sebagai berikut (Veenstra, 2000):

- menggunakan banyak air untuk “mengangkut” limbah yang dikumpulkan dengan sistem saluran air limbah yang ekstensif lalu diolah secara tersentralisasi,
- memerlukan investasi yang besar, tenaga kerja yang terampil, serta kondisi sosial-ekonomi yang stabil, dan
- memiliki resiko penyebaran penyakit yang cukup besar bila tidak disertai dengan metode pengolahan air limbah yang efektif

Dari uraian diatas, dapat dikatakan bahwa teknologi pengelolaan air limbah yang dilakukan oleh negara maju seperti activated sludge atau tertiary nutrients removal cenderung menggunakan teknologi yang padat modal dan memerlukan tenaga operator yang terlatih. Meskipun teknologi-teknologi tersebut telah terbukti mampu untuk mengolah air limbah dengan standar yang tinggi, adakalanya teknologi dari negara maju tersebut tidak bisa langsung diterapkan di negara berkembang, namun perlu modifikasi atau penyesuaian terlebih dahulu. Penyesuaian teknologi tersebut perlu dilakukan karena selain memerlukan biaya yang besar, teknologi tersebut juga tidak memberikan peluang untuk memanfaatkan kembali energi dan nutrien yang terdapat pada air limbah.

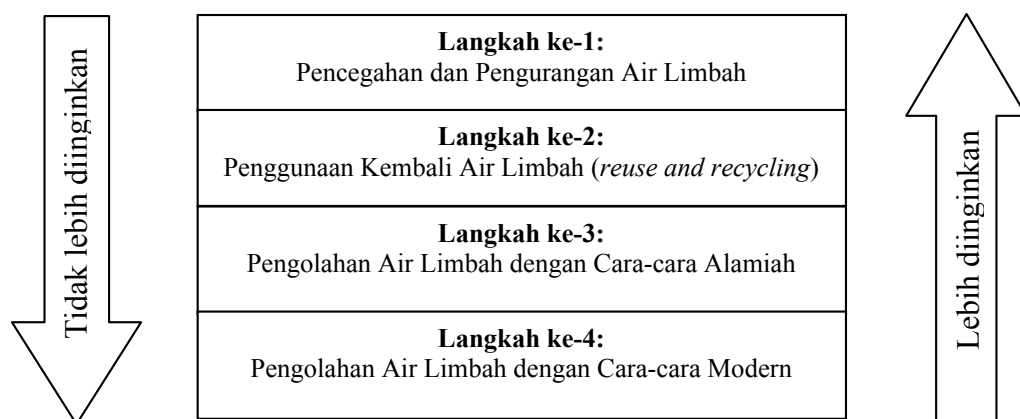
KONSEP PENGELOLAAN AIR LIMBAH YANG BERKELANJUTAN

Tujuan utama pengolahan air limbah adalah untuk mencegah penyebaran penyakit yang bisa menular melalui air limbah dan untuk mencegah kerusakan lingkungan (Pescod, 1992). Untuk mencapai tujuan tersebut, banyak konsep dan teknologi yang tersedia. Pemilihan sistem pengelolaan air limbah tergantung dari kondisi lingkungan lokal, situasi sosial-ekonomi, persepsi dan budaya masyarakat serta teknologi pengolahan air limbah yang tersedia.

Banyak contoh kasus di beberapa daerah yang mengalami kegagalan dalam mengelola air limbahnya karena tidak memperhatikan faktor keberlanjutan dari sistem tersebut. Oleh karena itu, faktor keberlanjutan harus menjadi prioritas utama dalam pemilihan sistem pengelolaan air limbah. Beberapa kriteria yang harus dapat dipenuhi oleh sistem pengelolaan air limbah yang berkelanjutan antara lain adalah (UNEP, 2004):

- harus mempunyai pengaruh positif terhadap lingkungan,
- sesuai dengan kondisi lokal,
- sistem tersebut dapat diterapkan dan efisien (termasuk unjuk kerja dan keandalannya), dan
- terjangkau oleh pihak yang harus membayar pelayanan (termasuk biaya investasi, pengoperasian dan pemeliharaan).

Beberapa prinsip umum pemilihan sistem pengelolaan air limbah dapat diterapkan dalam rangka mewujudkan konsep pengelolaan yang berkelanjutan. Prinsip-prinsip tersebut dapat diterangkan sebagai langkah-langkah yang digambarkan dalam Gambar 1.



Gambar 1 Langkah-langkah untuk pemilihan sistem pengelolaan air limbah (modifikasi dari: UNEP, 2004 dan Veenstra, 2001)

Keempat langkah tersebut harus dilakukan sesuai dengan urutannya. Usaha yang maksimal harus dilakukan pada langkah-langkah awal sebelum memutuskan untuk menggunakan langkah selanjutnya.

Pencegahan dan pengurangan air limbah biasanya diacu juga sebagai produksi bersih (*cleaner production*). Tujuan utamanya adalah meminimalkan penggunaan air dan bahan-bahan yang dapat menimbulkan pencemaran. Hal ini dilandasi oleh pemikiran bahwa semakin sedikit air limbah yang dihasilkan, semakin mudah dan semakin murah pula pengelolaannya. Dalam kehidupan sehari-hari, penggunaan air oleh manusia jauh melebihi dari apa yang sebenarnya dibutuhkan oleh tubuh. Sebagai ilustrasi, kebutuhan air oleh tubuh manusia hanya berkisar antara 4 sampai 6 liter per orang per hari. Sedangkan menurut beberapa penelitian, penggunaan air oleh manusia di beberapa tempat bisa mencapai 100 sampai 120 liter per orang per hari. Tingginya pemakaian air tersebut dikarenakan kita menggunakan air untuk “mengangkut” kotoran yang kita hasilkan (untuk menggelontor kotoran dari WC, mencuci piring, mencuci sayuran dan lain-lain). Praktek penggunaan air sebagai alat transport limbah, selain merugikan ditinjau dari aspek penggunaan air (biaya menjadi lebih mahal dan membahayakan sumber-sumber baku air), juga merugikan secara pengelolaan limbah. Dengan tingginya volume air limbah, maka kita juga harus menyediakan infrastruktur pengelolaan limbah (jaringan pipa dan instalasi pengolahan air limbah) yang besar dan mahal. Selain itu, pengolahan air limbah yang encer relatif lebih sulit jika dibandingkan dengan pengolahan air limbah yang pekat.

Beberapa pemikiran dapat dikemukakan sebagai upaya untuk mencegah dan mengurangi air limbah:

1. Memperbaiki perilaku penggunaan air. Selama ini, masyarakat relatif boros dalam penggunaan air. Selain hal-hal yang telah disebutkan didepan, secara tidak sadar kadang-kadang kita menyia-nyiaikan air dengan membiarkan keran tetap mengalir padahal bak air sudah penuh, terlalu banyak menggunakan air untuk mencuci sayur atau pakaian, memakai air berlebihan dengan berlama-lama mandi, dan lain-lain. Hal-hal tersebut dapat dikurangi dengan memberikan penyadaran pada masyarakat tentang pentingnya penghematan air melalui kampanye, penyuluhan, atau memasukkan ihwal perilaku penggunaan air kedalam kurikulum pendidikan dasar.
2. Memperkenalkan teknologi penghematan air. Didalam lingkup rumah tangga, teknologi penghematan air bisa berupa toilet kering yang tidak membutuhkan terlalu banyak air untuk menggelontor kotoran atau alat pencuci alat makan yang menggunakan relatif sedikit. Dalam lingkup industri, perlu diteliti lebih lanjut tentang proses yang telah dilakukan di industri tersebut apakah mempunyai peluang untuk

penghematan air. Sebagai contoh, proses pembuatan bir di pabrik bir Heineken di Belanda, sebelum mengadopsi metode baru dalam pembuatan bir, memerlukan 27 liter air untuk memproduksi satu liter bir. Setelah diperkenalkan metode baru dalam proses pembuatan bir dengan mempertimbangkan konsep produksi bersih, air yang diperlukan menurun drastis menjadi hanya 4,5 liter untuk membuat satu liter bir (Siebel dan Gijzen, 2002).

3. Memperkenalkan sistem insentif untuk penghematan air atau menaikkan harga air. Dengan sistem insentif, terutama di bidang industri, penghematan air akan menjadi sesuatu hal yang amat menarik. Sedangkan menaikkan harga air, walaupun disatu pihak merugikan, akan secara otomatis membuat masyarakat untuk berpikir dua kali dalam penggunaan air.
4. Menggunakan sumber yang tepat untuk penggunaan yang tepat. Penggunaan air dapat disesuaikan antara kualitas air dengan penggunaannya. Kualitas air yang tertinggi dipergunakan untuk keperluan konsumsi (minum dan memasak), sedangkan kualitas air yang lebih rendah digunakan untuk keperluan yang lebih rendah pula. Sebagai contoh, air bekas untuk mencuci sayuran tidak langsung dibuang ke saluran air limbah namun dapat dipergunakan untuk menyiram halaman.

TEKNOLOGI ALTERNATIF PENGOLAHAN AIR LIMBAH

Seperti telah disinggung di bagian depan makalah ini, salah satu faktor yang sangat berpengaruh dalam menjaga keberlanjutan sistem pengelolaan air limbah adalah pemilihan teknologi pengolahan air limbah yang tepat. Banyak contoh sistem pengelolaan air limbah yang gagal karena pemilihan teknologi yang keliru. Sebagian besar dari sistem yang gagal tersebut disebabkan karena pengelola mengalami kesulitan dalam pembiayaan operasional maupun pemeliharaan teknologi pengolahan air limbah yang dipilih.

Pemilihan teknologi pengolahan air limbah sebaiknya menggunakan anggapan bahwa air limbah adalah sumber daya, bukan sesuatu yang harus dibuang. Air limbah harus dipandang sebagai sumber daya karena didalamnya terdapat 4 komponen, yaitu: air + energi + nutrien + peluang kerja. Air, yang merupakan komponen utama dari air limbah, bila telah diolah dan memenuhi standar akan dapat dipergunakan untuk irigasi ataupun usaha perikanan. Zat organik, yang merupakan polutan dalam air limbah, bila pengolahannya tepat akan dapat diubah menjadi energi yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan masyarakat. Nutrien yang terdapat dalam air limbah juga dapat dimanfaatkan sebagai pupuk untuk lahan pertanian. Sedangkan. Apabila tepat pemilihan teknologinya, pengelolaan air limbah akan memberikan peluang kerja yang tidak sedikit.

Dalam artikel ini akan ditampilkan beberapa teknologi sederhana yang didasarkan pada proses alami karena metode pengolahan limbah ini relatif lebih *sustainable*. Secara umum, terminologi pengolahan air limbah secara alami (*natural system*) yang akan dibahas dalam makalah ini mempunyai ciri-ciri sebagai berikut:

- sistem pengolahan limbah secara alami bertujuan untuk memanfaatkan kembali nutrien, air dan energi yang terdapat pada air limbah,
- dalam pengolahan air limbah, yang diutamakan adalah proses penguraian secara anaerobik karena tidak memerlukan penyediaan oksigen secara mekanis sehingga akan mengurangi biaya operasional, dan
- apabila menggunakan proses aerobik untuk penguraian zat organik oksigen yang disediakan berasal dari proses fotosintesis maupun proses re-aerasi alami.

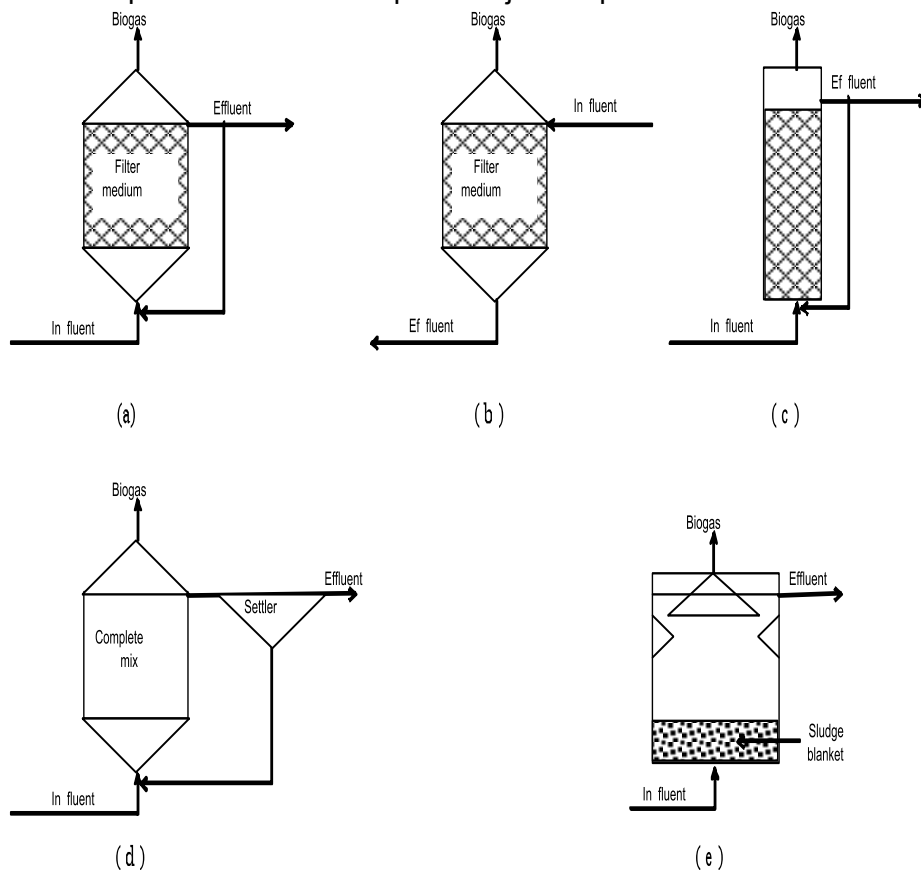
Dalam artikel ini akan didiskusikan beberapa metode pengolahan air limbah yang memenuhi terminologi pengolahan air limbah secara alami yaitu: pengolahan air

limbah dengan proses anaerobik, kolam stabilisasi, rawa buatan dan kolam tumbuhan air.

1. Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Anaerobik

Meskipun pengolahan air limbah secara anaerobik telah dikenal sejak hampir 2000 tahun yang lalu di India dan Cina dalam bentuk tangki penguraian untuk limbah kotoran hewan, proses ini cukup lama diabaikan sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah. Hal ini dikarenakan, proses anaerobik dianggap tidak efisien dan terlalu lambat untuk mengolah air limbah yang semakin hari semakin bertambah banyak volumenya (Nayono, 2005).

Semenjak terjadinya krisis energi dunia beberapa dekade lalu, pengolahan air limbah secara anaerobik diusahakan untuk dapat digunakan kembali. Sejak akhir tahun 1960-an, proses pengolahan limbah secara anaerobik mulai diteliti secara intensif sehingga sekarang dapat dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah selain teknologi dengan proses aerobik yang telah lama dikenal (Hickey *et al.*, 1991). Beberapa teknologi pengolahan limbah dengan memanfaatkan proses anaerobik dapat ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Contoh teknologi pengolahan limbah secara anaerobik. (a). *Upflow anaerobic filter*, (b). *Downflow anaerobic filter*, (c). *Fluid bed*, (d). *Contact process*, dan (e). *Upflow anaerobic sludge blanket*

Beberapa penelitian dari berbagai negara melaporkan bahwa pemanfaatan proses anaerobik untuk pengolahan limbah domestik dan limbah industri mempunyai tingkat keberhasilan yang cukup tinggi. Karena proses anaerobik berlangsung dengan baik pada suhu sekitar 30 – 40 °C, maka pada daerah tropis proses anaerobik ini mampu mencapai hasil pengolahan limbah yang cukup memuaskan. Pengurangan BOD dan COD bisa mencapai 70% sampai 90%.

Meskipun demikian, hasil dari pengolahan anaerobik ini (terutama untuk pengolahan air limbah industri) masih relatif belum sesuai dengan ketentuan untuk dapat dibuang langsung ke badan air. Oleh karena itu, pengolahan tambahan masih diperlukan agar kualitas air hasil pengolahan cukup bagus untuk dapat dibuang langsung ke sungai.

Alasan dan ketertarikan terhadap penggunaan proses anaerobik untuk pengolahan air limbah dapat dijelaskan dengan membandingkan kelebihan dan keterbatasan proses ini yang selengkapnya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kelebihan dan keterbatasan pengolahan air limbah secara anaerobik

Kelebihan	Keterbatasan
<ul style="list-style-type: none"> · Kebutuhan energi relatif rendah karena tidak memerlukan aerasi · Produksi lumpur sedikit, relatif lebih stabil dan mudah dikeringkan · Tidak memerlukan banyak bahan tambah untuk memperlancar proses penguraian · Terdapat kemungkinan untuk memanfaatkan biogas yang dihasilkan · Lumpur (<i>biomass</i>) yang dihasilkan dapat disimpan lama dan digunakan sebagai bibit untuk reaktor anaerobik baru · Dapat dibebani dengan air limbah yang mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi sehingga volume reaktor yang dibutuhkan lebih kecil · Terdapat kemungkinan untuk mempergunakan nutrien yang terdapat pada hasil pengolahan 	<ul style="list-style-type: none"> · Waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan jumlah lumpur yang cukup relatif lama · Sensitif terhadap perubahan lingkungan dan operasional · Terdapat kemungkinan adanya bau yang tidak sedap dan timbulnya gas yang bersifat korosif · Pada dasarnya, pengolahan anaerobik hanyalah bersifat pengolahan pendahuluan, sehingga diperlukan pengolahan tambahan agar air hasil olahan memenuhi standar yang berlaku

Diadaptasi dari: Polprasert *et al.*, 2001 dan Metcalf & Eddy Inc., 2003

2. Pengolahan Air Limbah dengan Kolam Stabilisasi (*Waste Stabilization Ponds*)

Kolam stabilisasi didefinisikan sebagai kolam dangkal buatan manusia yang menggunakan proses fisis dan biologis untuk mengurangi kandungan bahan pencemar yang terdapat pada air limbah. Proses tersebut antara lain meliputi pengendapan partikel padat, penguraian zat organik, pengurangan nutrien (P dan N) serta pengurangan organisme patogenik seperti bakteri, telur cacing dan virus (Polprasert, 1996; Pena-Varon and Mara, 2004).

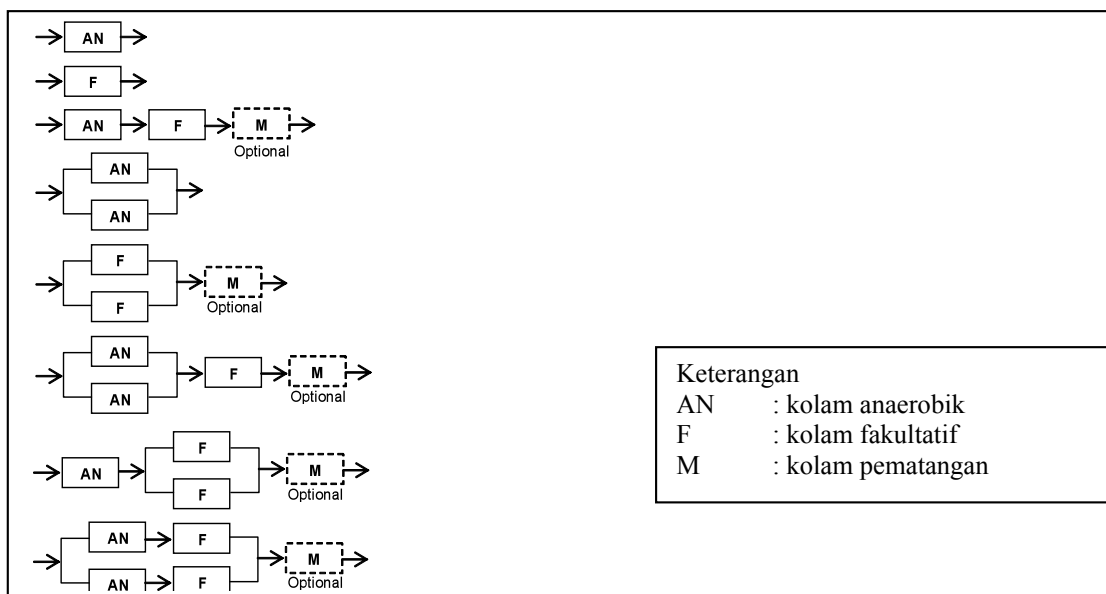
Kolam stabilisasi ini cukup banyak digunakan oleh negara-negara berkembang karena biaya pembuatan dan pemeliharaannya murah serta lahan yang tersedia masih cukup banyak. Prinsip dasar dari kolam stabilisasi adalah (Veenstra, 2000):

- menyeimbangkan dan menjaga fluktuasi beban organik dan beban hidrolis limbah air,
- mengendapkan partikel padatan dari air limbah di kolam pertama,
- memanfaatkan proses fotosintesis yang dilakukan oleh algae sebagai sumber utama oksigen,
- proses penguraian zat organik secara biologis yang dilakukan oleh mikroorganisme (baik secara aerobik maupun anaerobik), dan
- pengurangan organisme patogenik melalui beberapa proses interaktif antara alga dan bakteri.

Kolam stabilisasi dapat diklasifikasikan berdasarkan pada proses biologis yang utama pada kolam tersebut, pola pembebanan hidrolis atau tingkat pengolahan yang diinginkan. Berdasarkan pada hal tersebut, kolam stabilisasi dapat digolongkan menjadi: kolam anaerobik, kolam fakultatif dan kolam pematangan (Polprasert, 1996).

- Kolam anaerobik (*anaerobic ponds*). Kolam anaerobik didesain agar partikel padat yang dapat terurai secara biologis dapat mengendap dan diuraikan melalui proses anaerobik. Kolam ini biasanya mempunyai kedalaman 3 sampai 5 meter dengan masa tinggal hidrolis (*hydraulic retention time*) antara 1 sampai 20 hari.
- Kolam fakultatif (*facultative ponds*). Kolam fakultatif biasanya mempunyai kedalaman berkisar 1 sampai 2 meter dengan proses penguraian secara aerobik dibagian atas dan penguraian secara anaerobik di lapisan bawahnya. Jenis kolam ini mempunyai masa tinggal hidrolis antara 5 sampai 30 hari. Penggunaan kolam fakultatif bertujuan untuk menyeimbangkan input oksigen dari proses fotosintesis alga dengan pemakaian oksigen yang digunakan untuk penguraian zat organik.
- Kolam pematangan (*maturity ponds*). Kolam pematangan adalah kolam dangkal dengan kedalaman hanya 1 sampai 1,5 meter. Hal ini ditujukan agar keseluruhan kolam tersebut dapat ditumbuhi oleh alga sehingga oksigen yang dihasilkan selama proses fotosintesis dapat dipergunakan untuk proses penguraian secara aerobik. Kolam ini digunakan untuk memperbaiki kualitas air yang dihasilkan oleh pengolahan di kolam fakultatif dan untuk mengurangi jumlah organisme patogenik.

Sebagai upaya untuk mendapatkan kualitas air limbah hasil olahan yang lebih baik, kolam anaerobik, kolam fakultatif dan kolam pematangan dapat dikombinasikan dalam beberapa cara. Gambar 3 menggambarkan beberapa kombinasi dari kolam stabilisasi.



Gambar 3. Berbagai konfigurasi kolam stabilisasi. Dasar utama untuk pemilihan tipe konfigurasi adalah derajat kualitas air limbah hasil olahan yang hendak dicapai (Pescod, 1992).

Selain cukup banyak digunakan di negara-negara tropis maupun sub-tropis, dikarenakan oleh kehandalan dan efisiensinya, sistem ini juga digunakan di beberapa negara maju seperti Amerika Serikat dan Jerman. Kolam stabilisasi yang terdiri dari kolam anaerobik, fakultatif dan pematangan mampu mengurangi

kandungan BOD air limbah sampai dengan 90%, sedangkan pengurangan bakteri coli (sebagai indikator adanya organisme patogen) dapat mencapai 99% (Veenstra, 2000).

Beberapa kelebihan dan kekurangan dari sistem pengolahan air limbah menggunakan kolam stabilisasi disajikan dalam tabel 2.

Tabel 2. Kelebihan dan keterbatasan pengolahan air limbah dengan kolam stabilisasi

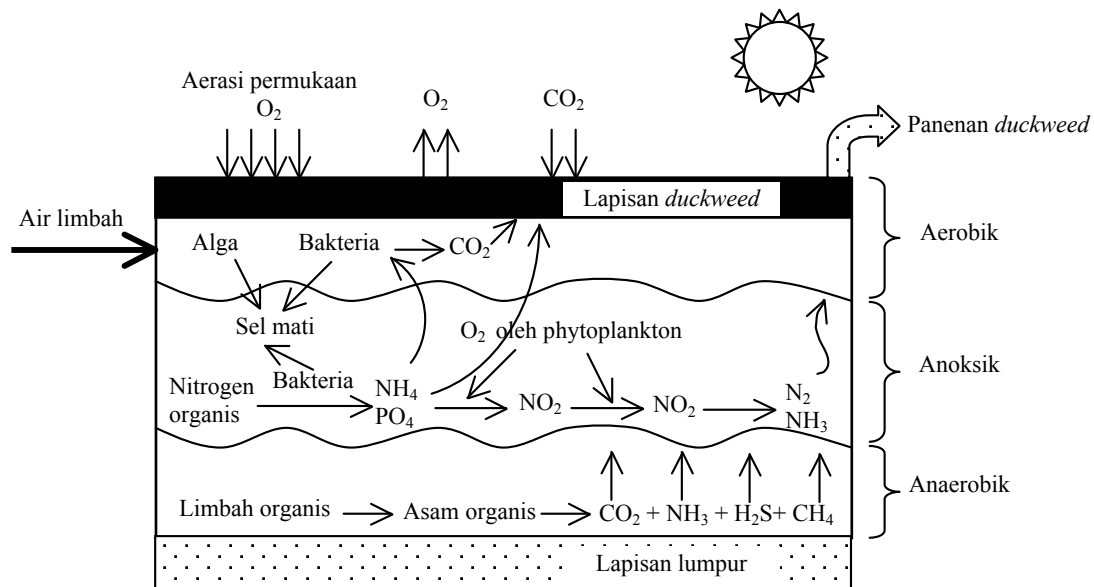
Kelebihan	Keterbatasan
<ul style="list-style-type: none"> · Biaya untuk investasi relatif rendah · Mempunyai kemampuan untuk menghindari kelebihan pembebanan bahan organik · Kebutuhan energi relatif rendah · Pengoperasian dan pemeliharaan relatif mudah · Lumpur (<i>biomass</i>) yang dihasilkan dapat digunakan sebagai kompos untuk keperluan pertanian 	<ul style="list-style-type: none"> · Area yang dibutuhkan relatif luas (2-5 m²/PE) · Air hasil pengolahan mempunyai kandungan algae yang tinggi · Adanya kehilangan air karena penguapan · Ada kemungkinan menjadi tempat berkembang biak nyamuk dan agen penyakit lainnya

Diadaptasi dari: Veenstra, 2000, Pescod, 1992 dan Pena-Varon and Mara, 2004

3. Pengolahan Air Limbah dengan Kolam Tumbuhan Air (*Macrophyte Ponds*)

Kolam tumbuhan air (makrofit= yaitu tumbuhan air yang relatif berukuran lebih besar daripada alga) adalah sejenis kolam pematangan yang memanfaatkan tumbuhan air yang terapung ataupun mengambang di dalam air. Tumbuhan air yang dipergunakan pada sistem pengolahan ini mampu menyerap nutrisi anorganik (terutama P dan N) dalam jumlah yang relatif besar (Pescod, 1992; Körner *et al.*, 2003). Selain itu, sistem ini juga mampu untuk mengurangi kandungan logam berat yang terdapat pada air limbah (Polprasert, 1996; Espinosa-Quinones *et al.*, 2005).

Cara kerja dari kolam tumbuhan air ini utamanya didasarkan pada simbiosis mutualisma antara tumbuhan air dan bakteri pengurai bahan pencemar yang terdapat di dalam air. Bakteri aerobik dan fakultatif yang akan menguraikan kandungan bahan pencemar organik menggunakan oksigen yang diproduksi oleh proses fotosintesis tumbuhan air. Sedangkan, produk sampingan dari proses penguraian yang dilakukan oleh bakteri, yaitu karbondioksida dan amonium akan dimanfaatkan tumbuhan air dalam proses fotosintesis tersebut. Skema proses pengolahan air limbah pada kolam tumbuhan air dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses yang terjadi pada kolam tumbuhan air. Dalam gambar ini tumbuhan air yang dipergunakan adalah *duckweed*. Proses fotosintesis dan penguraian zat organik oleh bakteria merupakan proses penting yang bersimbiosis.

Berbagai macam tumbuhan air dapat digunakan untuk kolam tumbuhan air dan dapat dipanen untuk bermacam keperluan seperti untuk makanan hewan atau sebagai bahan dasar untuk kerajinan. Meskipun demikian, apabila hasil panen tumbuhan tersebut akan digunakan sebagai makanan hewan, harus diperhatikan bahwa air limbah yang diolah tidak mengandung logam berat yang berbahaya. Beberapa jenis tumbuhan yang sering digunakan dan telah diteliti secara intensif adalah *duckweed* (*Lemna sp.*). Di Indonesia, tumbuhan yang potensial untuk digunakan adalah eceng gondok (*water hyacinth*= *Eichhornia crassipes*). Hasim (2003) mengutip penelitian oleh Widyanto dan Susilo (1977) melaporkan dalam waktu 24 jam eceng gondok mampu menyerap logam kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan nikel (Ni), masing-masing sebesar 1,35 mg/g, 1,77 mg/g, dan 1,16 mg/g apabila bila logam-logam tersebut itu tak bercampur. Eceng gondok juga menyerap Cd 1,23 mg/g, Hg 1,88 mg/g dan Ni 0,35 mg/g berat kering apabila logam-logam itu berada dalam keadaan tercampur dengan logam lain. Lubis dan Sofyan (1986 dalam Hasim, 2003) menyimpulkan bahwa logam chrom (Cr) dapat diserap oleh eceng gondok secara maksimal pada pH 7 dan dapat dikurangi kandungannya hingga 51,85 persen.

Seperti telah dikemukakan, kolam tumbuhan air yang menggunakan tumbuhan mengambang dengan sistem akar yang relatif besar akan sangat efisien dalam pengurangan kandungan nutrisi air limbah. Hal ini membuat kolam tumbuhan air dapat digunakan sebagai pengolahan tersier dalam sistem pengolahan air limbah yang lebih besar. Di daerah tropis, beberapa tumbuhan air tumbuh dengan pesat (dua kali massanya dalam 6 hari) sehingga sebuah kolam mampu memproduksi kurang lebih 250 kg/ha.hari (berat kering). Kemampuan sistem ini untuk menguraikan BOD mencapai 95%, sedangkan pengurangan nitrogen dan fosfor mencapai 80% dan 50%. Kelebihan dan keterbatasan dari pengolahan limbah dengan menggunakan kolam tumbuhan air dapat diringkas dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kelebihan dan keterbatasan pengolahan air limbah dengan kolam tumbuhan air

Kelebihan	Keterbatasan
<ul style="list-style-type: none"> · Biaya pembuatan dan operasional rendah · Kebutuhan energi relatif rendah · Pengoperasian dan pemeliharannya relatif sederhana · Sangat efisien untuk menghilangkan nutrisi dari air limbah, terutama nitrogen dan fosfor · Ada kemungkinan untuk memanfaatkan tanamannya sebagai sumber makanan atau bahan kerajinan 	<ul style="list-style-type: none"> · Adanya kehilangan air karena penguapan · Ada kemungkinan menjadi tempat berkembang biak nyamuk dan agen penyakit lainnya · Terdapat kemungkinan timbul bau yang tidak sedap · Ada kemungkinan tanamannya menyebabkan penyumbatan pada saluran air

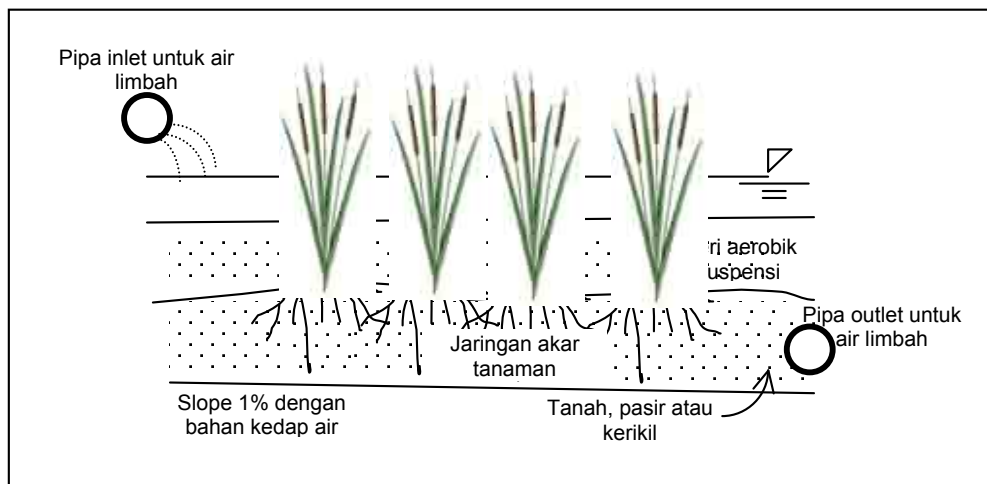
Diadaptasi dari: Polprasert *et al.*, 2001; Kengne *et al.*, 2003 and Awuah, 2006

4. Pengolahan Air Limbah dengan Rawa Buatan (*Constructed Wetlands*)

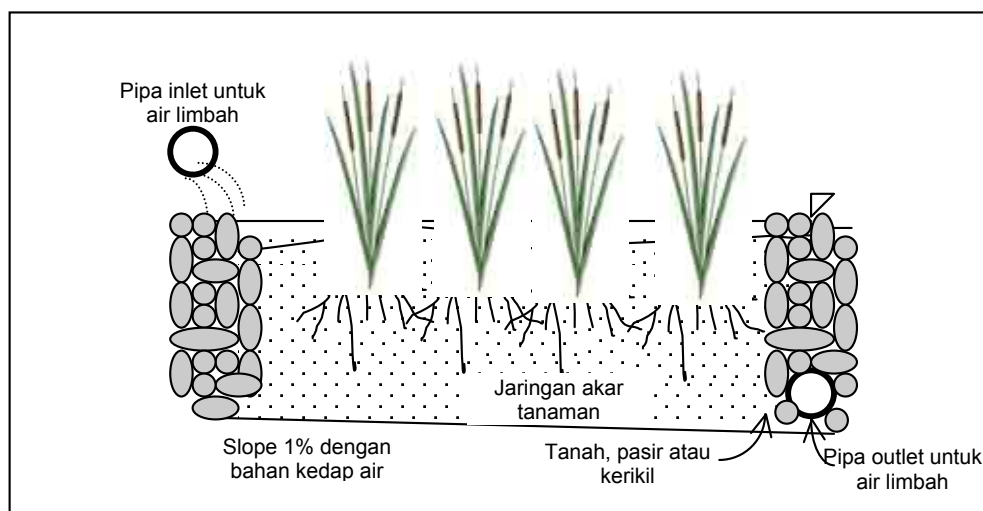
Menurut US-EPA (1988), yang dimaksud dengan rawa adalah suatu daerah yang terendam oleh air permukaan atau air tanah dalam suatu periode tertentu yang memungkinkan terjadinya kondisi jenuh air pada tanah tersebut. Rawa buatan biasanya mempunyai kedalaman sekitar 0,6 meter berbentuk memanjang seperti kanal sempit. Dikarenakan prinsip dasar pengolahan air limbah dengan rawa buatan ini sama dengan prinsip kolam tumbuhan air, maka rawa buatan ini harus ditanami dengan tumbuhan yang relatif toleran terhadap air seperti ekor kucing (*Typha spp*), bulrush (*Scirpus spp*) atau reed (*Phragmites communis*).

Tidak seperti rawa alami, rawa buatan untuk pengolahan air limbah dapat dibuat hampir dimana saja meskipun dengan lahan yang terbatas. Rawa buatan juga mempunyai kapasitas dan kemampuan pengolahan air limbah yang lebih bagus dibandingkan dengan rawa alami karena bagian dasar dari rawa buatan ini biasanya dibuat dengan konstruksi khusus dan dapat diatur pembebanan hidrolisnya (Polprasert *et al.*, 2001; Crites *et al.*, 2006). Rawa buatan dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu rawa buatan yang air limbahnya mengalir di permukaannya (*free water surface system*) dan rawa buatan yang air limbahnya mengalir di bawah permukaan rawa (*subsurface flow system= SF*). Ilustrasi dari kedua jenis rawa buatan tersebut dapat dilihat pada gambar 5.a dan 5.b.

Kemampuan rawa buatan untuk pengolahan air limbah, terutama di daerah tropis, sangat tinggi. Pengurangan BOD dengan menggunakan proses ini bisa mencapai 65% sampai 85%. Padatan tersuspensi dapat dikurangi sebanyak 90%, sedangkan pengurangan nutrisi (nitrogen dan fosfor) dapat mencapai 85% serta pengurangan organisme patogen mencapai 99,5% (Polprasert *et al.*, 2001; Crites *et al.*, 2006). Kelebihan dan keterbatasan sistem pengolahan air limbah dengan sistem rawa buatan disajikan pada Tabel 4.



Gambar 5.a. Rawa buatan dengan sistem *free water surface*



Gambar 5.b. Rawa buatan dengan sistem *subsurface flow*

Tabel 4. Kelebihan dan keterbatasan pengolahan air limbah dengan rawa buatan

Kelebihan	Keterbatasan
<ul style="list-style-type: none"> · Pemilihan lokasi lebih fleksibel · Biaya pembuatan dan operasional rendah · Kebutuhan energi relatif rendah · Pengoperasian dan pemeliharaan relatif mudah · Ada kemungkinan dijadikan sebagai habitat untuk kehidupan liar 	<ul style="list-style-type: none"> · Area yang dibutuhkan relatif luas · Adanya kehilangan air karena penguapan · Ada kemungkinan menjadi tempat berkembang biak nyamuk dan agen penyakit lainnya · Terdapat kemungkinan timbulnya bau yang kurang sedap

Diadaptasi dari: Pescod, 1992, Polprasert *et al.*, 2001, dan Veenstra, 2000

PENUTUP

Dari uraian diatas, dapat disimpulkan bahwa sebenarnya pengelolaan air limbah yang berkelanjutan tidaklah terlalu sulit dan membutuhkan biaya yang besar. yang paling utama dibutuhkan adalah kemampuan dalam mengaplikasikan pendekatan-pendekatan alternatif untuk mencapai hasil terbaik. meskipun demikian, penyelesaian

masalah air limbah bukanlah sesuatu yang generik, sehingga penyelesaian di satu tempat belum tentu cocok untuk diterapkan di lain tempat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Awuah, E., 2006. *Pathogen Removal Mechanisms in Macrophyte and Algal Waste Stabilization Ponds*. Taylor and Francis/Balkema: Leiden-The Netherlands.
- [2] Bos, A.A., Gijzen, H.J., Hilderink, H., Moussa, M., de Ruyter, E., and Niessen, L., 2005. Health Benefits versus Costs of Water Supply And Sanitation. *Water21*, October 2005: 31—35.
- [3] Cosgrove, W.J. and Rijsberman, F.R., 2000. *World Water Vision: Making Water Everybody's Business*. The world water council, Earthcan Publishers Ltd., UK, pp. 108.
- [4] Crites, R.W., Middlebrooks, J. and Reed. S.W., 2006. *Natural Wastewater Treatment Systems*. Francis and Taylor: Boca Raton-USA.
- [5] Espinoza-Quinones, F. R., Zacarkim, C. E., Palacio, S. M., Obregon, C. L., Zenatti, D. C., Galante, R. M., Rossi, N., Rossi, F. L., Pereira, I. R. A. and Welter, R. A., 2005. Removal of Heavy Metal from Polluted River Water Using Aquatic Macrophytes *Salvinia sp.* *Brazilian Journal of Physics*, vol. 35, no. 3B, 744-746.
- [6] Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D., 1983. *Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*. Published for the World Bank by John Wiley and Sons, U.K.
- [7] Hasim, 2003. *Eceng Gondok Pembersih Polutan Logam Berat*. Harian Kompas 2 Juli 2003.
- [8] Kengne, I.M., Brissaud, F., Akoa, A., Eteme, R.A., Nya, J., Ndikeyfor, A. and Fonkou, T., 2003. Mosquito development in a macrophyte-based wastewater treatment plant in Cameroon (Central Africa). *Ecological Engineering*. Vol. 21: 53–61
- [9] Körner, S., Vermaat, J.E., and Veenstra, S., 2003. The Capacity of Duckweed to Treat Wastewater: Ecological Considerations for a Sound Design. *Journal of Environ. Qual.* Vol. 32:1583–1590.
- [10] Nayono, S.E., 2005. Anaerobic Treatment of Wastewater from Sugar Cane Industry. *Jurnal Inersia* Vol. 1 No. 1. Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, UNY
- [11] Pena-Varon, M. and Mara, D., 2004. *Waste Stabilization Ponds*. IRC: Delft- The Netherlands.
- [12] Pescod, M.B., 1992. *Wastewater Treatment and Use in Agriculture: FAO Irrigation and Drainage Paper 47*. Rome: FAO
- [13] Polprasert, C., 1996. *Organic Waste Recycling*, 2nd ed., Chichester: John Wiley and Sons
- [14] Polprasert, C., Van der Steen, N.P., Veenstra, S., and Gijzen, H.J., 2001. *Wastewater Treatment II: Natural System for Wastewater Management*. Delft: International Institute for Infrastructure, Hydraulics and Environmental Engineering (IHE Delft).
- [15] Siebel, M.A. dan Gijzen, H.J., 2002. *Application of Cleaner Production Concepts in Urban Water Management*. Environmental Technology and Management Seminar. Bandung: ITB
- [16] United Nations Environmental Programme (UNEP), 2004. *Guidelines on Municipal Wastewater Management*. The Hague: UNEP/GPA Coordination Office
- [17] United States-Environment Protection Agency (US-EPA), 1988. *Design Manual-Constructed Wetlands and Aquatic Plant System for Municipal Wastewater Treatment*. Cincinnati, Ohio: US-EPA
- [18] Veenstra, S., 2000. *Wastewater Treatment*. Delft: Institute for Infrastructure, Hydraulics and Environmental Engineering (IHE Delft)

[19] WHO (World Health Organization), 2005. *Water for Life: Making It Happen*. WHO: Geneva- Switzerland:.. p38.