

## **PENGEMBANGAN PROSES PADA SISTEM ANAEROBIC BAFFLED REACTOR UNTUK MEMENUHI BAKU MUTU AIR LIMBAH DOMESTIK**

### ***Upgrading Process of Anaerobic Baffled Reactor System to Comply Domestic Wastewater Quality Standard***

**Elis Hastuti<sup>1</sup>, Reni Nuraeni<sup>2</sup>, Sri Darwati<sup>3</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Pusat Litbang Perumahan dan Perumahan

Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

Jl. Panyawungan, Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung 40393

Surel: elishastuti@yahoo.com; reninur@puskim.pu.go.id; sridarwati924@gmail.com

Diterima: 10 April 2017 Disetujui: 28 Oktober 2017

#### **Abstrak**

*Salah satu prioritas penyediaan sarana pengolahan air limbah domestik yang dilakukan oleh pemerintah adalah penerapan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) skala komunal. Pada umumnya sistem pengolahan IPAL komunal yang dikembangkan dengan proses anaerobik, diantaranya sistem Anaerobic Baffled Reactor (ABR). Namun sebagian besar penerapannya, sistem ini tidak memenuhi standar baku mutu efluen yang berlaku. Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik penyisihan organik dan potensi pengembangan proses pengolahan pada IPAL komunal sistem ABR, antara lain dengan modifikasi proses pengolahan atau kombinasi dengan teknologi pengolahan air limbah lainnya. Penelitian dilakukan pada beberapa IPAL komunal sistem ABR yang telah diterapkan sejak tahun 2012 – 2013 di Kota Cimahi, Jawa Barat. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode evaluasi penerapan sistem ABR komunal di lapangan, melalui pengamatan masyarakat pengguna, proses pengoperasian dan pemeliharaan serta pengujian kualitas air secara fisik dan kimia. Analisis deskriptif kualitatif dilakukan terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja IPAL serta potensi pengembangan sistem ABR berdasarkan karakteristik proses sistem ABR. Faktor faktor tersebut adalah aspek desain, pengelolaan air limbah, proses aklimatisasi, pemakaian air oleh pengguna serta pengaruh dari lingkungan sekitar. Peningkatan proses pengolahan sistem ABR di lokasi penelitian, dapat dilakukan dengan modifikasi desain sekat, peningkatan sistem start-up, pemeliharaan biomassa, modifikasi ABR dengan sistem hibrid, sistem resirkulasi dan pengolahan lanjutan. Sehingga pada standar perencanaan ABR untuk pengolahan air limbah domestik, diperlukan pembahasan mengenai alternatif pengembangan proses pengolahan air limbah untuk menghasilkan air olahan yang memenuhi baku mutu efluen air limbah domestik.*

**Kata Kunci :** Air limbah, pengembangan, anaerobic baffled reactor, organik, standar

#### **Abstract**

*The wastewater treatment infrastructure had provided by the government mainly through application of communal wastewater treatment plant (WWTP). The treatment process of communal WWTP applied generally anaerobic system, such as Anaerobic Baffled Reactor (ABR) technology, but most of treated water do not meet effluent standard. This paper aims to research the characteristics of the organic removal and treatment upgrading process in the communal ABR system, including process modification or combination with other system. Research carried out in several communal WWTP has applied since the year 2012-2013 in Cimahi City, West Java. Method of evaluation was conducted in the WWTP management through observation of serviced community, operation and maintenance, water quality test both physically and chemicaly. Method of qualitative descriptive for analysis factors affecting the process performance of ABR and potential process upgrading of ABR system according to characteristic of ABR system. The organic removal in ABR system is influenced by the management, existence of pra treatment unit, acclimatization process, water consumption and environment of serviced area. Upgrading process of ABR system can be performed by modification of baffle design, start-up process, maintenance biomass, hybrid system, recirculation systems and application of further treatment. The review these alternative of ABR upgrading process are important in the ABR planning standard to achieve treated water meet effluent standard.*

**Keywords:** Wastewater, upgrading, anaerobic baffled reactor, organic, standard

## PENDAHULUAN

Penerapan Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) komunal merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan akses sanitasi di kawasan permukiman. Di beberapa kawasan permukiman perkotaan, penyediaan IPAL komunal belum dapat berkontribusi pada upaya mengurangi tingkat pencemaran badan air. Hal ini disebabkan oleh belum tercapainya baku mutu efluen, ketidaksesuaian persyaratan teknis, tidak memperhatikan unit penunjang IPAL/prosedur operasi, kurangnya partisipasi masyarakat untuk pemeliharaan serta penggunaan yang melebihi kapasitas IPAL. Sehingga dapat berpengaruh terhadap kinerja pengolahan air limbah, penurunan kualitas lingkungan sekitar atau badan air penerima.

Pada pembangunan sanitasi berbasis masyarakat dari tahun 2010-2014, telah terbangun sekitar 11.632 unit IPAL komunal (Direktorat Pengembangan Kesehatan Lingkungan 2015). Sebagian besar sistem IPAL komunal berbasis masyarakat tersebut menerapkan sistem anaerobik, yaitu proses penyisihan polutan organik air limbah oleh mikroorganisma menjadi gas metan dan karbondioksida (Tchobanoglous et al. 2003). Sistem anaerobik berkaitan dengan kebutuhan biaya yang rendah karena tidak memerlukan peralatan aerasi dan konsumsi energi. Disamping itu proses anaerobik dapat menghasilkan gas metan sebagai bahan bakar (Liu et al. 2010; Matsuo 2001) serta menghasilkan lumpur sekitar 5-10 % dari jumlah organik yang diolah, lebih rendah dibandingkan dengan proses aerobik konvensional (Tchobanoglous et al. 2003).

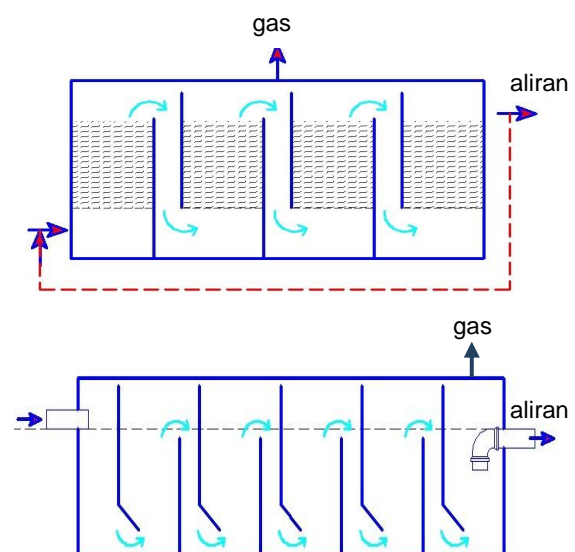
Sistem IPAL komunal yang sebagian besar dibangun oleh pemerintah pada umumnya menggunakan sistem ABR (*Anaerobic Baffled Reactor*) atau sistem selimut lumpur dengan aliran tersumbat/*plug flow* atau tangki septik bersekat. Namun desain, penerapan dan pengelolaan yang tidak tepat menyebabkan efluen sistem ABR belum memenuhi baku mutu Permen Lingkungan Hidup Nomor 5 tahun 2014, baku mutu daerah maupun baku mutu yang dipersyaratkan oleh lembaga inspeksi IPAL. Selain itu seiring pencemaran air yang semakin meningkat dan kebijakan pengembangan sistem IPAL anaerob aerob serta daur ulang air limbah, maka sistem ABR memerlukan modifikasi serta pengembangan pengolahan lanjutan untuk peningkatan kualitas lingkungan.

Upaya peningkatan kualitas air olahan IPAL yang dapat didaur ulang, merupakan implementasi Instruksi Presiden Nomor 2 tahun 2008, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 6 tahun 2011 (Pasal 37, ayat 1) serta dokumen negara "*Indonesia's Technology Need Assessment for Climate Change*

*Adaptation 2011*". Untuk mendukung penerapan sistem ABR yang tepat, saat ini telah tersusun draf SNI perencanaan pengolahan air limbah dengan reaktor anaerobik bersekat (*anaerobic baffled reactor*) dan rancangan peraturan Menteri 2015, mengenai penyelenggaraan pengembangan sistem pembuangan air limbah setempat. Pada rujukan tersebut, diperlukan penambahan ketentuan modifikasi pengembangannya serta pengolahan lanjutan di dalam hal mengantisipasi kendala-kendala pengolahan air limbah pada sistem komunal serta peningkatan kualitas efluen.

Tulisan ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik penyisihan organik pada IPAL komunal sistem ABR serta potensi peningkatan kinerja pengolahannya atau kombinasi dengan teknologi pengolahan air limbah lainnya. Hasil kajian tersebut sebagai rujukan peraturan perencanaan sistem ABR dan modifikasinya sehingga dapat menghasilkan air olahan yang memenuhi baku mutu atau untuk dimanfaatkan kembali.

Sistem *Anaerobic Baffled Reactor* (ABR) merupakan sistem pengolahan air limbah tersuspensi anaerobik dan memiliki kompartemen-kompartemen yang dibatasi oleh sekat vertikal. Pada umumnya penerapan sistem ABR digunakan untuk air limbah dengan beban organik rendah atau pengolahan awal air limbah. Serangkaian sekat vertikal didalam ABR dapat mengkondisikan air limbah mengalir naik turun dari inlet menuju outlet, sehingga terjadi kontak antara limbah cair dengan biomassa aktif (Gambar 1). Ruang atau kompartemen dengan aliran turun lebih sempit dari ruang aliran naik sehingga kecepatan *upflow* dalam ruang lebih rendah dari kecepatan rata-rata melalui reaktor.



**Gambar 1** Diagram Arah Aliran Air Dan Gas Serta Penempatan Sekat Menggantung

Profil konsentrasi senyawa organik bervariasi sepanjang ABR, hal ini dikarenakan adanya peningkatan waktu kontak air limbah. Bakteri di dalam bioreaktor mengapung dan mengendap sesuai karakteristik aliran dan gas yang dihasilkan, tetapi bergerak secara horizontal ke ujung reaktor secara perlahan, sehingga konfigurasi tersebut mampu menunjukkan tingkat penyisihan *chemical oxygen demand* (COD) yang tinggi (Foxon et al. 2006; Wang et al. 2004). Selain itu, pada kompartemen dengan aliran naik (*upflow chamber*) dapat meningkatkan proses penguraian dan penyisihan bahan organik hingga mencapai 90%.

ABR termasuk sistem anaerobik *sludge blanket process* yang dipasang seri namun tidak membutuhkan butiran/granular di dalam pengoperasiannya. ABR dioperasikan pada waktu detensi 6 – 24 jam, konsentrasi padatan volatil 4 – 20 g/L. Menurut Sasse (1998), parameter desain utama untuk ABR adalah HRT (*hydraulic retention time*) > 8 jam, kecepatan aliran ke atas (*up flow velocity*) < 2 m/jam, beban organik 3 kg COD/m<sup>3</sup>/hari, penyisihan COD 65 – 90% dan penyisihan BOD 70 – 95%. Meskipun demikian lumpur pada setiap kompartemen akan berbeda tergantung pada lingkungan spesifik dan senyawa atau zat yang terdegradasi (Barber dan Stuckey 1999; Wang et al. 2004; Foxon et al. 2006).

Sistem ABR mempunyai keunggulan, diantaranya kesederhanaan sistem, kebutuhan biaya yang rendah, waktu retensi lumpur yang panjang, waktu retensi hidraulik yang rendah, tidak diperlukan karakteristik biomassa khusus, kemudahan di dalam pengoperasian, timbulan lumpur yang rendah, stabil terhadap *shock loading*, serta dapat mengolah air limbah dengan variasi karakteristik air limbah. Mikroorganisma di dalam reaktor secara perlahan meningkat dan mengendap selama karakteristik aliran dan produksi gas. Meskipun demikian laju pergerakan sepanjang reaktor rendah. Laju dorong utama di belakang reaktor desain diperkaya oleh kapasitas retensi padatan (Foxon et al. 2006).

Terdapat kelemahan pada sistem anaerobik, demikian juga pada sistem ABR, diantaranya

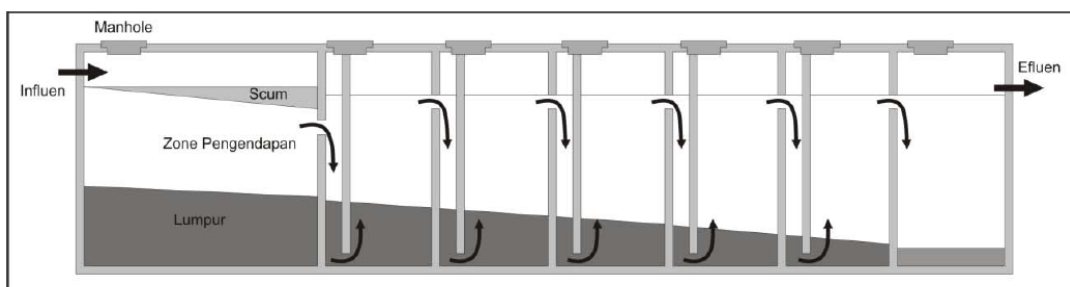
membutuhkan pasokan air yang konstan (aliran kontinu), belum ada penyisihan nutrien/patogen serta waktu aklimatisasi panjang (Tanaka 2015). Secara prinsip, semua fase degradasi proses anaerobik, diproses secara simultan pada setiap kompartemen. Variasi modifikasi ABR telah banyak dikembangkan untuk meningkatkan kinerja (Tchobanoglous et al. 2003), termasuk :

- perubahan desain sekat.
- reaktor hibrid, unit pengendap digunakan untuk mengendapkan dan meresirkulasi padatan.
- media yang dikemas dan ditempatkan pada bagian atas pada setiap kompartemen untuk menahan padatan (Barber dan Stuckey 1999; Matsuo 2001).
- integrasi ABR dengan proses elektrokimia menggunakan elektroda (baja atau aluminium) (Aqaneghad dan Moussavi 2016).

**METODE**

Penelitian ini menggunakan metoda evaluasi penerapan sistem ABR komunal (Gambar 2) di lapangan untuk pengumpulan data karakteristik penyisihan kontaminan air limbah. Penentuan lokasi untuk kajian penerapan di lapangan, berdasarkan lokasi yang memiliki banyak kendala teknis selama pengelolaan IPAL serta kesepakatan dengan pemerintah daerah/pengelola yang akan melaksanakan peningkatan sistem pengolahan dan pengelolaan. Pengamatan IPAL ABR komunal di lokasi terpilih dilakukan selama 8 bulan, kemudian dilakukan pengambilan sampel komposit dan pengujian kualitas air secara fisik dan kimia sekitar 3 – 4 kali pada setiap IPAL yang telah beroperasi sejak tahun 2012 – 2013 di Kota Cimahi, Jawa Barat.

Tinjauan aspek desain, struktur, kinerja dan pengoperasian sistem IPAL dilakukan pada penerapan sistem ABR komunal yang berada di Kota Cimahi, Jawa Barat. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja IPAL dilakukan dengan survei lapangan dan masyarakat kemudian dianalisis dengan metoda deskriptif kualitatif seperti proses pengolahan, kapasitas pelayanan, lokasi pelayanan, budaya masyarakat dan pengelolaannya.



**Gambar 2** Sketsa ABR di Lokasi Studi

Metoda analisis data juga menggunakan pengujian kualitas air secara fisik dan kimia serta analisis modifikasi dan potensi *upgrading* sistem ABR berdasarkan karakteristik proses sistem ABR, kajian teoritis, SNI dan penelitian terdahulu mengenai potensi kombinasinya dengan sistem pengolahan air limbah lainnya.

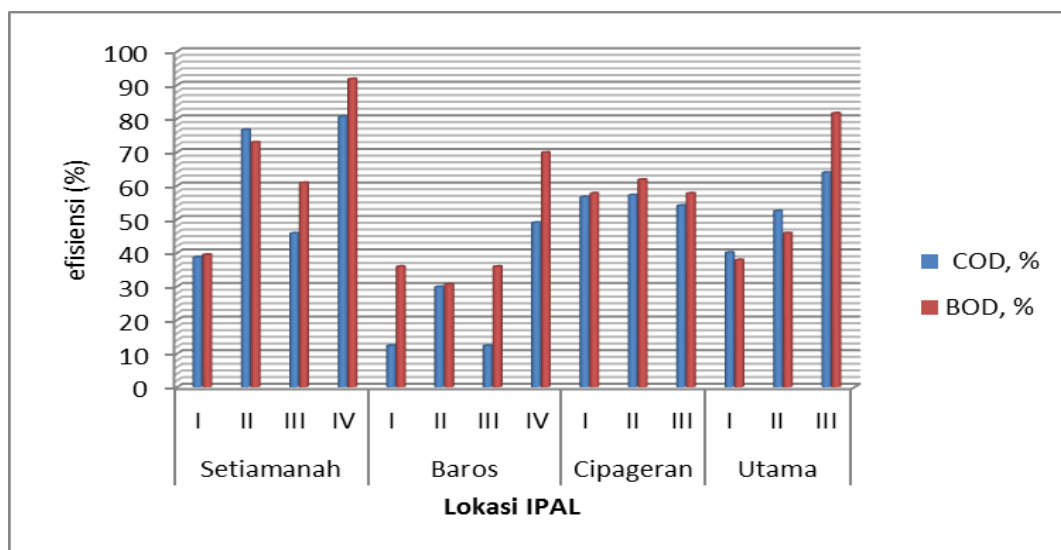
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik Penyisihan Air Limbah dengan Sistem ABR

Penerapan ABR sistem komunal di Sumedang dan Sukabumi, menunjukkan nilai BOD pada influen sekitar 113 -126 mg/L dan efluen sekitar 48-54 mg/L (Lembaga Inspeksi Puslitbangkim 2013). Sedangkan penerapan sistem ABR di lokasi studi, konsentrasi BOD influen sekitar 117 - 388,5 mg/L dan COD sekitar 166,8 - 615,5 mg/L sehingga air limbah dapat dikategorikan air limbah konsentrasi sedang sampai berat (Tchobanoglous et al. 2003). Konsentrasi tinggi BOD pada influen, terjadi selama ketersediaan air bersih yang rendah pada musim kemarau. Berdasarkan hasil survei tahun 2015, pemakaian air bersih sekitar 61,5 - 122 Liter/orang/hari dan diperkirakan timbulan air limbah di lokasi studi sekitar 49 - 98 Liter/orang/hari. Hasil uji kualitas air olahan menunjukkan konsentrasi BOD sekitar 31,80 - 269,50 mg/L dan COD sekitar 63,69 - 431,64 mg/L. Pada gambar 3, menunjukkan efisiensi penyisihan pada beberapa parameter dan efisiensi penyisihan yang tinggi terjadi di lokasi Setiamanah, yaitu efisiensi penyisihan rata rata BOD sebesar 66,27 % dan sebesar COD 60,46 %.

Pada beberapa kajian pustaka, sistem ABR dapat menghasilkan proses yang tahan terhadap fluktuasi beban hidraulik dan organik, memiliki waktu retensi yang lebih lama, serta menghasilkan lumpur yang lebih sedikit dan kemampuan sebagian untuk pemisahan antara beberapa fase katabolisme anaerobik (Barber dan Stuckey 1999; Matsuo 2001). Penelitian sistem ABR menunjukkan penyisihan COD sekitar 65 - 90% dan penyisihan BOD sekitar 70 - 95% (Sasse 1998). Sedangkan Hahn dan Figueroa (2015) menunjukkan bahwa ABR skala pilot yang telah dioperasikan selama dua tahun dapat menyisihkan BOD sebesar 47±15% dan TSS sebesar 83±10%. Nilai penyisihan ini telah melampaui kinerja proses klarifikasi primer pada sistem pengolahan konvensional. Sementara itu pada kompartemen pertama ABR diketahui terjadi penyisihan TSS sebesar 75±15% dan COD total sebesar 43±14%. Pada kasus influen COD sebesar 315 mg/L, jumlah kompartemen 15 buah, beban COD 0,9 kg/m<sup>3</sup>.hari, diperoleh penyisihan COD 70% pada suhu 15°C (Tchobanoglous et al. 2003). Hasil penelitian Singh et al. (2009), sistem ABR dapat berfungsi sebagai pengolahan primer dengan penyisihan BOD mencapai 78%, COD sekitar 77% dan TSS sekitar 91%.

Berdasarkan analisis di lokasi kajian penerapan sistem ABR (Tabel 1), diperoleh kriteria waktu detensi < 10 jam dan beban organik < 3 kg COD/m<sup>3</sup>/hari. *Upflow velocity* yang teridentifikasi sekitar 0,4 - 0,97 m/jam dan memenuhi kriteria desain tipikal 0,7 m/jam atau < 2 m/jam.



Gambar 3 Prosentase Penyisihan COD dan BOD pada Sistem ABR di Kota Cimahi

**Tabel 1** Kriteria Sistem ABR Komunal di Beberapa Kawasan di Kota Cimahi

| No | Uraian  | Kriteria Desain | Lokasi |            |       |           |
|----|---|-----------------|--------|------------|-------|-----------|
|    |   |                 | Baros  | Setiamanah | Utama | Cipageran |
| 1. | Waktu retensi / <i>Hidraulic Retention Time</i> (jam)                     | 6-20            | 4,97   | 9,25       | 5,9   | 6,9       |
| 2. | Beban organik / <i>Organic Loading Rate</i> (kg COD/m <sup>3</sup> /hari) | < 3             | 0,18   | 0,27       | 0,64  | 0,27      |
| 3. | Kecepatan <i>up-flow</i> (m/jam)  | < 2             | 0,40   | 0,97       | 0,40  | 0,42      |
| 4. | Penyisihan BOD (%)  | 70 – 95         | 43,09  | 66,27      | 55,13 | 59,1      |
| 5. | Penyisihan COD (%)  | 65 – 90         | 25,89  | 60,46      | 52,16 | 55,99     |

Sumber : Hasil analisis, 2015.

**Tabel 2** Penyelesaian Kendala Teknis dan Nonteknis Pengelolaan ABR di Lokasi Studi

| No | Kendala Teknis                           | Kendala Nonteknis   | Upaya Penyelesaian Kendala  |
|----|--|---|---|
| 1. | Bak pengendap awal dipenuhi sampah       | Perilaku membuang sampah ke pipa air limbah                   | - Penambahan <i>screen</i> pada unit pra pengolahan<br>- Sosialisasi dampak air limbah dan pengelolaan IPAL |
| 2. | Pasir yang mengeras di dasar bak         | Kurangnya perhatian masyarakat pengguna mengenai pemeliharaan | Pembersihan padatan dan pasir di unit pra pengolahan secara rutin   |
| 3. | Timbulnya bau yang berkepanjangan        | Pembangunan disekitar area hijau / <i>buffer</i> IPAL         | Pembersihan sampah atau minyak dan lemak pada unit pra pengolahan, modifikasi pipa <i>vent</i>              |
| 4. | Banjir/genangan air mengganggu instalasi | Kurangnya perhatian masyarakat pengguna mengenai pemeliharaan | Penataan sistem drainase disekitar IPAL   |
| 5. | Air olahan belum memenuhi baku mutu      | Penambahan sambungan rumah yang diluar rencana area layanan   | Penambahan sekat, media biofilter atau pengolahan lanjutan  |

Sumber : Hasil analisa, 2015

Efisiensi penyisihan di empat lokasi tersebut belum sesuai target penyisihan BOD dan COD. Hal ini dapat disebabkan rendahnya waktu retensi akibat kurangnya pengaruh dari hidrodinamik dan derajat pengadukan atau keberadaan kontak antara substrat dan bakteri untuk mengontrol transfer massa dan kinerja reaktor. Selain itu belum terbentuknya lapisan selimut lumpur yang terbentuk secara akumulasi di dasar pada setiap kompartemen. Hal tersebut dapat memperlambat aliran dan retensi air limbah dikarenakan aliran air limbah mengalir melalui lapisan lumpur yang berada di bawah sekat yang menggantung. Proses awal pembibitan dan aklimatisasi air limbah juga menentukan pertumbuhan bakteri pada IPAL. Kualitas efluen pada sistem ABR tergantung pada dua faktor, yaitu waktu kontak air limbah kontak dengan biomassa atau jumlah padatan *biodegradable* dan retensi biomassa sebagai akibat pengendapan pada setiap kompartemen. Faktor pertama tergantung pada rata-rata waktu retensi, kecepatan aliran dan volume reaktor. Sedangkan faktor kedua dipengaruhi oleh rata-rata kecepatan

*upflow* pada setiap kompartemen yang dipengaruhi juga oleh dimensi dan jumlah kompartemen.

Pada beberapa penerapan di Kota Cimahi, Jawa Barat, diperoleh karakteristik penyisihan kontaminan air limbah dengan sistem ABR yang belum memenuhi persyaratan. Sementara itu upaya pengolahan air limbah merupakan bagian dari konservasi air, dimana teridentifikasi air tanah di bagian tengah Kota Cimahi (Kelurahan Cimahi, Leuwigajah, Cibabat, Pasirkaliki, Baros, Setiamanah dan Karangmekar) digolongkan pada zona pengambilan air tanah kritis (Kantor Lingkungan Hidup Kota Cimahi 2014). Oleh karena itu pengelolaan IPAL komunal dengan sistem ABR perlu memperhatikan beberapa ketentuan umum dan teknis yang menghasilkan sistem yang tahan terhadap beban organik dan hidraulik yang meningkat serta reduksi organik tinggi sehingga dapat menunjang konservasi air tanah. Berdasarkan kondisi di lokasi studi, teridentifikasi kendala sistem ABR dan beberapa upaya penyelesaian yang dilakukan oleh masyarakat maupun oleh pemerintah setempat (Tabel 2).

### **Upgrading Proses Pengolahan ABR**

Sistem ABR dapat melayani komunitas skala kecil namun juga dapat dihubungkan ke saluran menuju pengolahan air limbah terpusat. Pada umumnya sistem ABR ditempatkan pada sarana sanitasi publik atau dari perpipaan air limbah sistem *shallow sewer* kemudian efluen sistem ABR dibuang langsung ke badan air. Berdasarkan kajian, penerapan sistem ABR menunjukkan karakteristik sebagai berikut (Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman 2012; Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman 2015):

- tidak efektif dalam mengurangi kandungan nutrien/patogen dalam air limbah
- membutuhkan pengolahan pendahuluan agar tidak terjadi penyumbatan (*clogging*)
- membutuhkan pasokan air bersih yang konstan (aliran kontinu)
- kualitas air olahan berfluktuasi secara signifikan sehingga memerlukan pemeliharaan bakteri apabila digunakan untuk air limbah tercampur

Sesuai dengan target pencapaian baku mutu yang semakin ketat di beberapa daerah atau di kawasan sensitif ekologi, terutama untuk kandungan pencemar organik, nutrien maupun patogen serta upaya peningkatan kelas badan air penerima, maka sistem pengolahan air limbah tidak dapat dicapai hanya dengan pengolahan anaerobik atau sistem ABR konvensional. Dengan demikian pada pedoman perencanaan ABR diperlukan alternatif pengembangan sistem ABR maupun kebutuhan pengolahan lanjutan. Selain dari pertimbangan teknis tersebut, untuk peningkatan kinerja ABR, juga sangat penting diperhatikan aspek nonteknis seperti pendekatan partisipatif dan proses pemicuan sanitasi didalam upaya meningkatkan kemauan dan kemampuan masyarakat untuk melaksanakan pengelolaan sesuai prosedur pengoperasian dan pemeliharaan. Adapun alternatif pengembangan proses pengolahan pada sistem ABR komunal diantaranya :

#### **Unit prapengolahan**

Unit prapengolahan diperlukan sebelum masuk ke proses biologis/ABR, terutama untuk memisahkan padatan atau lemak, pengendapan padatan, penyisihan awal organik dan juga meratakan bebannya supaya proses biologis berfungsi secara maksimal. Tahap prapengolahan pada sistem ABR komunal dapat terdiri dari berbagai proses yaitu pengumpulan air limbah, penyaringan/*screening*, penyisihan pasir, penambahan kimia, ekualisasi atau sedimentasi. Umumnya unit prapengolahan pada sistem ABR belum memperhatikan ketentuan *screen* untuk mencegah penyumbatan, yaitu *screen* padatan kasar yaitu 15 – 25 mm, kemiringan dari vertikal 30 – 45°, kedalaman 25 – 40 cm. Sementara desain penyisihan pasir setelah *screen* menggunakan waktu detensi sekitar 2 – 5 menit.

Pada perencanaan unit ekualisasi ditentukan berdasarkan fluktuasi aliran, sedangkan pada unit sedimentasi berdasarkan penyisihan padatan tersuspensi. Waktu detensi unit prapengolahan direkomendasikan tidak lebih dari 1,5 jam, sehingga apabila pengambilan lumpur tidak kontinu maka memungkinkan terjadi pelarutan kembali bahan organik dan mengakibatkan penurunan penyisihan BOD serta permasalahan bau (Davis 2015).

#### **Sistem start up dan pemeliharaan biomassa**

Prosedur *start up* /pembibitan ditujukan untuk pembentukan kultur mikroorganisma pengolahan air limbah dikarenakan pertumbuhan lambatnya khususnya mikroorganisma metanogenik. Kelemahan yang signifikan sistem ABR adalah proses *start up* yang lambat. Proses pembibitan harus memperhatikan laju awal rendah untuk keberhasilan proses *start up* pada ABR, sehingga pertumbuhan mikroorganisma memungkinkan membentuk flokulen dan pertumbuhan lumpur granular. Laju awal direkomendasikan sekitar 1,2 kg COD/m<sup>3</sup>.hari dan penerapan waktu retensi panjang (80 jam) yang kemudian secara bertahap dikurangi, sampai mencapai konsentrasi substrat yang konstan (Barber dan Stuckey 1999).

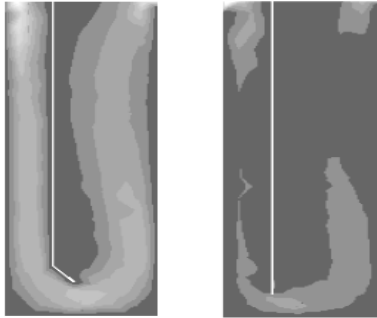
Pada pembebanan air limbah yang rendah dapat menciptakan transfer massa yang rendah sehingga mendorong kontak antara biomassa dan substrat. Keberhasilan *start up* pada ABR, dengan beban rendah akan menguntungkan untuk pertumbuhan lumpur aktif anaerobik karena selama beban COD rendah menghasilkan produksi gas rendah dan kecepatan aliran ke atas. Pada umumnya *start up* reaktor ABR dilakukan dengan waktu retensi konstan yang digabungkan dengan peningkatan bertahap konsentrasi substrat, atau dengan konsentrasi substrat tetap diiringi dengan penurunan waktu retensi secara bertahap. Pada modifikasi ABR, cara kedua menghasilkan stabilitas reaktor dan kinerja yang lebih baik dari cara pertama. Reaktor membutuhkan 90 hari untuk *start up* (Liu et al. 2010).

Peningkatan akumulasi padatan dapat meningkatkan pertumbuhan mikroorganisma metanogenik dan sistem memiliki ketahanan terhadap fluktuasi beban hidraulis. Selain itu retensi biomassa dapat memperkaya laju produksi gas yang rendah. Pengadukan air limbah karena biogas dapat dikurangi dan menghasilkan biomassa atau transfer substrat dan pengadukan gas yang lebih baik.

#### **Konfigurasi sekat**

Salah satu karakteristik ABR adalah retensi padatan, maka untuk mencapai hal tersebut perlu dipertahankan kecepatan aliran rendah. Pada penentuan jarak sekat pada sistem ABR untuk distribusi aliran yang seragam, penempatan sekat di

tengah kompartemen atau ditempatkan sesuai rasio area *up-flow* terhadap *down-flow* adalah 2:1 (Foxon et al. 2006). Hal ini dilakukan agar diperoleh luas permukaan yang lebih besar untuk area *up-flow* sehingga mengakibatkan kecepatan *up-flow* lebih rendah. Namun apabila luas permukaan area *up-flow* berlebihan dapat mengakibatkan volume *dead space* yang lebih besar. Sedangkan pengaruh penggunaan sekat bersudut dan sekat lurus, menunjukkan kontur aliran yang menghasilkan aliran terdistribusi seragam dan mengurangi *dead space* (Gambar 4).



**Gambar 4** Konfigurasi Sekat Mempengaruhi Distribusi/Kontur Aliran dan *Dead Space*  
 Sumber : Foxon et al. 2006

Konfigurasi tersebut juga mempengaruhi keberadaan stabilitas lapisan selimut lumpur yang secara akumulasi akan mengendap pada setiap kompartemen dan adanya kecepatan aliran rendah akan mengalir dan menekan melalui lapisan selimut lumpur yang berada di bawah sekat (Foxon et al. 2006).

Mikroorganisma di dalam reaktor ABR cenderung meningkat dan mengendap tetapi bergerak secara horizontal pada laju aliran yang relatif rendah, sehingga air limbah akan mengalir dan berkontak dengan biomassa aktif melalui sekat. Sekat dapat juga disediakan untuk pengembangan biofilm sehingga reaktor mencapai laju reaksi yang tinggi per unit reaktor dengan menahan biomassa dan waktu retensi lumpur di dalam reaktor, sehingga mengurangi volume reaktor dan dapat diaplikasikan laju pembebanan volumetrik tinggi, 10-40 kg COD/m<sup>3</sup>.hari (Matsuo 2001).

Pada sistem ABR yang memiliki kehilangan lebih banyak padatan, reaktor yang mempunyai 3 kompartemen lebih efisien untuk mendegradasi padatan yang terperangkap menjadi metan, sehingga direkomendasikan pada banyak literatur bahwa ABR seharusnya dilengkapi minimum 3 kompartemen (Matsuo 2001). Meskipun demikian masalah utama terkait pengolahan bahan kontaminan berat adalah tidak lengkapnya pemecahan lemak, protein dan molekul hidrokarbon

pada tahap awal dekomposisi anaerobik karena tidak cukupnya waktu kontak dan beban organik. Pada studi modifikasi ABR dengan 4 kompartemen dimana pada kompartemen pertama mempunyai ukuran 2 kali dari ukuran kompartemen berikutnya, menunjukkan hasil yang lebih efisien untuk reduksi organik dan efisiensi produksi biogas.

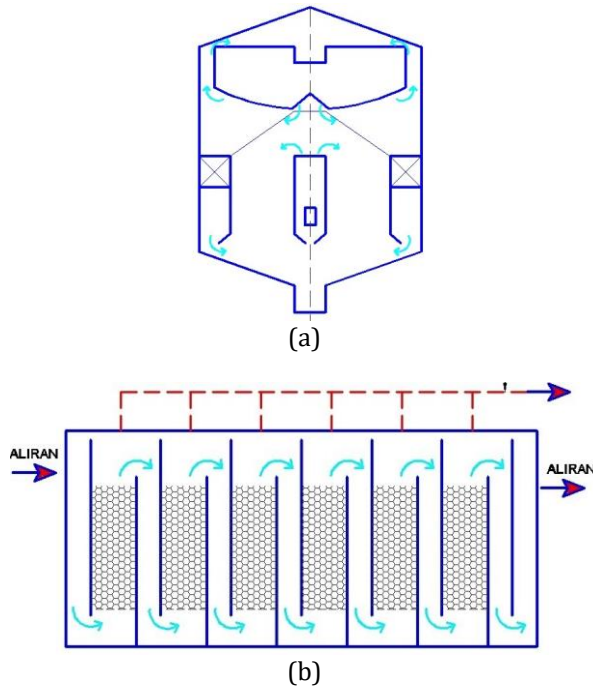
#### **Sistem hibrid**

Untuk mencapai degradasi yang lebih efektif, pengolahan air limbah dapat mengkombinasikan sistem ABR dengan sistem lainnya pada suatu reaktor. Walaupun pada sistem ABR terdapat perbedaan antara populasi methanogenik pada kompartemen awal dan selanjutnya, namun rasio grup mikroorganisma pada tahapan proses anaerobik tidak berubah secara signifikan. Pada penggunaan mikroba khusus yang tinggi di beberapa kompartemen ABR dapat dilakukan baik pada air limbah dengan organik tinggi maupun air limbah terlarut, namun tidak pada pengolahan air limbah rumah tangga. Penggunaan sistem hibrid dapat mencapai sistem yang lebih stabil untuk pengolahan air limbah (Banu et al. 2006).

Prinsip modifikasi proses adalah untuk menahan biomassa dalam reaktor. Pada reaktor biologis anaerobik laju tinggi dapat diklasifikasi ke dalam tiga kelompok menurut mekanisme yang digunakan, yaitu *fixed film* untuk mencapai detensi biomassa, pertumbuhan tersuspensi dan sistem hibrid (Barber dan Stuckey 1999; Matsuo 2001). Menurut berbagai sumber, sistem hibrid ABR untuk pengolahan air limbah domestik, diantaranya :

- reaktor bersekat vertikal yang mengkombinasikan dengan media lumpur pada reaktor *upflow anaerobic sludge blanket* (UASB) (Malakahmad et al. 2011) seperti pada gambar 5a.
- untuk mencegah aliran lumpur biomassa dan penyumbatan, maka aktivitas bakteri pada sistem ABR dapat ditingkatkan dengan kontak yang tinggi antara biomassa dan air limbah melalui penggunaan media kontak, dapat dilihat pada gambar 5b.
- reaktor dapat mengkombinasikan kelebihan sistem ABR dengan sistem pertumbuhan melekat atau biofilter (Liu et al. 2010). Sistem biofilter anaerobik termasuk sistem yang mempunyai ketahanan hidraulis dan beban organik yang baik, waktu retensi yang lebih lama, lumpur yang dihasilkan lebih rendah dan kemampuan untuk pemisahan antara beberapa fase katabolisme anaerobik (Barber dan Stuckey 1999; Matsuo 2001).





**Gambar 5.a)** Reaktor Hibrid ABR-UASB  
dan **5.b)** Reaktor Hibrid ABR-Biofilter  
Sumber: Liu 2010

### Resirkulasi pada sistem ABR

Untuk pengenceran air limbah yang masuk ke dalam sistem ABR dilakukan dengan resirkulasi efluen (Liu et al. 2010). Penambahan aliran resirkulasi dapat mengatasi masalah pH rendah yang diakibatkan oleh konsentrasi tinggi /*volatile fatty acid* (VFA) pada bagian awal reaktor ABR dan pengenceran toksisitas (Liu et al. 2010). Selain itu kinerja penyisihan organik dapat ditingkatkan dengan resirkulasi efluen. Pada resirkulasi efluen yang diaplikasikan untuk mengolah air limbah dengan sulfat tinggi pada ABR, akan berdampak pada pengurangan penyisihan organik dan metan. Operasi pada waktu retensi yang lebih panjang dan rasio resirkulasi efluen yang lebih rendah dapat menghasilkan biogas dengan kadar metan lebih tinggi.

Pada ABR, resirkulasi juga berfungsi untuk mengurangi peningkatan  $\text{NH}_4\text{N}$  selama amonifikasi organik N dan fosfor di dalam air limbah dikarenakan pada zona anaerobik, dengan konsentrasi  $\text{BOD}_5$  yang tinggi, ketidakberadaan oksigen menyebabkan mikroorganisma melepaskan *polyphosphate intracelular* yang tersimpan dengan dekomposisi menjadi *orthophosphate* sederhana. Dekomposisi *polyphosphate* menjadi *orthophosphate* menghasilkan peningkatan fosfor terlarut, sehingga meningkatkan total fosfor (TP) pada sistem ABR.

### Pengolahan lanjutan

Untuk mencapai kualitas air yang aman dibuang ke badan air atau dapat dimanfaatkan kembali, maka unit pengolahan lanjutan diperlukan untuk pengolahan efluen IPAL sistem ABR. Meskipun proses anaerobik dapat menyisihkan senyawa organik dan partikel tersuspensi secara efisien, namun tidak dapat menyisihkan konsentrasi nitrogen dan fosfor serta patogen pada air limbah. Sehingga pengolahan lanjutan diperlukan untuk penyisihan residu organik dan total partikel tersuspensi juga nutrisi dan patogen (Nasr et al. 2009). Selain itu pengolahan lanjutan juga diperlukan untuk mengantisipasi adanya kebutuhan pemanfaatan kembali air olahan IPAL atau untuk menghindari praktek daur ulang air limbah yang tidak aman. Terindikasi pada efluen ABR tidak dapat menyisihkan organik dan patogen yang tinggi sehingga tidak dapat digunakan langsung untuk pertanian, sehingga sistem ABR dapat dikombinasikan dengan sistem biofilter atau lahan basah buatan. Pengolahan lanjutan tersebut dapat diintegrasikan dengan penghijauan atau ruang terbuka hijau perkotaan dengan memperhatikan pengawasan potensi kontak air limbah terhadap masyarakat sekitar serta tujuan daur ulang. Oleh karena itu pengelolaan air perkotaan yang terintegrasi dengan inovasi teknologi, dipilih berdasarkan evaluasi siklus air yang holistik dan keberlanjutan sistem secara keseluruhan (Philip et al. 2011).

Sesuai target efluen atau tujuan daur ulang yang ingin dicapai, pengolahan lanjutan yang dapat diintegrasikan dengan sistem ABR komunal, diantaranya :

- teknologi lahan basah buatan, yang merupakan integrasi proses presipitasi, sedimentasi, adsorpsi pada partikel sedimen, degradasi oleh mikroorganisma dan penyerapan oleh tumbuhan air. Sistem ini sangat prospektif karena kesederhanaan konstruksi dan biaya pembuatan serta biaya operasionalnya relatif rendah (Brix et al. 2007). Lahan basah buatan didesain untuk menghilangkan pencemar konvensional seperti BOD, TSS, nutrisi dan logam berat.
- teknologi biofilter, *trickling filter*, *rotating biological contactor* (RBC), *downflow hanging sponge* (DHS), yang merupakan reaktor pertumbuhan melekat (*attached growth reactor*) dengan sistem anaerobik atau aerobik. Media penyangga dapat berupa kerikil, pasir, plastik berstruktur, yang didalam operasinya dapat terendam sebagian atau seluruhnya, atau hanya dilewati air saja (Herlambang 2010).
- teknologi filtrasi seperti saringan pasir lambat, saringan pasir cepat atau filtrasi membran.



## KESIMPULAN

### Kesimpulan

Penerapan pengolahan air limbah secara komunal dengan sistem ABR di beberapa lokasi, pada umumnya dapat mengolah air limbah sesuai rentang beban organik namun belum menghasilkan kualitas air yang konsisten dan stabil sesuai target baku mutu nasional.

Penyisihan organik pada sistem ABR dipengaruhi oleh air limbah, karakteristik air limbah, proses aklimatisasi desain unit proses, pengelolaan, pemakaian air oleh pengguna serta pengaruh dari lingkungan sekitar (limpasan air permukaan, sampah dan lain lain).

Untuk meningkatkan kinerja pengolahan air limbah sistem ABR, perlu dilakukan *upgrading* unit proses atau dilengkapi pengolahan lanjutan.

### Saran

Unit pengolahan air limbah sebagian besar menerapkan sistem ABR dengan dilengkapi unit pra pengolahan. Pada sistem komunal, desain unit pra pengolahan perlu memperhatikan kriteria waktu detensi di unit pengendap atau unit pemisah pasir serta perlu dilengkapi *screen* untuk sampah kasar/halus.

Pada unit ABR, untuk mencapai target efluen pengolahan yang stabil dan memenuhi baku mutu air limbah diperlukan penambahan sekat atau penambahan pemasangan media kontak atau apabila lahan memungkinkan dapat ditambah pengolahan lanjutan dengan sistem resapan atau lahan basah buatan.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman yang telah membiayai penelitian ini. Kemudian kepada Pemerintah Kota Cimahi dan semua pihak yang telah mendukung penelitian dan tersusunnya tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Aqaneghad, Mohammad, dan Gholamreza Moussavi. 2016. "Electrochemically Enhancement of the Anaerobic Baffled Reactor Performance as an Appropriate Technology for Treatment of Municipal Wastewater in Developing Countries." *Sustainable Environment Research* 26 (5): 203–8.

Banu, J Rajesh, Sudalyandi Kaliappan, dan Dieter Beck. 2006. "Treatment of Sago Wastewater using Hybrid Anaerobic Reactor." *Water Quality Research Journal of Canada* 41 (1): 56–

62.

Barber, William P., dan David C. Stuckey. 1999. "The Use of the Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment: A Review." *Water Research*. Elsevier. doi:10.1016/S0043-1354(98)00371-6.

Brix, H., T. Koottatep, dan C. H. Laugesen. 2007. "Wastewater Treatment in Tsunami Affected Areas of Thailand by Constructed Wetlands." *Water Science and Technology* 56 (3): 69–74.

Davis, Mackenzie L. 2015. *Water and Wastewater Engineering. Design Principles and Practice*. New York: Mc. Graw Hill.

Direktorat Pengembangan Penyehatan Lingkungan. 2015. "Program dan Kebijakan Pengelolaan Air Limbah Domestik di Indonesia." Jakarta.

Foxon, K.M., C.A. Buckley, C.J. Brouckaert, P. Dama, Z. Mtembu, N Rodda, M. Smith, et al. 2006. *The Evaluation of the Anaerobic Baffled Reactor for Sanitation in Dense Peri-Urban Settlements. Report to the Water Research Commission*. Report to the Water Research Commission

Hahn, Martha J., dan Linda A. Figueroa. 2015. "Pilot Scale Application of Anaerobic Baffled Reactor for Biologically Enhanced Primary Treatment of Raw Municipal Wastewater." *Water Research* 87: 494–502.

Herlambang, Arie dan Nusa Idaman. 2010. "Penurunan Kadar Zat Organik Dalam Air Sungai Dengan Biofilter Tercelup Struktur Sarang Tawon."

Kantor Lingkungan Hidup Kota Cimahi. 2014. "Laporan Akhir Inventarisasi Pemanfaatan Sumber Daya Air." Cimahi.

Lembaga Inspeksi Puslitbangkim. 2013. "Laporan Akhir Inspeksi Unit Paket IPAL Kapasitas 180 Jiwa PT Sistem Unggul Sanitasi Terpadu Indonesia." Bandung.

Liu, Rongrong, Qing Tian, dan Jihua Chen. 2010. "The Developments of Anaerobic Baffled Reactor for Wastewater Treatment: A Review." *African Journal of Biotechnology* 9 (11). Academic Journals: 1535–42.

Malakahmad, A., A. B Noor Ezlin, dan Md Z. Shahrom. 2011. "Study on Performance of a Modified Anaerobic Baffled Reactor to Treat High Strength Wastewater." *Journal of Applied Sciences* 11 (7). Asian Network for Scientific Information: 1449–52.

Matsuo, Tomonori. 2001. *Advances in Water and Wastewater Treatment Technology: Molecular Technology, Nutrient Removal, Sludge Reduction and Environmental Health*. Elsevier.

Nasr, Fayza A., Hala S. Doma, dan Hossaam F. Nassar. 2009. "Treatment of Domestic Wastewater Using an Anaerobic Baffled Reactor Followed

- By a Duckweed Pond for Agricultural Purposes." *Environmentalist* 29 (3). Springer US: 270–79..
- Philip, Ralph, B. Anton, dan P. Van der Steen. 2011. "SWITCH training kit." *Integrated Urban Water Management in the City of the Future. Module. Vol. 1.*
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman. 2012. "Laporan Akhir Kajian IPAL Komunal."
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman. 2015. "Laporan Advis Teknis Pengukuran Kinerja IPAL Komunal Kota Cimahi." Bandung.
- Sasse, Ludwig. 1998. *Handbook of Decentralized Wastewater Treatment in Developing Country.* Jakarta.
- Singh, Shirish, Raimund Haberl, Otto Moog, Roshan Raj Shrestha, Prajwal Shrestha, dan Rajendra Shrestha. 2009. "Performance of an Anaerobic Baffled Reactor and Hybrid Constructed Wetland Treating High-Strength Wastewater in Nepal—A Model for DEWATS." *Ecological Engineering* 35 (5): 654–60.
- Tanaka, Nao. 2015. *Proses IPAL Komunal yang ditingkatkan dengan Kombinasi Anaerobik dan Aerobik (RBC).* Yogyakarta: APEX/Pusteklim.
- Tchobanoglous, G, F L Burton, dan H D Stensel. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Use.* McGraw Hill.
- Wang, Jianlong, Yongheng Huang, dan Xuan Zhao. 2004. "Performance and Characteristics of an Anaerobic Baffled Reactor." *Bioresourc Technology* 93 (2): 205–8.