

DAUR ULANG AIR LIMBAH RUMAH TANGGA DENGAN TEKNOLOGI BIOFILTER DAN *HYBRID CONSTRUCTED WETLAND* DI KAWASAN PESISIR **Domestic Wastewater Reuse by Using Biofilter Technology and Hybrid Constructed Wetland in Coastal Area**

¹Elis Hastuti, ²Rydha Riyana Agustien

Pusat Litbang Permukiman, Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum
Jl. Panyaungan, Cileunyi Wetan, Kabupaten Bandung 40393

¹Email: elishastuti@yahoo.com

²Email: rydha_riyana@yahoo.com

Diterima : 25 Februari 2013; Disetujui : 23 Oktober 2013

Abstrak

Upaya daur ulang air limbah pada komunitas pesisir selain ditujukan untuk perlindungan lingkungan pesisir juga untuk memenuhi kebutuhan air rumah tangga terutama pada daerah rawan air, sehingga dapat mengurangi pemakaian air tanah dan ketergantungan pada sumber air regional yang ada diluar lokasi. Penelitian model fisik daur ulang air limbah ini dilakukan menggunakan metoda eksperimen skala lapangan dengan kapasitas pengolahan sekitar 20 m³/hari. Air baku yang digunakan berasal dari efluen kolam anaerobik Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) Kesenden, Kota Cirebon. Ujicoba teknologi pengolahan dilakukan dengan penerapan sistem biofilm anaerobik (media jaring ikan dan batok kelapa) dan pengolahan lanjutan dengan hybrid constructed wetland/lahan basah buatan. Selanjutnya dilakukan pengolahan tersier dengan upflow saringan pasir lambat dan saringan karbon untuk mencapai penyisihan yang efektif dari organik, nutrien atau bakteri. Kualitas air daur ulang yang diperoleh dapat memenuhi standar United States Environmental Protection Agency (USEPA), menunjukkan nilai Biochemical Oxygen Demand (BOD) lebih kecil dari 10 mg/L dan kekeruhan lebih kecil dari 2 mg/L. Penerapan teknologi daur ulang yang efektif diharapkan dapat mendukung adaptasi wilayah pesisir dalam menghadapi masalah krisis air, pemenuhan kebutuhan non air minum, pengisian air tanah ataupun mengurangi kerusakan ekosistem akibat pembuangan air limbah yang tidak terkendali.

Kata Kunci : Kawasan pesisir, daur ulang, air limbah, hybrid constructed wetland, kualitas air

Abstract

Application of wastewater reuse could provide water for household need and environmental protection in water scarcity coastal areas. This is also the way to reduce groundwater consumption and dependency of water sources in other location. Research of physical model of wastewater reuse is done through field experiment scale with capacity of 20 m³/day in Cirebon coastal area. The raw wastewater was taken from effluent of anaerobic treatment pond in Kesenden Waste Water Treatment Plant (WWTP). The wastewater treatment trial applied anaerobic biofilm system with biofilm media made from fish net waste and coconut crust, followed by hybrid constructed wetland. For tertiary treatment, the up-flow slow sand filtration and carbon filtration was applied to have an effective reduction of organic, nutrient or bacteria. The result of this treatment trial is able to meet reuse water quality standard of United States Environmental Protection Agency (USEPA), Biochemical Oxygen Demand (BOD) less than 10 mg/L and turbidity less than 2 mg/L. Application of wastewater reuse technology could give benefits for cities facing limited clean water, provide water for non potable source in water scarcity area, groundwater recharge and also reduce damage ecosystem from uncontrolled wastewater discharge.

Keywords : Coastal area, wastewater, reuse, hybrid constructed wetland, water quality

PENDAHULUAN

Permasalahan Pencemaran dan Krisis Air di Kawasan Pesisir

Kelangkaan air merupakan permasalahan utama yang harus dihadapi oleh banyak masyarakat karena penggunaan air telah berkembang lebih dari dua kali lipat tingkat kenaikan penduduk pada abad ke-21 (www.un.org). Sementara itu kajian global kondisi air di dunia memproyeksikan bahwa

pada tahun 2025 akan terjadi krisis air di beberapa negara dan diperkirakan juga terjadi di Indonesia yang termasuk dalam 10 negara kaya air, sebagai akibat dari kesalahan pengelolaan air (*World Water Forum II, 2000*). Teridentifikasi juga bahwa pembuangan air limbah secara langsung atau efluen pengolahan limbah yang masih belum memenuhi persyaratan telah menyebabkan 50% kerusakan biofisik lingkungan, termasuk ekosistem

pesisir seperti ekosistem terumbu karang atau mangrove (*Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2003*). Sementara itu wilayah pesisir dihuni tidak kurang dari 110 juta jiwa atau 60 % dari penduduk yang tinggal dalam radius 50 km dari garis pantai pada umumnya memiliki keterbatasan akses air minum dan sanitasi serta tekanan akibat perubahan iklim (*IIED, 2007*).

Karakteristik pesisir yang memiliki ekosistem khusus, memerlukan upaya pengelolaan air secara terpadu diantaranya pengelolaan air limbah melalui upaya reklamasi atau daur ulang air limbah yang berorientasi *multi purposes* dan terintegrasi dengan penyediaan air minum. Upaya daur ulang air limbah pada komunitas pesisir tersebut selain dapat mengurangi pencemaran air ke laut juga mengurangi pemakaian air tanah dan ketergantungan pada sumber air regional yang ada diluar lokasi, serta dapat digunakan untuk pengisian rawa/air tanah sebagai pencegahan intrusi air laut.

Paradigma Sanitasi Berkelanjutan

Suatu paradigma yang diperlukan dalam sanitasi yaitu berdasarkan pendekatan ekosistem dan penutupan siklus aliran material. Paradigma ini menjelaskan bahwa kotoran manusia dan air limbah dari rumah tangga bukan sebagai limbah, tetapi sebagai sumber daya yang tersedia untuk digunakan kembali. Sanitasi berkelanjutan atau sanitasi yang berorientasi pada penggunaan kembali (*reuse*) adalah paradigma holistik baru berdasarkan penutupan siklus aliran material. Konsep tersebut memperkenalkan keberlanjutan dan integrasi. Konsep pengelolaan air dan sanitasi yang berorientasi ekosistem dan sumber daya alam (*Alcamo, 2003*) yang diperlukan untuk daerah pesisir.

Berdasarkan "*United Nations Technical Study*" pengolahan limbah air diklasifikasikan dalam rangka keberlanjutan dengan cara-cara berikut, dengan urutan paling atas yang paling utama (*UNEP, <http://www.gpa.unep.org>*) :

1. Pencegahan pencemaran.
2. Pengolahan ditempat dan penggunaan kembali.
3. Transportasi luar lokasi; pembuangan limbah, drainase darurat.
4. Sistem pengolahan alami; penggunaan dan atau stimulasi dari kapasitas pemurnian alami.
5. Pilihan penggunaan kembali dan pengembangan limbah: menggunakan teknologi sederhana dan rekayasa ekologi untuk konversi air limbah menjadi sumber daya.
6. Pengumpulan air limbah luar lokasi secara konvensional dan sentralisasi, teknologi tinggi dan pengolahan pipa akhir.

Teknologi daur ulang air limbah pada prinsipnya terdiri dari pengolahan primer, sekunder, tersier dan desinfeksi. Proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilm atau media kontak dapat dilakukan dalam kondisi aerobik, anaerobik atau kombinasi anaerobik dan aerobik (*Said, 2008*). Penggunaan daur ulang air limbah/reklamasi air dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain untuk irigasi pertanian atau lanskap, penggunaan industri, *recharge* air tanah, untuk keperluan suplai air bersih serta untuk keperluan umum misalnya untuk *flushing* dan untuk air pemadam kebakaran dan lain lain. Didalam aplikasi reklamasi air limbah perkotaan diperlukan tingkat proses pengolahan sampai mencapai tingkat kualitas tertentu sesuai dengan rencana penggunaannya (*USEPA, 2004*).

Pendekatan Penyelesaian Permasalahan

Upaya mendaur ulang air limbah merupakan salah satu upaya menangani kekurangan air dan perlindungan lingkungan pesisir. Penggunaan daur ulang air limbah/reklamasi air dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain untuk irigasi pertanian atau lanskap, penggunaan industri, *recharge* air tanah, dan untuk keperluan suplai air bersih serta untuk keperluan umum misalnya untuk *flushing* dan untuk air pemadam kebakaran dan lain lain. Penelitian penerapan teknologi daur ulang di kawasan pesisir adalah penting untuk dikaji, sehingga dapat dipertimbangkan sebagai alternatif teknologi daur ulang sesuai karakteristik lokasi pesisir dan tujuan daur ulang air limbah yang ingin dicapai. Penerapan teknologi pengolahan air limbah dilakukan dengan rangkaian sistem yang terdiri dari sistem biofilm anaerobik – media jaring ikan dan batok kelapa, *hybrid constructed wetland/ lahan basah buatan dan saringan pasir lambat tipe aliran upflow*. Penerapan teknologi daur ulang yang efektif diharapkan dapat mendukung adaptasi wilayah pesisir dalam menghadapi masalah krisis air, pemenuhan air untuk kebutuhan umum rumah tangga, kebutuhan pengisian air tanah untuk mencegah intrusi air laut dan pengendalian kerusakan ekosistem akibat pembuangan air limbah yang tidak terkendali.

METODE

Penelitian penerapan model fisik daur ulang air limbah di kawasan pesisir dilakukan dengan metode eksperimen skala lapangan, yang berlokasi di Kelurahan Kesenden, Kecamatan Kejaksan, Kota Cirebon, Jawa Barat. Kapasitas instalasi daur ulang air rumah tangga (DUAL RT) adalah sekitar 20 m³/hari dan air baku yang digunakan berasal dari efluen kolam anaerobik IPAL Kesenden. IPAL Kesenden merupakan pengolah limbah di wilayah

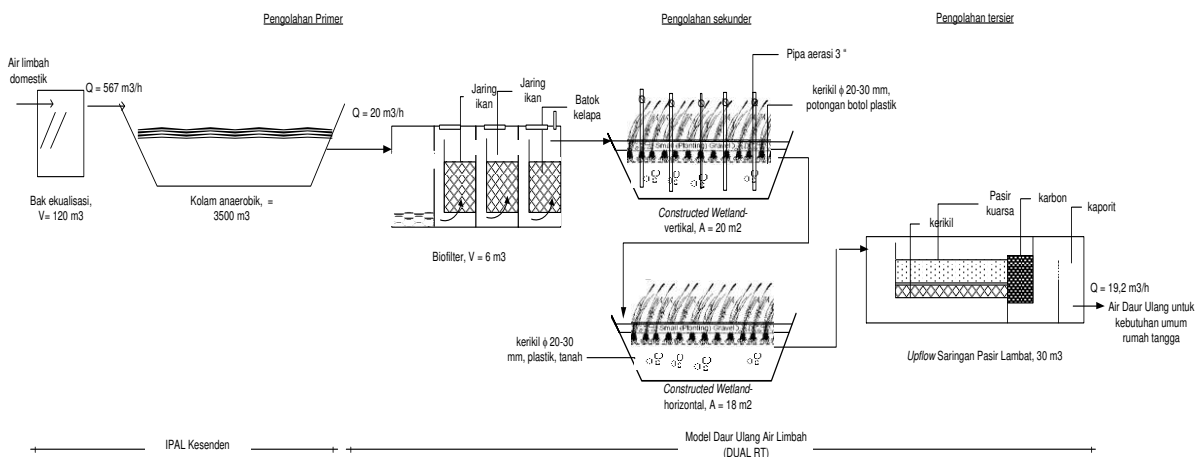
utara Kota Cirebon yang berpenduduk ± 106.586 jiwa, dengan kapasitas terpakai $9.667 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan sambungan rumah berjumlah 8.750 unit namun saat ini yang terpakai 1.418 unit (PDAM Cirebon, 2011). Model fisik DUAL RT terdiri dari unit biofilter (media jaring ikan dan tempurung kelapa), hibrid lahan basah buatan (*hybrid constructed wetland/CW*)-aliran vertikal dan horizontal dibawah permukaan, *upflow* filtrasi pasir lambat dan filtrasi karbon, seperti diilustrasikan pada Gambar 1. Tanaman air yang digunakan pada unit *hybrid constructed wetland (CW)* adalah tanaman air setempat yang mempunyai potensi pengolahan air limbah dan estetika, seperti jenis *papyrus* dan *canna*.

Sebelum dan setelah penerapan model tersebut, dilakukan identifikasi persepsi, motivasi daur ulang, penerimaan dan kesediaan masyarakat dalam pengelolaannya dengan metoda observasi data terstruktur dan pendekatan komunikasi

melalui pertemuan/diskusi. Wawancara terstruktur dilakukan terhadap 20-30 responden yang terdiri dari masyarakat, kader lingkungan, ibu-ibu PKK atau calon pengguna air daur ulang dan pengelola teknologi.

Penelitian kinerja sistem pengolahan dilakukan sejak bulan September 2011, melalui monitoring masa pembibitan selama satu bulan dan monitoring pada kondisi stabil yang dilakukan sampai bulan Agustus 2012 (Pusat Litbang Permukiman, 2011). Pengumpulan data primer penerapan model dilakukan melalui :

- Monitoring proses pembibitan (*seeding*) dan aklimatisasi pengolahan, untuk tujuan menumbuhkan mikroorganisma serta kestabilan penyisihan, yang dilakukan secara bertahap.
- Monitoring kinerja di setiap unit proses yang meliputi monitoring kualitas air olahan dengan pengambilan sampel sesuai ketentuan serta analisa parameter fisik, kimia dan bakteriologis.



Gambar 1 Skema Sistem DUAL RT (Pusat Litbang Permukiman, 2011)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil observasi faktor-faktor motivasi masyarakat di lokasi penerapan model, didalam menggunakan air daur ulang diantaranya adalah adanya keterbatasan suplai air bersih, sumber air tanah yang sudah tercemar pengolahan limbah setempat dan berasa payau, serta adanya kepercayaan masyarakat terhadap pengelola air daur ulang. Di lokasi penerapan model, kawasan lebih didominasi perumahan dan tambak ikan, sehingga masyarakat menginginkan penggunaan air daur ulang untuk kebutuhan umum rumah tangga. Adapun penggunaan air daur ulang dapat dikelompokkan sesuai keperluan dengan distribusi frekuensi seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Secara umum berdasarkan hasil pertemuan dengan masyarakat dan kuesioner individual, masyarakat bersedia menggunakan air daur ulang untuk semua kebutuhan kecuali kebutuhan air untuk minum,

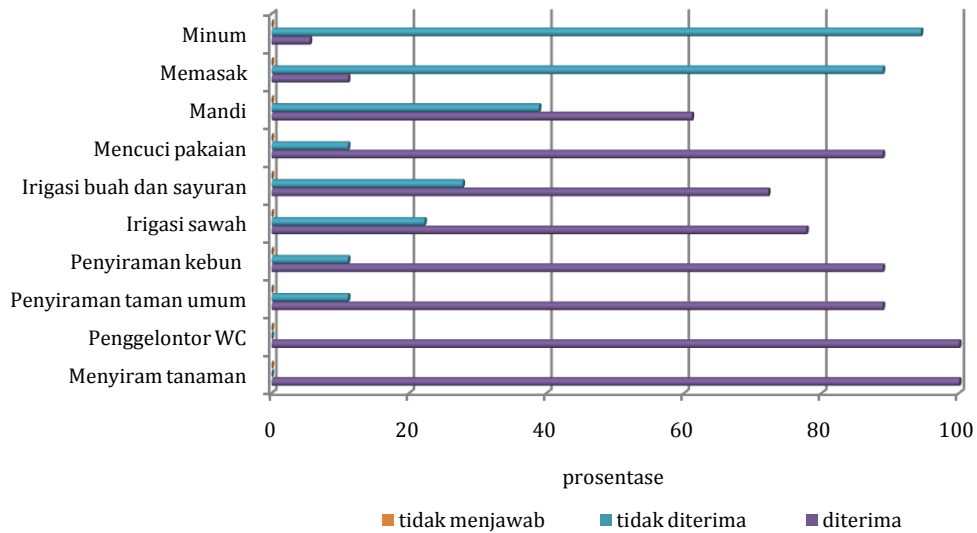
memasak dan sebagian masyarakat menjawab untuk kebutuhan air mandi.

Hasil identifikasi sumber-sumber air yang dipakai oleh masyarakat ditunjukkan pada Gambar 3 (a). Sumber air terbanyak yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan air minum/memasak berasal dari PDAM dan air hujan. Kebutuhan air bersih rata rata per hari, terutama bukan untuk air minum/memasak (misal untuk mencuci, mandi, kakus, penyiraman tanaman dan lain lain) sekitar $100-120 \text{ L/orang/hari}$. Sementara itu sumber air untuk memenuhi kebutuhan air untuk mencuci, irigasi tanaman, pengisian kolam ikan, kebutuhan umum rumah tangga lainnya dapat dilihat pada Gambar 3 (c). Pada Gambar 3 (b) ditunjukkan sumber air tanah di lokasi penerapan model yang sering digunakan oleh masyarakat namun telah terjadi pencemaran sangat tinggi dari *septic tank* sekitarnya, selain itu intrusi air laut dan banjir dari

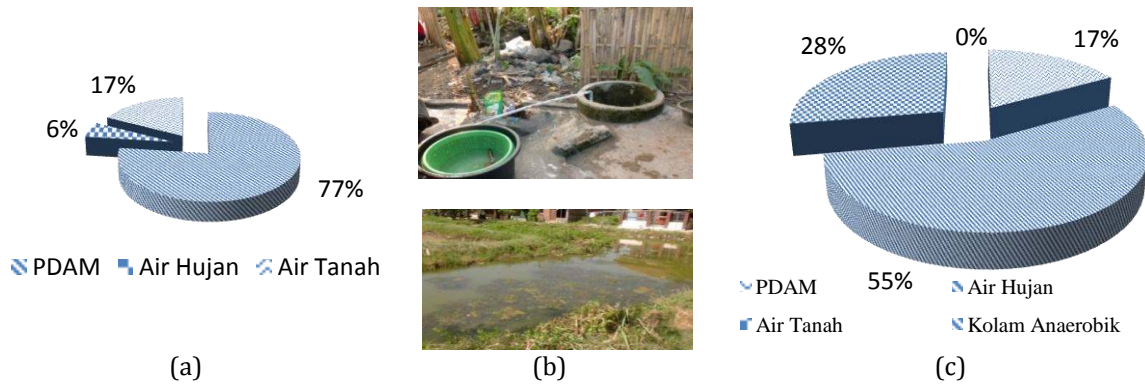
arah daratan. Selain identifikasi masyarakat dan sumber air eksisting di lokasi penerapan model, juga dilakukan identifikasi potensi setempat yang dapat digunakan untuk mendukung pengolahan air limbah.

Di kawasan pesisir umumnya banyak ditemui sampah jaring ikan dan sampah plastik lainnya, serta batok kelapa, yang dapat dimanfaatkan

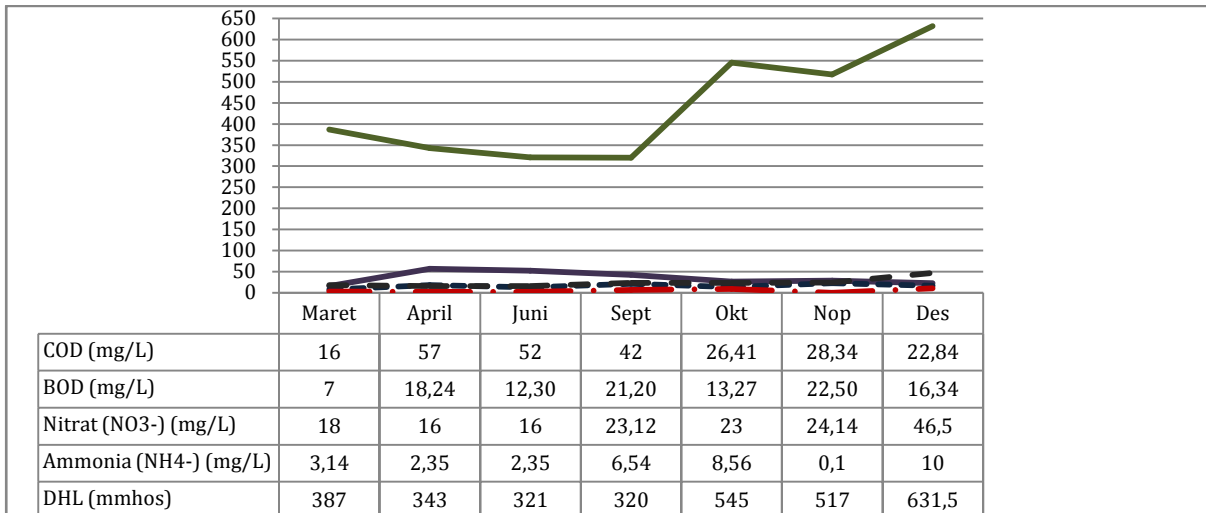
sebagai media biofilter sebagai tempat pertumbuhan mikroorganisme penyisihan kontaminan dalam air limbah. Adapun di lokasi penerapan model, terdapat bentuk partisipasi masyarakat pada proses perencanaan dan selama konstruksi instalasi DUAL RT berkaitan dengan pengumpulan sampah plastik dan batok kelapa yang kemudian dibentuk menjadi media biofilter sesuai perencanaan yang disepakati.



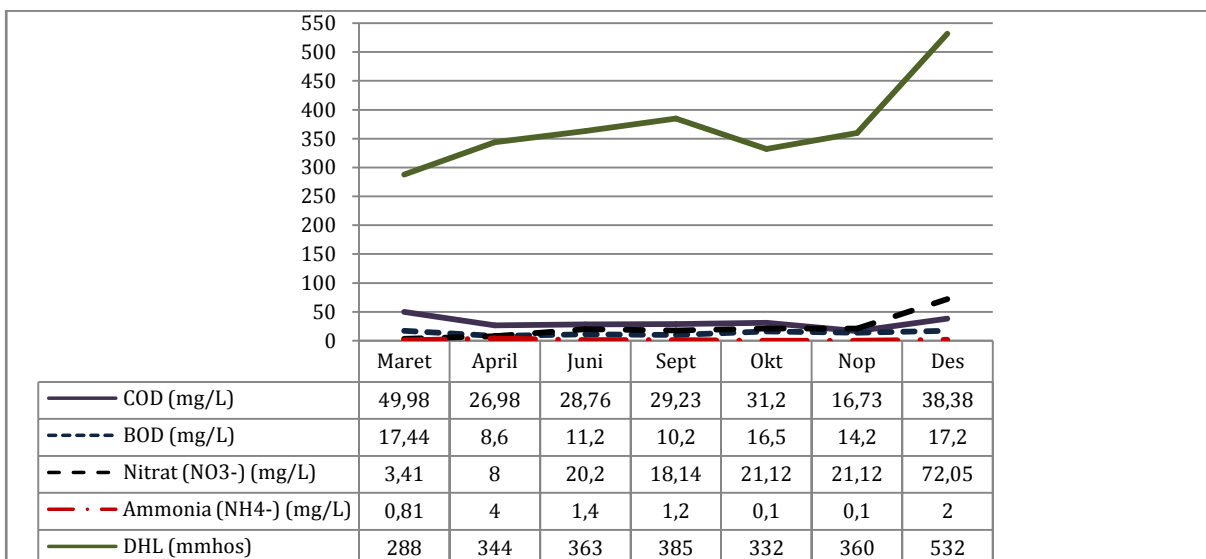
Gambar 2 Distribusi Pendapat Masyarakat dalam Penggunaan Air Daur Ulang (Pusat Litbang Permukiman, 2011)



Gambar 3 (a) Persentase Sumber Air untuk Minum/Memasak, (b) Sumber Air yang Telah Terintrusi Air Laut, Septic Tank dan Genangan Akibat Hambatan Penyerapan/Pembuangan Air ke Arah Laut (back water), (c) Sumber Air untuk Kebutuhan Lainnya



(a)



(b)

Sumber : Pusat Litbang Permukiman, 2011

Gambar 4 (a) Karakteristik Influen IPAL dan (b) Efluen Kolam Anaerobik (Influen DUAL-RT)

Karakteristik Air Baku

Model fisik daur ulang air limbah rumah tangga (DUAL-RT) yang berkapasitas 20 m³/hari di kawasan pesisir, menggunakan air baku air limbah yang berasal dari efluen kolam anaerobik IPAL Kesenden (Pusat Litbang Permukiman, 2011). Pada saat pengamatan efluen kolam anaerobik atau influen DUAL-RT mempunyai karakteristik BOD < 20 mg/L. Sementara itu Instalasi DUAL-RT direncanakan dapat mengolah BOD influen sekitar 90 mg/L. Hasil pengamatan karakteristik influen IPAL Kesenden dan efluen kolam anaerobik ditunjukkan pada Gambar 4. Air limbah rumah tangga yang akan diolah tersebut mempunyai rasio rendah antara BOD dan COD, hal ini menunjukkan fraksi yang sulit terdekomposisi secara biologis. Sistem DUAL RT tersebut direncanakan dapat mengolah langsung air limbah dari bak ekualisasi

IPAL Kesenden, apabila kolam anaerobik tidak berfungsi baik atau adanya kerusakan pompa. Hasil monitoring sumber influen IPAL yang mungkin tercemar oleh air limbah industri rumah tangga seperti pencelupan, sablon, laundry atau pengolahan makanan, kemungkinan tidak terjadi karena nilai daya hantar listrik (DHL), sulfat, warna atau *methylene blue active substances* (MBAS), masih dibawah baku mutu. Disamping itu telah dilakukan inspeksi lapangan dan terbukti tidak ada industri yang membuang limbah ke IPAL tersebut. Namun pada bulan tertentu, influen IPAL mempunyai nilai DHL yang tinggi, hal ini menurut informasi PDAM Kota Cirebon kemungkinan terdapat keretakan pipa sewer sehingga terpompanya air tanah yang telah terintrusi air laut.

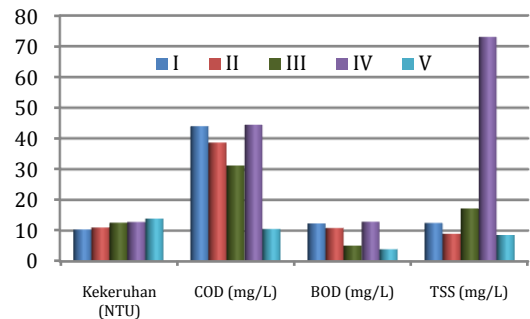
Di lokasi kolam anaerobik IPAL Kesenden yang tidak terlindungi pagar sering terjadi gangguan proses pengendapan ataupun proses anaerobik akibat aktivitas berenang oleh anak-anak, pemandian binatang ternak, pemancingan ikan ataupun pengambilan air untuk tambak/pertanian dan lain-lain. Hal ini mengakibatkan terjadinya fluktuasi kualitas efluen kolam anaerobik yaitu kandungan organik dan nutrien yang lebih tinggi pada saat adanya gangguan proses tersebut. Walaupun demikian beberapa parameter tidak begitu besar rentangnya dan masih termasuk rentang karakteristik limbah domestik menurut Metcalf & Eddy (2003), dimana rentang tersebut adalah amoniak (NH₃) 10,79 - 158,73 mg/L. Kandungan garam dan mineral, DHL yang bervariasi, umumnya berasal dari air limbah hasil cucian atau *laundry*, atau adanya gangguan proses seperti yang diuraikan diatas.

Kinerja Model Daur Ulang Air Limbah

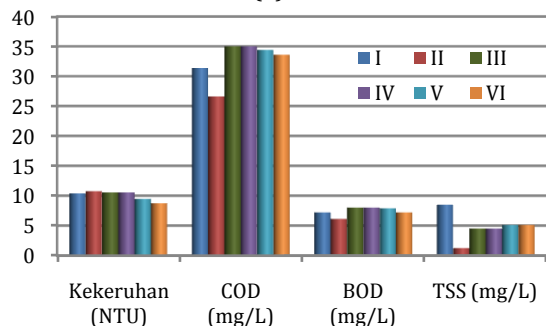
Kondisi stabil penyisihan organik dari unit pengolahan dicapai setelah sistem mengalami adaptasi sekitar 2 bulan. Penyisihan organik terjadi di unit kolam anaerobik, biofilter bermedia jaring ikan-batok kelapa dan unit *hybrid CW*. Mekanisme untuk penyisihan organik dapat melalui flokulasi, pengendapan dan filtrasi partikel tersuspensi atau koloid (WEF, 2010). Air limbah dalam unit biofilter tersebut mengalir *up and down* melalui sekat untuk melewati komunitas bakteri yang menempel pada media, kemudian mengabsorpsi senyawa organik dan terdistribusi kedalam lapisan atau film biologis, yang selanjutnya mentransformasi konstituen air limbah. Senyawa polutan yang ada didalam air limbah, misalnya senyawa organik (BOD, COD), ammonia, fosfor dan lainnya akan terdifusi kedalam lapisan atau film biologis yang melekat pada permukaan medium (Said, 2008).

Kualitas air olahan biofilter-media jaring ikan dan batok kelapa dapat dilihat pada gambar 5. Apabila air daur ulang akan digunakan untuk irigasi tanaman atau pertanian maka pengoperasian unit pengolahan dapat dilakukan hanya sampai unit horizontal CW (lahan basah buatan-aliran horizontal bawah permukaan) (Pusat Litbang Permukiman, 2011). Menurut standar daur ulang (USEPA, 2004) untuk penggunaan irigasi tanaman dinyatakan BOD pengolahan harus ≤ 30 mg/L untuk tanaman non pangan, sedangkan untuk tanaman pangan BOD ≤ 10 mg/L. Hasil monitoring menunjukkan sistem CW yang diterapkan dapat menghasilkan BOD lebih kecil dari 1 mg/L dengan influen BOD sekitar 20 mg/L. Hal ini dikarenakan aliran *plug flow*/relatif kecil dan luasnya 0 area permukaan media (Gambar 6). Namun kemungkinan BOD influen sistem CW dapat lebih tinggi dari disain karena sistem CW yang mengolah

efluen kolam oksidasi, dapat mengakumulasi lebih banyak padatan dan alga sehingga BOD efluen akan lebih tinggi terutama pada suhu lingkungan yang tinggi.

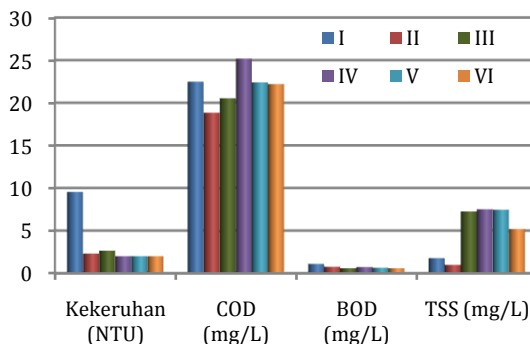


(a)

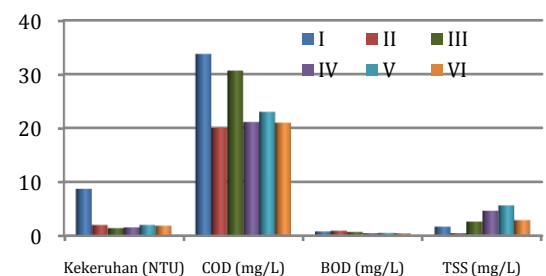


(b)

Gambar 5 Kualitas Efluen Kolam Anaerobik (a) dan Efluen Biofilter-JI (b) pada Pengamatan/Bulan I-VI (Sumber: Pusat Litbang Permukiman, 2011)



(a)



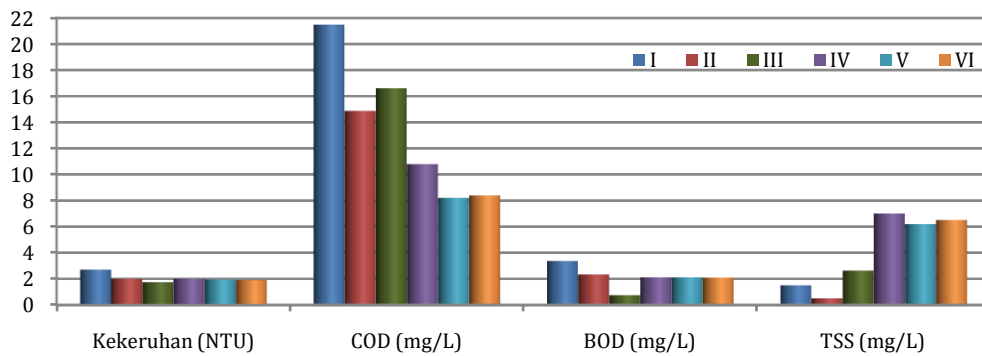
(b)

Gambar 6 Kualitas Efluen CW Horizontal (c), Efluen CW-Vertikal (d) pada Pengamatan/Bulan I-VI (Sumber: Pusat Litbang Permukiman, 2011)

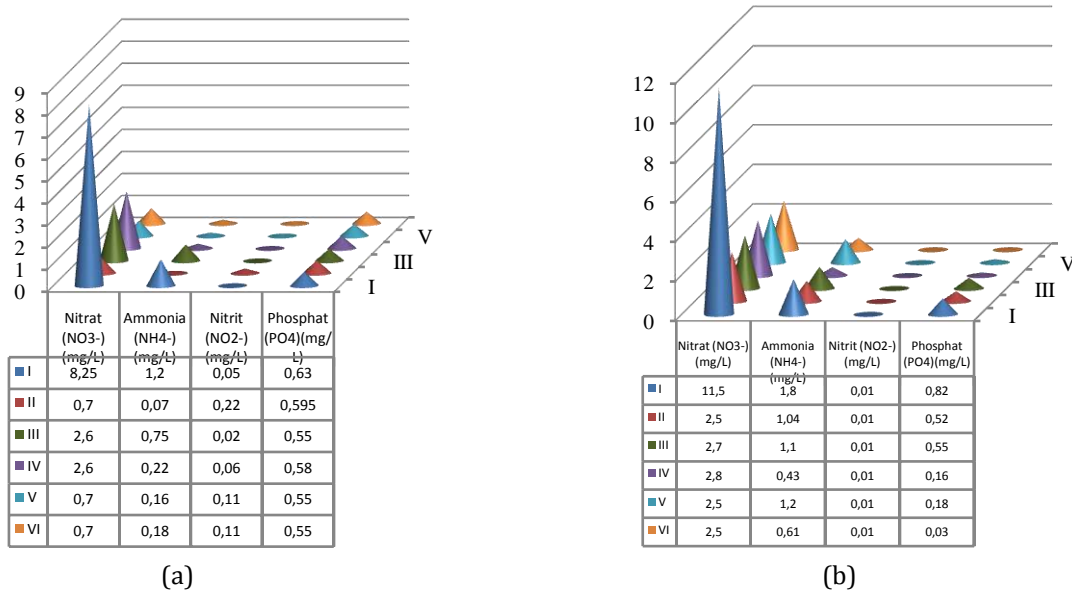
Kualitas air daur ulang yang dapat digunakan masyarakat untuk kebutuhan umum rumah tangga, ditunjukkan pada Gambar 7. Saat ini masyarakat telah menggunakannya langsung untuk berbagai keperluan seperti mencuci baju, mandi, mencuci kendaraan, kebersihan rumah, dan lain lain. Nilai BOD yang terus mengalami penurunan di setiap efluen unit pengolahan terjadi seiring dengan penurunan kekeruhan di unit CW, namun terdapat kenaikan setelah unit *upflow* saringan pasir lambat (USPL) dan pada pengamatan berikutnya konstan. Hal ini kemungkinan masih terdapatnya bibit-bibit ikan atau binatang air yang terjebak di saluran unit USPL. Walaupun demikian nilai BOD pada air daur ulang masih dibawah baku mutu air daur ulang USEPA yaitu ≤ 10 mg/L dan kekeruhan ≤ 2 mg/L. Sementara itu untuk parameter COD terjadi konsentrasi yang naik turun pada setiap efluen unit pengolahan, namun pada air daur ulang menunjukkan kualitas COD dengan nilai 8-21 mg/L yang ditunjukkan pada Gambar 7. Masih tingginya nilai COD air daur ulang yang lebih tinggi pada pengamatan pertama (I) menunjukkan pasir kuarsa di unit saringan pasir lambat (USPL) masih mengalami proses pematangan dan proses pembentukan biofilm serta masih banyaknya binatang-binatang air (seperti ikan, katak, dll.) yang berkembang biak karena belum diberi tutup pelindung sehingga memungkinkan naik turunnya kandungan organik ataupun anorganik. Pengamatan kualitas influen dan efluen secara kontinyu sangat diperlukan, terutama dari instansi terkait sehingga dapat menilai kinerja model DUAL-RT terhadap fluktuasi kualitas influen kolam anaerobik serta keamanan kesehatan bagi pengguna. Untuk mendukung kinerja proses pengolahan air limbah dalam menghasilkan air daur ulang tersebut, upaya pengoperasian sesuai prosedur dan pemeliharaan instalasi dari sampah atau binatang air, pemeliharaan tanaman lahan basah, *backwash* filter secara rutin ataupun penggantian karbon di unit filtrasi sangat disarankan.

Penyisihan nutrien dalam air limbah yang diharapkan dapat terjadi pada unit hibrid CW, melalui mekanisme filtrasi, absorpsi oleh mikroorganisme dan absorpsi oleh akar-akar tanaman. Pada unit hibrid ini terjadi gabungan proses aerobik dan anaerobik, yang dapat menghilangkan kandungan nitrogen didalam air

limbah (Brix, 2011). Pada kondisi aerobik terjadi proses nitrifikasi yakni nitrogen ammonium diubah menjadi nitrat ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3$) dan pada kondisi anaerobik terjadi proses denitrifikasi yakni nitrat yang terbentuk diubah menjadi gas nitrogen ($\text{NO}_3 \rightarrow \text{N}_2$). Pengoperasian unit hibrid CW-dibawah aliran permukaan ini memberikan keuntungan dengan menghindari kontak langsung dengan efluen yang akan diolah, serta menghilangkan masalah bau yang tidak sedap dan gangguan serangga (Hammer, 2008). Akar yang panjang dari tanaman air *papyrus* dan *canna* yang ditanam, memungkinkan terserapnya nutrien seperti fosphat dan nitrogen yang lebih banyak karena menjangkau area yang lebih luas dan dapat mentransfer oksigen kedalam dasar media dan memungkinkan mikroorganisma tumbuh di sekitar perakaran. Pada Gambar 8, penyisihan nutrien setiap unit menunjukkan sedikit fluktuasi, namun penyisihan telah mencapai 80-90 %. Kondisi anaerobik yang dominan pada sistem horizontal CW adalah sesuai untuk penyisihan nitrat oleh mikroba adalah melalui denitrifikasi. Sistem horizontal CW yang mengolah efluen biofilter telah mengalami nitrifikasi sebagian dan dengan kondisi BOD influen yang kurang dari 20 mg/L atau dengan keterbatasan karbon mungkin tidak cukup karbon untuk denitrifikasi yang efisien di unit horizontal CW. Sistem vertikal CW telah mengolah air limbah yang mencapai nitrifikasi sebagian, dan umumnya telah mencapai denitrifikasi lengkap. Pada pengamatan I konsentrasi nitrat yang tinggi di hibrid CW dan air daur ulang (Gambar 8), dikarenakan musim hujan mendominasi, dapat meningkatkan aliran dalam sistem CW sehingga terjadi penggenangan dan melarutkan polutan dan meningkatnya waktu tinggal hidraulis. Sementara apabila suhu sekitarnya tinggi, evapotranspirasi akan mengurangi beban hidraulis, konsentrasi polutan dan merendahkan muka air. Sedangkan pada pengamatan ke IV menunjukkan kandungan nitrat dalam air daur ulang naik kembali kemungkinan dikarenakan terbawanya polutan yang terperangkap dalam pipa *up flow* USPL. Pada unit USPL ini terjadi penurunan bakteri, ammonia, detergen, besi dan mangan melalui kombinasi antara penyaringan, absorpsi dan flokulasi biologi. Kualitas air daur ulang ditinjau dari konsentrasi nitrogen dan fosphat dapat dilihat pada Gambar 8 (b).



Gambar 7 Kualitas Air Daur Ulang pada Pengamatan/Bulan I-VI (Sumber : Pusat Litbang Permukiman, 2011)



Gambar 8 (a) Penyisihan Nutrien Diunit Hibrid CW dan (b) Kualitas Air DUAL RT (Sumber : Pusat Litbang Permukiman, 2011)

Analisa ekonomi daur ulang air sangat tergantung pada kondisi lokal seperti lokasi instalasi, lokasi dan tipe sistem daur ulang dan pertimbangan kualitas air. Untuk aplikasi daur ulang air, faktor yang harus dipertimbangkan termasuk peningkatan biaya pengolahan untuk memenuhi persyaratan kualitas dan dan biaya infrastruktur yang diperlukan untuk menyediakan distribusi air daur ulang ke pelanggan. Pada penelitian skala pilot ini, biaya investasi instalasi dengan kapasitas 20 m³/hari adalah sekitar Rp 235.000.000,-. Sementara itu biaya tahunan diperhitungkan berdasarkan penggantian karbon, kaporit, energi listrik dan pembayaran upah operator sehingga harga air daur ulang diperkirakan sekitar Rp.247,-/m³ (Pusat Litbang Permukiman, 2011). Untuk keberlanjutan sistem ini, masyarakat telah membentuk kelompok dengan pembina dari instansi setempat yang terkait.

Potensi penggunaan daur ulang air limbah di kawasan pesisir cukup tinggi sementara ada keterbatasan sumber air tawar dan penurunan

kualitas lingkungan. Berdasarkan pembahasan penerapan model dan hasil yang dicapai (Gambar 5-8), penerapan model daur ulang air limbah tersebut dapat direplikasi di kawasan pesisir lainnya dengan memperhatikan kriteria untuk mencapai kinerja pengolahan yang efektif yaitu tujuan penggunaan air daur ulang, karakteristik influen air limbah, kondisi lingkungan, lokasi instalasi, tanaman air setempat, potensi media biofilter, gangguan proses secara alami di pesisir maupun kegiatan manusia, peran pemerintah serta partisipasi masyarakat dalam pengelolaannya. Faktor peningkatan kualitas air daur ulang dengan pengolahan tambahan maupun distribusi ke konsumen dapat dipertimbangkan dalam memperluas sistem. Sehingga penerapan model dapat dipertimbangkan sebagai bagian dari pengelolaan air di pesisir secara terpadu yang mengintegrasikan penyediaan air dengan pengelolaan air limbah serta mempertimbangkan dampak terhadap kawasan pesisir maupun di luar pesisir dengan adanya daur ulang air limbah.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian penerapan model daur ulang air limbah di kawasan pesisir, maka dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

- Penyisihan organik dan nitrogen terjadi di unit biofilter, dimana penyisihan organik telah mencapai lebih dari 90%. Sedangkan penyisihan nutrisi umumnya terjadi di unit hibrid *wetland* yaitu sekitar 80-90 %. Hasil monitoring pada kondisi stabil menunjukkan parameter pH, kekeruhan, BOD, warna, dll, pada air daur ulang telah memenuhi standar air daur ulang untuk kebutuhan umum rumah tangga.
- Kinerja rangkaian proses model daur ulang air limbah di pesisir dipengaruhi oleh kondisi fisik dan sosial, potensi lokal yang dapat dimanfaatkan untuk proses pengolahan, karakteristik influen air limbah, motivasi masyarakat untuk menggunakan air daur ulang serta pengelolaan.
- Untuk keberlanjutan pengelolaan model daur ulang air limbah perlu memperhatikan kemampuan pengelola dari kelompok pengguna air daur ulang, monitoring kinerja pengolahan setiap unit proses serta program operasi dan pemeliharaan yang harus diacu. Terciptanya sistem yang berkelanjutan dapat mendukung adaptasi wilayah pesisir dalam menghadapi masalah krisis air, pemenuhan kebutuhan non air minum, pengisian air tanah ataupun mengurangi kerusakan ekosistem akibat pembuangan air limbah yang tidak terkendali.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pusat Litbang Permukiman, Kementerian Pekerjaan Umum, yang telah membiayai penelitian "Penerapan Model Fisik Daur Ulang Air Limbah Di Kawasan Pesisir" dan semua pihak yang telah mendukung penelitian serta tersusunnya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcamo, Joseph, etc. 2003. *Ecosystems and Human Well-Being : A Framework for Assessment*. Island Press, Washington.
- Brix Hans, Kooltatep, Thammarat, dan Laugesen, H., Carsten. 2011. *Wastewater Treatment in Tsunami Affected Areas of Thailand by Constructed Wetlands*.
- Hammer. 2008. *Constructed Wetland for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural*. Volume 4 no 4 Desember, Lewis Publisher, Chelsea.
- IIED/International Institute for Environmental Development. 2007. www.iied.org.
- Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2003. *Tinjauan Aspek Penataan Ruang dalam Pengelolaan Laut dan Pesisir*. Surabaya.
- Metcalf and Eddy. 2003. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, fourth edition, International edition*. Mc-Graw Hill, New York.
- PDAM Cirebon, 2011, *Pengelolaan Air Limbah di Kota Cirebon*.
- Pusat Litbang Permukiman. Kementerian PU, 2011. *Laporan Akhir: Penerapan Model Fisik Daur Ulang Air Limbah di Kawasan Pesisir*.
- Said, Idaman, Nusa. 2008. *Teknologi Pengolahan Air Minum "Teori dan Pengalaman Praktis"*, BPPT.
- USEPA. 2004. *Guidelines for Water Reuse*, Washington, 2004.
- UNEP. <http://www.gpa.unep.org>. Diakses tanggal 12 Maret 2011.
- Water Environment Federation, WEF. 2010. *WEF manual of Practices no.3, Biofilm Reactors*. Alexandria, USA.
- www.un.org, diakses 16 maret 2012.
- WWF/World water forum II. 2007. www.unwater.org.