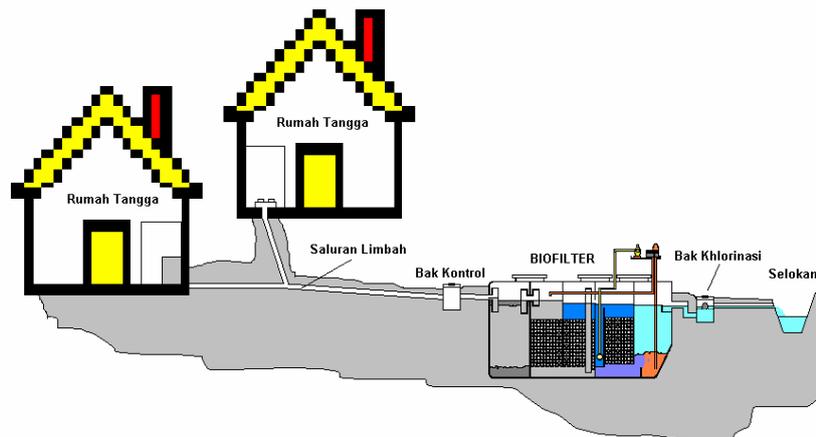


# ALAT PENGOLAH AIR LIMBAH RUMAH TANGGA SEMI KOMUNAL KOMBINASI BIOFILTER ANAEROB DAN AEROB

Oleh

Ir. Nusa Idaman Said, M.Sc. dan Heru Dwi Wahjono, B.Eng.



Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair  
Direktorat Teknologi Lingkungan, Deputi Bidang Teknologi  
Informasi, Energi, Material dan Lingkungan  
Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi

Jakarta, 1999



## ABSTRAK

*Masalah pencemaran air di kota besar khususnya di DKI Jakarta telah menunjukkan gejala yang cukup serius. Salah satu penyebab yang sangat potensial adalah air limbah rumah tangga, yakni air yang berasal dari buangan dapur, kamar mandi, air bekas cucian ataupun kotoran manusia (tinja).*

*Sehubungan dengan minimnya fasilitas pengolahan air limbah kota, ditambah lagi dengan buruknya sistem sanitasi yang ada, maka proses pencemaran air khususnya air sungai dan air tanah dangkal menjadi lebih cepat. Oleh karena perkembangan pembangunan sistem pengolahan air limbah rumah tangga /kota secara terpusat sangat lambat, maka salah satu cara untuk menanggulangi masalah tersebut yakni dengan cara melakukan pengolahan air limbah rumah tangga secara individual (On Site Treatment).*

*Makalah ini membahas tentang studi pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem kombinasi biofilter anaerob dan aerob secara kontinyu. Dari hasil percobaan pengolahan air limbah rumah tangga dengan proses biofilter "Anaerob-Aerob" untuk skala rumah tangga (kapasitas 3 M<sup>3</sup>/hari dengan waktu tinggal antara 1 - 3 hari secara fisik air hasil olahannya sudah jernih, dan dari hasil analisa kimia, didapatkan hasil efisiensi penghilangan yang cukup baik yakni masing-masing efisiensi penghilangan BOD 84,7 - 91 %; COD 79,6 - 95,3 %; dan SS 94,1 - 95%, NH<sub>4</sub>-N 89,3- 89,8 %, deterjen (MBAS) 83 - 87 %, dan PO<sub>4</sub> 44,4 - 47,3 %. Proses pengolahan air limbah rumah tangga dengan proses "Biofilter Anaerob-Aerob" cukup stabil walaupun konsentrasi air limbah berfluktuasi.*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Masalah pencemaran lingkungan di kota besar, khususnya di Jakarta telah menunjukkan gejala yang cukup serius, terutama masalah pencemaran air. Penyebab dari pencemaran tersebut tidak hanya berasal dari buangan industri atau pabrik-pabrik yang membuang begitu saja air limbahnya tanpa pengolahan lebih dahulu ke sungai atau ke laut, tetapi juga yang tidak kalah memegang andil baik secara sengaja atau tidak adalah masyarakat Jakarta itu sendiri, yakni akibat air buangan rumah tangga yang jumlahnya makin hari makin besar sesuai dengan perkembangan penduduk maupun perkembangan kota Jakarta. Ditambah lagi rendahnya kesadaran sebagian masyarakat yang langsung membuang kotoran/tinja maupun sampah ke dalam sungai, menyebabkan proses pencemaran sungai-sungai yang ada di Jakarta bertambah cepat.

Dengan semakin besarnya laju perkembangan penduduk dan industrialisasi di Jakarta, telah mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas lingkungan. Padatnya pemukiman dan kondisi sanitasi lingkungan yang buruk serta buangan industri yang langsung dibuang ke badan air tanpa proses pengolahan telah menyebabkan pencemaran sungai-sungai yang ada di Jakarta, dan air tanah dangkal di sebagian besar daerah di wilayah DKI Jakarta. Bahkan kualitas air di perairan teluk Jakartapun sudah menjadi semakin buruk.

Air limbah kota-kota besar di Indonesia khususnya Jakarta secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga yaitu air limbah industri dan air limbah domestik yakni yang berasal dari buangan rumah tangga dan yang ke tiga yakni air limbah dari perkantoran dan pertokoan (derah kemersial). Saat ini selain pencemaran akibat limbah industri, pencemaran akibat limbah domestikpun telah menunjukkan tingkat yang cukup serius.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Tim JICA (1990), jumlah unit air limbah dari buangan rumah tangga di Jakarta rata-rata per orang per hari adalah 118 liter, dengan konsentrasi BOD rata-rata 236 mg/lit dan pada tahun 2010 nanti diperkirakan akan meningkat menjadi 147 liter dengan konsentrasi BOD rata-rata 224 mg/lit. Sedangkan Jumlah air limbah secara keseluruhan 1.316.113 M<sup>3</sup>/hari yakni untuk air buangan domestik 1.038.205 M<sup>3</sup>/hari, buangan perkantoran dan daerah komersial 448.933 M<sup>3</sup>/hari, dan buangan industri 105.437 M<sup>3</sup>/hari.

Dari studi tersebut juga diketahui bahwa untuk wilayah Jakarta, dilihat dari segi jumlah, air limbah domestik (rumah tangga) memberikan kontribusi terhadap pencemaran air sekitar 75 %, air limbah perkantoran dan daerah komersial 15 %, dan air limbah industri hanya sekitar 10 %. Sedangkan dilihat dari beban polutan organiknya, air limbah rumah tangga sekitar 70 %, air limbah perkantoran 14 %, dan air limbah industri memberikan kontribusi 16 %. Dengan demikian air limbah rumah tangga dan air limbah perkantoran adalah penyumbang yang terbesar terhadap pencemaran air di wilayah DKI Jakarta.

Di lain pihak fasilitas pengolahan limbah rumah tangga secara terpusat yang ada masih sangat minim sekali yakni hanya melayani 3 % dari seluruh wilayah Jakarta. Sebagai akibatnya, banyak sungai atau badan air di wilayah DKI Jakarta yang tercemar berat oleh air limbah rumah tangga, air limbah perkantoran maupun air limbah yang berasal dari daerah komersial.

Oleh karena itu perlu dilakukan upaya untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu alternatif untuk mengatasi masalah pencemaran oleh air limbah rumah tangga adalah dengan cara mengolah air limbah rumah tangga tersebut secara individual (on Site Treatment) sebelum dibuang ke saluran umum. Makalah ini membahas tentang hasil rancang bangun dan pengujian pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem "Kombinasi Biofilter anaerob-Aerob", untuk menghilangkan polutan organik yang ada di dalam air limbah.

## **Tujuan Dan Sasaran**

Kegiatan ini bertujuan untuk mengkaji cara pengolahan air limbah rumah tangga individual (On Site Treatment) atau semi komunal dengan sistem "Kombinasi Biofilter Anaerob dan Aerob". Sedangkan sasarannya adalah membuat prototipe alat pengolahan air limbah rumah tangga skala rumah tangga yang kompak (dalam bentuk paket), yang dapat dipakai untuk daerah yang padat penduduk maupun daerah yang muka air tanahnya tinggi misalnya daerah rawa atau pantai, serta mengkaji efisiensi pengolahannya. Menyebarkan teknologi tersebut kepada masyarakat.

## **Manfaat**

Teknologi pengolahan air dengan sistem biofilter anaerob-aerob tersebut dapat digunakan untuk mengolah air limbah rumah tangga atau buangan organik. Aplikasi teknologi tersebut antara lain : untuk perumahan kumuh, pengolahan air limbah septik tank komunal atau MCK, untuk pengolahan air limbah asrama dan lain-lain.

## **Kontak Personil**

Ir. Nusa Idaman Said, M.Eng.  
Ir. Petrus Nugro Rahardjo, M.Sc.  
Ir. Arie Herlambang, M.Si.

Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair,  
Direktorat Teknologi Lingkungan,  
Kedeputan Bidang Informatika, Energi dan Material.  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Jl. M.H. Thamrin No. 8, Jakarta Pusat  
Tel. 021-3169769, 3169770 Fax. 021-3169760  
Email : [air@pentium.as.bppt.go.id](mailto:air@pentium.as.bppt.go.id)  
Home Page : <http://pentium.as.bppt.go.id/>

## BAHAN DAN PERALATAN

### Bahan Utama

Unit reaktor dapat dibuat dari bahan fiberglas atau dari bahan beton cor, tergantung dari situasi, kondisi, harga serta kemudahan instalasi / pemasangannya. Untuk percontohan ini unit reaktor dibuat dari bahan fiberglas.

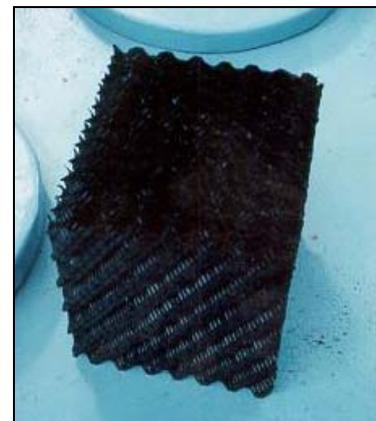


Gambar 1 Unit Reaktor

Bentuk reaktor alat pengolahan air limbah rumah tangga yang terbuat dari bahan fiberglas Medium biofilter yang digunakan untuk melekatkan mikroorganisme dapat menggunakan batu pecah (gravel) atau batu apung ukuran 3-5 cm, atau dari bahan plastik/PVC bentuk sarang tawon atau media lain yang sesuai.



Gambar 3 Media dari bahan batu pecah



Gambar 4 Media Plastik tipe saring tawon

### ➤ Rancang Bangun Bentuk Dan Prototipe Alat

Prototipe alat ini dibuat dari bahan fiber glas (FRP) dan dibuat dalam bentuk yang kompak dan langsung dapat dipasang dengan ukuran panjang 310 cm, lebar 100 cm dan tinggi 190 cm. Ruangan di dalam alat tersebut dibagi menjadi beberapa zona yakni ruangan pengendapan awal, zona biofilter anaerob, zona biofilter aerob dan ruangan pengendapan akhir. Media yang digunakan untuk biofilter adalah batu pecah dengan ukuran 1-2 cm. Selain itu, air limbah yang ada di dalam ruangan pengendapan akhir sebagian disirkulasi ke zona aerob dengan menggunakan pompa sirkulasi. Gambar penampang alat ditunjukkan seperti pada gambar 5 dan 6.

### ➤ Kapasitas Alat

Prototipe alat ini dirancang untuk dapat mengolah air limbah sebesar 3 m<sup>3</sup>/hari, atau untuk melayani sekitar 20-25 orang.

### ➤ Waktu Tinggal (Retention Time)

#### a. Ruang Pengendapan Awal

Debit Air Limbah (Q) = 3 m<sup>3</sup>/hari = 125 lt/jam = 0,125 m<sup>3</sup>/jam

Volume Efektif = 1,6 m × 1,0 m × 0,6 m = 0,96 m<sup>3</sup>

Waktu Tinggal di dalam ruang pengendapan awal (T<sub>1</sub>) = 0,96 m<sup>3</sup>/0,125 m<sup>3</sup>/jam

T<sub>1</sub> = 7,68 jam

#### b. Zona Biofilter Anaerob

Volume Total Ruang efektif = 1,6 m × 1,0 m × 1,2 m = 1,92 m<sup>3</sup>

Volume Total Unggun Medium = 2 × [1,2 m × 1 m × 0,6 m] = 1,44 m<sup>3</sup>

Porositas Medium = 0,45

Volume Medium tanpa rongga = 0,55 × 1,44 m<sup>3</sup> = 0,79 m<sup>3</sup>

Total Volume Rongga dalam Medium = 0,45 × 1,44 m<sup>3</sup> = 0,65 m<sup>3</sup>

Volume Air Limbah Efektif di dalam zona Anareob = 1,92 m<sup>3</sup> - 0,79 m<sup>3</sup> = 1,13 m<sup>3</sup>

Waktu Tinggal di dalam Zona Anaerob (T<sub>2</sub>) = 1,13 m<sup>3</sup>/0,125 m<sup>3</sup>/jam = 9,04 jam

Waktu Kontak di dalam medium zona Anaerob = 0,65 m<sup>3</sup>/0,125 m<sup>3</sup>/jam = 0,52 jam

#### c. Zona Aerob

Volume Efektif = 1,5 m × 1 m × 0,7 m = 1,05 m<sup>3</sup>

Volume Unggun Medium = 1,1 m × 0,6 m × 1 m = 0,66 m<sup>3</sup>

Porositas Medium = 0,45

Volume Rongga = 0,45 × 0,66 m<sup>3</sup> = 0,3 m<sup>3</sup>

$$\text{Volume Medium Tanpa Rongga} = 0,66 \text{ m}^3 - 0,3 \text{ m}^3 = 0,36 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu Tinggal Total di dalam zona aerob } (T_3) = [1,05 - 0,36] \text{ m}^3 / 0,125 \text{ m}^3/\text{jam} = 5,52 \text{ jam}$$

$$\text{Waktu Kontak di dalam medium zona aerob} = 0,3 \text{ m}^3 / 0,125 \text{ m}^3/\text{jam} = 2,4 \text{ jam}$$

#### d. Ruang Pengendapan Akhir

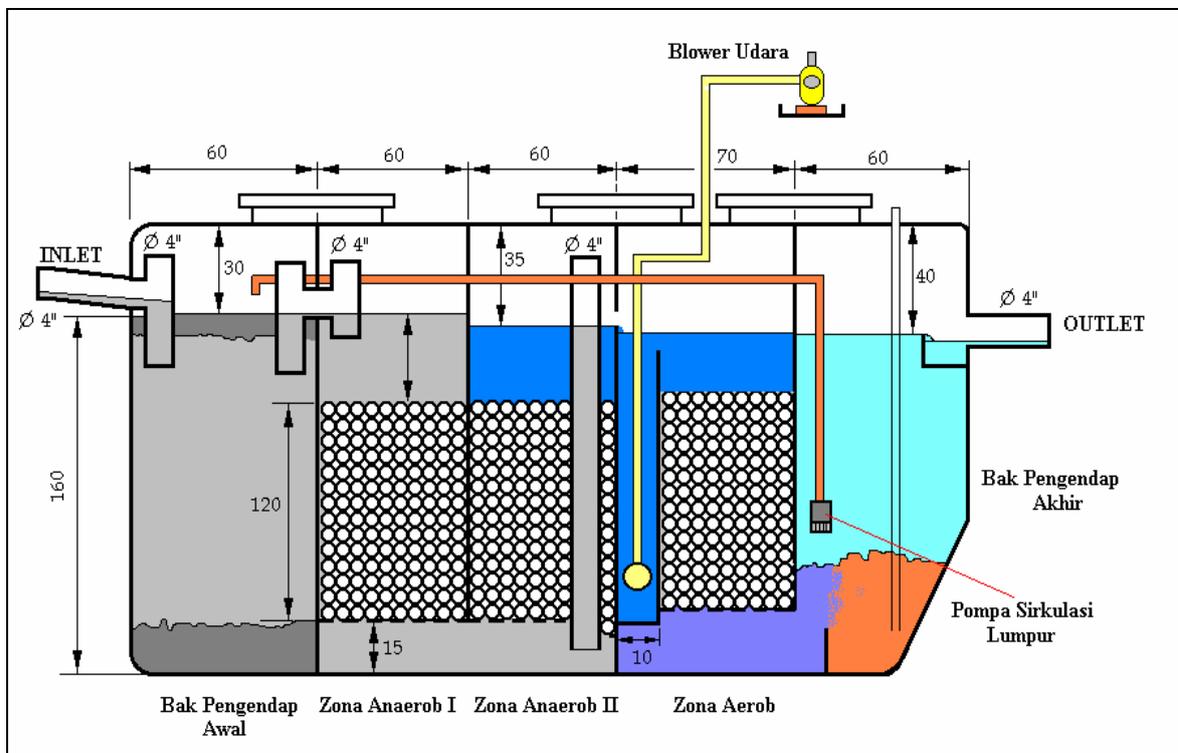
$$\text{Volume Efektif} = 1,5 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 0,9 \text{ m}^3$$

$$\text{Waktu Tinggal } (T_4) = 0,9 \text{ m}^3 / 0,125 \text{ m}^3/\text{jam} = 7,2 \text{ jam}$$

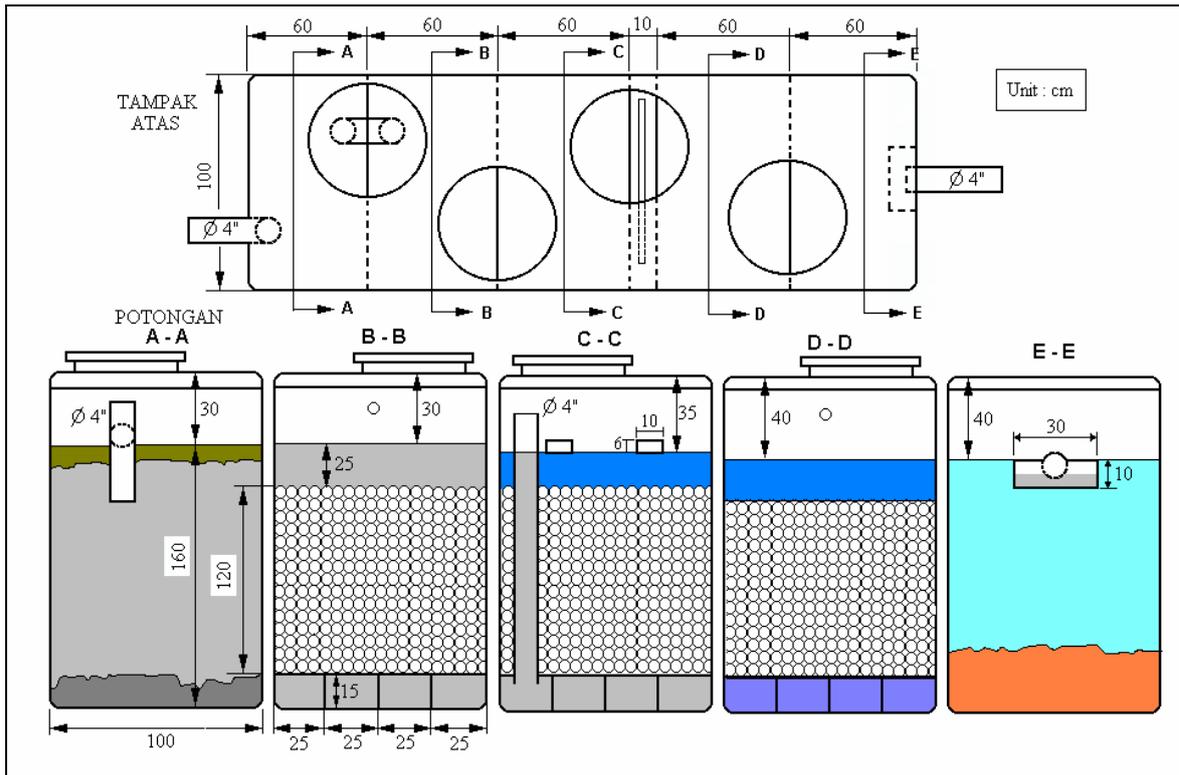
$$\text{Waktu Tinggal Total} = [7,68 + 9,04 + 5,52 + 7,2] \text{ jam} = 29,44 \text{ jam}$$

#### ➤ Bak Kontaktor Klorine

Unit prototipe alat pengolahan air limbah rumah tangga tersebut dapat dilengkapi dengan bak klorinasi (bak kontaktor) yang berfungsi untuk mengkontakkan klorine dengan air hasil pengolahan. Air limbah yang telah diolah sebelum dibuang ke saluran umum dikontakkan dengan klorine agar mikroorganisme patogen yang ada di dalam air dapat dimatikan. Senyawa klor yang digunakan adalah kaporit dalam bentuk tablet. Penampang bak kontaktor adalah seperti pada gambar 7. Bak kontaktor ini dipasang atau disambungkan pada pipa pengeluaran air olahan.

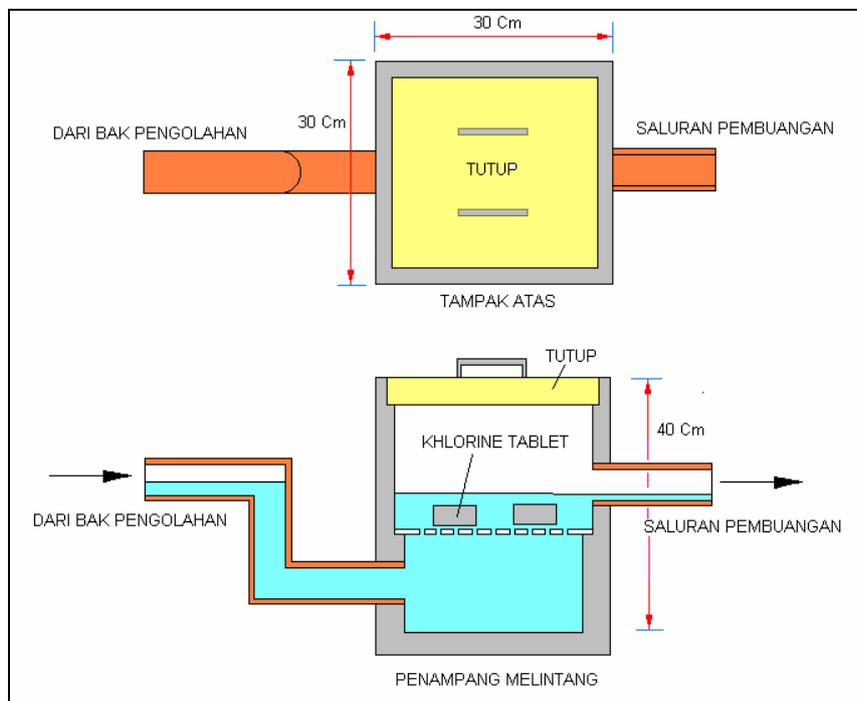


Gambar 5 Penampang Melintang



Keterangan : gambar tidak menurut skala

Gambar 6 : Rancangan prototipe alat pengolahan air limbah domestik dengan sistem biofilter anaerob-aerob.



Gambar 7 Penampang bak khlorinator.

## Bahan Tambahan

### 1. Blower Udara

Tipe : Hi Blow 40  
Listrik : 40 watt  
Total Head : 200 Cm air



Gambar 8 Bentuk Blower Udara.

### 2. Pompa Sirkulasi

Tipe : pompa celup  
Listrik : 25 watt.



Gambar 9 Pompa sirkulasi

**TAHAPAN DAN CARA PEMBUATAN**

**Karakteristik Air Limbah Domestik**

Air limbah domestik adalah air limbah yang berasal dari rumah tangga, hotel, rumah sakit, losmen, apartemen, pasar, perkantoran, sekolah, fasilitas sosial serta daerah komersial, yang umumnya mengandung senyawa polutan organik yang cukup tinggi. Salah satu contoh karakteristik air limbah domestik dapat dilihat pada Tabel 1. Dari tabel tersebut, terlihat bahwa konsentrasi parameter senyawa pencemar sangat bervariasi tergantung pada jenis sumber air limbahnya.

Tabel 1 : Karakteristik air limbah rumah tangga di daerah Jakarta.

No	PARAMETER	KONSENTRASI
1	BOD - mg/l	27,61 - 190,59
2	COD - mg/l	138,68 - 591,24
3	Angka Permanganat (KMnO <sub>4</sub> ) - mg/l	64,6 - 256,49
4	Ammoniak (NH <sub>3</sub> ) mg/l	12,5 - 63,62
5	Nitrit (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) - mg/l	0,017 - 0,031
6	Nitrat (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) - mg/l	3,27 - 27,64
7	Klorida (Cl <sup>-</sup> ) - mg/l	32,52 - 57,94
8	Sulfat (SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ) - mg/l	65,04 - 144,99
9	pH	6,06 - 6,99
10	Zat padat tersuspensi (SS) mg/l	17 - 239,5
11	Deterjen (MBAS) - mg/l	0,18 - 29,99
12	Minyak/lemak - mg/l	0,8 - 12,7
13	Cadmium (Cd) - mg/l	nil
14	Timbal (Pb)	nil - 0,01
15	Tembaga (Cu) - mg/l	nil
16	Besi (Fe) - mg/l	0,29 - 1,15
17	Warna - (Skala Pt-Co)	40 - 500
18	Phenol - mg/l	0,11 - 1,84

Sumber : Disesuaikan dari PD PAL JAYA 1995.

## Proses Pengolahan Air Limbah Sistem "Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob"

Proses pengolahan air limbah rumah tangga dengan biofilter anaerob-aerob ini merupakan pengembangan dari proses proses biofilter anaerob dengan proses aerasi kontak. Pengolahan air limbah dengan proses biofilter anaerob-aerob terdiri dari beberapa bagian yakni bak pengendap awal, biofilter anaerob (anoxic), biofilter aerob, bak pengendap akhir, dan jika perlu dilengkapi dengan bak kontaktor khlor.

Air limbah yang berasal dari rumah tangga dialirkan melalui saringan kasar (bar screen) untuk menyaring sampah yang berukuran besar seperti sampah daun, kertas, plastik dll. Setelah melalui screen air limbah dialirkan ke bak pengendap awal, untuk mengendapkan partikel lumpur, pasir dan kotoran lainnya. Selain sebagai bak pengendapan, juga berfungsi sebagai bak pengontrol aliran, serta bak pengurai senyawa organik yang berbentuk padatan, sludge digestion (pengurai lumpur) dan penampung lumpur.

Air limpasan dari bak pengendap awal selanjutnya dialirkan ke bak kontaktor anaerob dengan arah aliran dari atas ke dan bawah ke atas. Di dalam bak kontaktor anaerob tersebut diisi dengan media dari bahan plastik atau kerikil/batu split. Jumlah bak kontaktor anaerob ini bisa dibuat lebih dari satu sesuai dengan kualitas dan jumlah air baku yang akan diolah.

Penguraian zat-zat organik yang ada dalam air limbah dilakukan oleh bakteri anaerobik atau fakultatif aerobik. Setelah beberapa hari operasi, pada permukaan media filter akan tumbuh lapisan film mikro-organisme. Mikro-organisme inilah yang akan menguraikan zat organik yang belum sempat terurai pada bak pengendap.

Air limpasan dari bak kontaktor (biofilter) anaerob dialirkan ke bak kontaktor (biofilter) aerob. Di dalam bak kontaktor aerob ini diisi dengan media kerikil, atau dapat juga dari bahan pasltik (polyethylene), batu apung atau bahan serat, sambil diaerasi atau dihembus dengan udara sehingga mikro organisme yang ada akan menguraikan zat organik yang ada dalam air limbah serta tumbuh dan menempel pada permukaan media.

Dengan demikian air limbah akan kontak dengan mikro-organisme yang tersuspensi dalam air maupun yang menempel pada permukaan media yang mana hal tersebut dapat meningkatkan efisiensi penguraian zat organik, deterjen serta mempercepat proses nitrifikasi, sehingga efisiensi penghilangan ammonia menjadi lebih besar. Proses ini sering di namakan Aerasi Kontak (Contact Aeration).

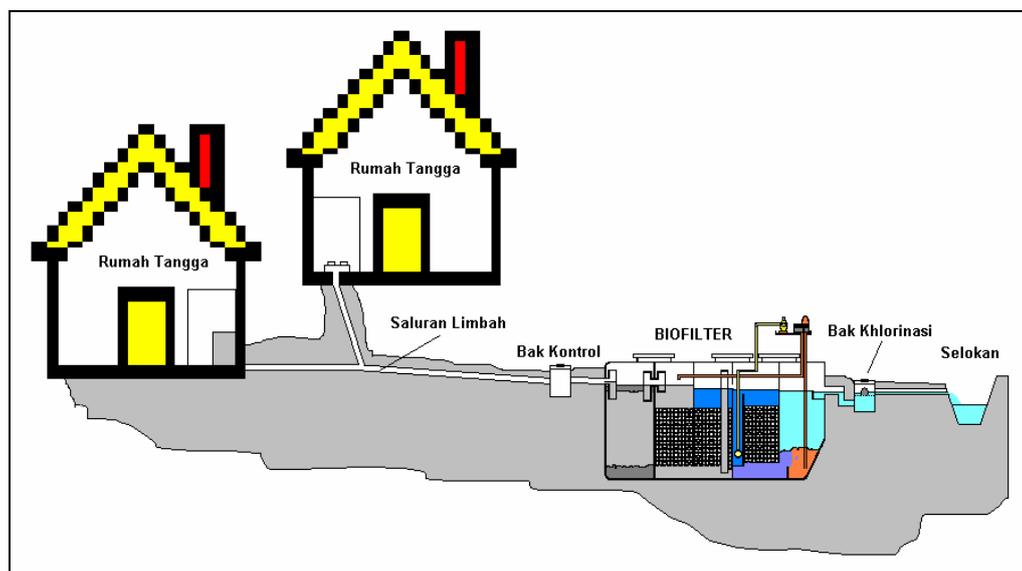
Dari bak aerasi, air dialirkan ke bak pengendap akhir. Di dalam bak ini lumpur aktif yang mengandung massa mikro-organisme diendapkan dan dipompa kembali ke bagian inlet bak aerasi dengan pompa sirkulasi lumpur. Sedangkan air limpasan (over flow) dialirkan ke bak khlorinasi. Di dalam bak kontaklor ini air limbah dikontakkan dengan senyawa khlor untuk membunuh mikro-organisme patogen.

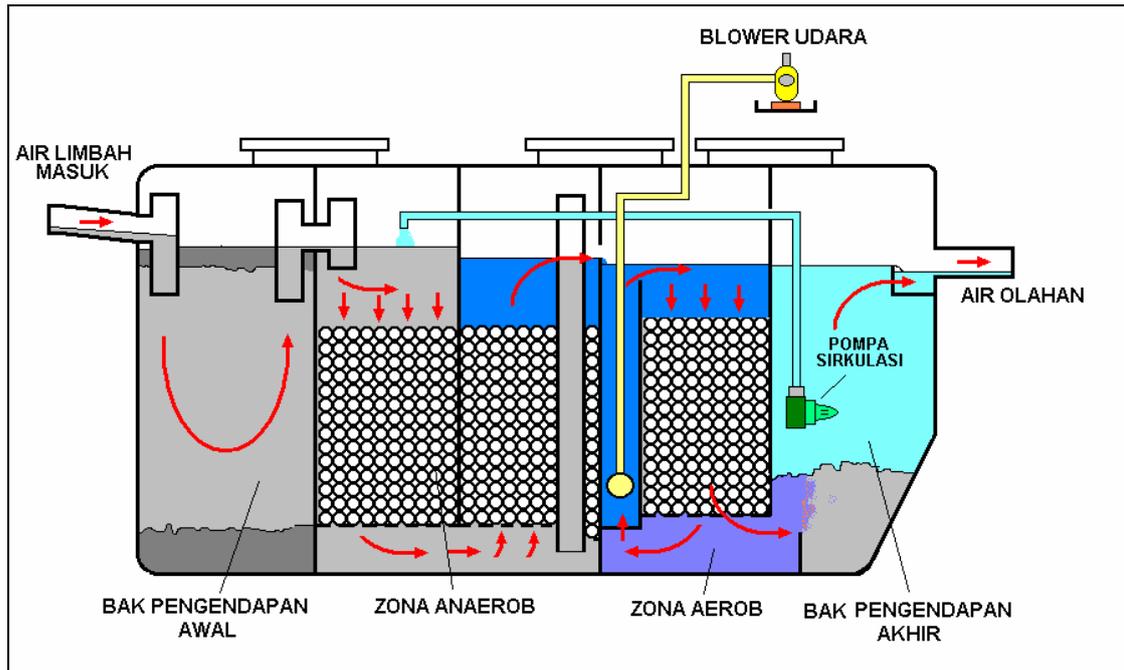
Air olahan, yakni air yang keluar setelah proses khlorinasi dapat langsung dibuang ke sungai atau saluran umum. Dengan kombinasi proses anaerob dan aerob tersebut selain dapat menurunkan zat organik (BOD, COD), juga dapat menurunkan konsentrasi ammonia, deterjen, padatan tersuspensi (SS), fosfat dan lainnya. Skema proses pengolahan air limbah rumah tangga dengan sistem biofilter anaerob-aerob dapat dilihat pada Gambar 10.

### Keuntungan Proses Biofilter "Anaerob-Aerob"

Adanya air buangan yang melalui media kerikil yang terdapat pada biofilter mengakibatkan timbulnya lapisan lendir yang menyelimuti kerikil atau yang disebut juga *biological film*. Air limbah yang masih mengandung zat organik yang belum teruraikan pada bak pengendap bila melalui lapisan lendir ini akan mengalami proses penguraian secara biologis.

Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikro-organisme yang menempel pada permukaan media filter tersebut. Makin luas bidang kontakannya maka efisiensi penurunan konsentrasi zat organiknya (BOD) makin besar. Selain menghilangkan atau mengurangi konsentrasi BOD dan COD, cara ini dapat juga mengurangi konsentrasi padatan tersuspensi atau suspended solids (SS), deterjen (MBAS), ammonium dan posphor.





Gambar 10 Diagram proses pengolahan air limbah rumah tangga (domestik) dengan proses biofilter anaerob-aerob.

Biofilter juga berfungsi sebagai media penyaring air limbah yang melalui media ini. Sebagai akibatnya, air limbah yang mengandung suspended solids dan bakteri *E.coli* setelah melalui filter ini akan berkurang konsentrasinya. Efisiensi penyaringan akan sangat besar karena dengan adanya *biofilter up flow* yakni penyaringan dengan sistem aliran dari bawah ke atas akan mengurangi kecepatan partikel yang terdapat pada air buangan dan partikel yang tidak terbawa aliran ke atas akan mengendapkan di dasar bak filter. Sistem biofilter anaerob-aerob ini sangat sederhana, operasinya mudah dan tanpa memakai bahan kimia serta sedikit membutuhkan energi. Proses ini cocok digunakan untuk mengolah air limbah rumah tangga dengan kapasitas yang tidak terlalu besar.

Dengan kombinasi proses "Anaerob-Aerob", efisiensi penghilangan senyawa fosfor menjadi lebih besar bila dibandingkan dengan proses anaerob atau proses aerob saja. Selama berada pada kondisi anaerob, senyawa fosfor anorganik yang ada dalam sel-sel mikroorganisme akan keluar sebagai akibat hidrolisis senyawa fosfor, sedangkan energi yang dihasilkan digunakan untuk menyerap BOD (senyawa organik) yang ada di dalam air limbah. Efisiensi penghilangan BOD akan berjalan baik apabila perbandingan antara BOD dan fosfor (P) lebih besar 10. (Metcalf and Eddy, 1991).

Selama berada pada kondisi aerob, senyawa fosfor terlarut akan diserap oleh bakteri atau mikroorganisme dan akan disintesa menjadi polyphospat dengan menggunakan energi yang dihasilkan oleh proses oksidasi senyawa organik (BOD). Dengan demikian dengan kombinasi proses anaerob-aerob dapat menghilangkan BOD maupun fosfor dengan baik. Proses ini dapat digunakan untuk pengolahan air limbah dengan beban organik yang cukup besar.

### **Keunggulan Proses Biofilter "Anaerob-Aerob"**

Beberapa keunggulan proses pengolahan air limbah dengan biofilter anaerob-aerob antara lain yakni :

- Pengelolaannya sangat mudah.
- Biaya operasinya rendah.
- Dibandingkan dengan proses lumpur aktif, Lumpur yang dihasilkan relatif sedikit.
- Dapat menurunkan konsentrasi senyawa nitrogen atau fosfor yang dapat menyebabkan eutropikasi.
- Suplai udara untuk aerasi relatif kecil.
- Dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar.
- Dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik.
- Tahan terhadap perubahan beban pengolahan atau beban hidrolis secara mendadak.

## HASIL YANG PERNAH DICAPAI

### Percobaan

Air limbah rumah tangga yang akan diolah dikumpulkan dari beberapa rumah dengan cara mengalirkannya melalui pipa PVC. Jenis air limbah yang diolah yakni seluruh air limbah rumah tangga yang berasal dari air bekas cucian, buangan dapur, buangan kamar mandi dan buangan (limbah) tinya.

Air limbah dialirkan ke alat pengolahan melalui lubang pemasukan (inlet) masuk ke ruang (bak) pengendapan awal. Selanjutnya air limpasan dari bak pengendapan awal air dialirkan ke zona anaerob. Zona anaerob tersebut terdiri dari dua ruangan yang diisi dengan batu pecah dengan ukuran 2-3 cm. Pada zona anaerob pertama air limbah mengalir dengan arah aliran dari atas ke bawah, sedangkan pada zona anaerob ke dua air limbah mengalir dengan arah aliran dari bawah ke atas. Selanjutnya air limpasan dari zona anaerob ke dua mengalir ke ke zona aerob melalui lubang (weir).

Di dalam zona aerob tersebut air limbah dialirkan ke unggun kerkil (batu pecah) ukuran 2-5 cm dengan arah aliran dari bawah ke atas, sambil dihembus dengan udara. Air limbah dari zona aerob masuk ke bak pengendapan akhir melalui saluran yang ada di bagian bawah. Air limbah yang ada di dalam bak pengendapan akhir tersebut disirkulasikan ke zona anaerob pertama, sedangkan air limpasan dari bak pengendapan akhir tersebut merupakan air hasil olahan dan keluar melalui lubang pengeluaran, selanjutnya masuk ke bak kontaktor khlor. Selanjutnya air limpasan dari bak kontaktor dibuang ke saluran umum.

Setelah proses berjalan selama dua minggu pada permukaan media (batu pecah) akan tumbuh lapisan mikro-organisme, yang akan menguraikan senyawa polutan yang ada dalam air limbah. Analisa kualitas air limbah dilakukan secara periodik dengan cara mengambil contoh air limbah yang masuk, air limbah pada tiap-tiap zona dan air olahan, sedangkan parameter yang akan diperiksa yakni BOD, COD, padatan tersuspensi (SS), ammonium nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), deterjen (MBAS), dan fosfat ( $\text{PO}^4$ ). Skema proses pengolahannya ditunjukkan seperti pada gambar 4.

## Kondisi Operasi

Waktu Tinggal Total = 1-3 hari.

Air yang ada di dalam bak pengendapan akhir sebagian disirkulasikan ke zona anaerob pertama dengan menggunakan pompa sirkulasi.

Ratio Sirkulasi Hidrolis (hydraulic Recycle Ratio, HRR) = 1

Pengambilan contoh dilakukan setelah 4 minggu (satu bulan) operasi, dan setelah 5 (lima) minggu operasi.

## Lokasi Uji Coba

Uji coba prototipe alat dilakukan di desa Benda Baru, Kecamatan Pamulang, Tangerang, Jawa Barat. Unit prototipe alat tersebut dipasang di pemukiman penduduk (kampung).

## Hasil Uji Coba

Berdasarkan pengamatan secara fisik (dengan mata), pada awal proses yakni pengamatan setelah dua hari operasi, proses pengolahan belum berjalan secara baik. Hal ini karena mikroorganisme yang ada di dalam reaktor belum tumbuh secara optimal. Kotoran tinja yang masuk ke dalam bak pengendapan awal masih berupa padatan dan masih menimbulkan bau.

Proses yang ada terlihat masih merupakan proses pengendapan dan penyaringan secara fisik. Di dalam bak aerasi buih yang terjadi cukup banyak. Hal ini menunjukkan bahwa penguraian senyawa deterjen belum berjalan secara baik. Air yang keluar dari reaktor sudah relatif bersih dibandingkan dengan air limbah yang masuk.

Setelah proses berjalan sekitar dua minggu, mikroorganisme sudah mulai tumbuh atau berkembang iak di dalam reaktor. Di dalam bak pengendapan awal sudah mulai terlihat cacing kecil yang mengambang pada permukaan air. Cacing-cacing tersebut sangat membantu menguraikan kotoran padat misalnya tinja, sehingga jika ada tinja yang masuk ke dalam bak pengendap awal maka kotoran padat tersebut segera dimakan atau di uraikan oleh cacing-cacing tersebut atau oleh mikroorganisme yang lain. Dengan berkembang-biaknya cacing tersebut maka kotoran padat yang masuk kedalam bak pengendap awal menjadi lebih cepat terurai.

Selain itu, setelah proses berjalan dua minggu pada permukaan media kontaktor (batu pecah atau kerikil) yang ada di dalam zona anaerob maupun zona aerob, telah diselimuti oleh lapisan mikroorganisme. Dengan tumbuhnya lapisan mikroorganisme tersebut maka proses penyaringan padatan tersuspensi (SS) maupun penguraian senyawa polutan yang ada di dalam air limbah menjadi lebih baik. Hal ini secara fisik dapat dilihat dari air limpasan yang keluar dari zona anaerob sudah cukup jernih, dan buih atau busa yang terjadi di zona aerob (bak aerasi) sudah sangat berkurang. Sedangkan air olahan yang keluar secara fisik sudah sangat jernih.

### ➤ Hasil Pengolahan Setelah 4 minggu Operasi

Pengambilan contoh air dilakukan setelah proses pengolahan berjalan dengan stabil, yakni setelah proses berjalan satu bulan. Contoh air yang dianalisa yakni air limbah yang masuk ke bak pengendapan awal, air limbah yang masuk ke zona anaerob, air limbah yang masuk ke zona aerob, dan air hasil olahan, sedangkan parameter polutan yang diperiksa yakni BOD, COD, padatan tersuspensi (SS), ammonia ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), deterjen (MBAS), dan fosfat ( $\text{PO}_4$ ).

Hasil analisa terhadap contoh air tersebut ditunjukkan seperti pada tabel 2. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa konsentrasi BOD dalam air limbah adalah 150 mg/l turun menjadi 23 mg/l, konsentarsi COD 310 mg/l turun menjadi 63,26 mg/l, konsentrasi total padatan tersuspensi (SS) 100 mg/l turun menjadi 5 mg/l, konsentrasi Ammonium-nitrogen ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 15,75 mg/l turun menjadi 1,69 mg/l, konsentrasi deterjen (MBAS) 16,8 mg/l turun menjadi 2,18 mg/l, dan konsentrasi fosfat ( $\text{PO}_4$ ) di dalam air limbah 1,33 mg/l turun menjadi 0,74 mg/l. Dengan demikian maka efisiensi penghilangan BOD 84,7 %, COD 79,6 %, suspended solids (SS) 95 %, ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 89,3 %, deterjen (MBAS) 87 %, dan efisiensi penghilangan fosfat ( $\text{PO}_4$ ) yakni 44,4 %.

Tabel 2 :

Kualitas air limbah dan kualitas air olahan pada tiap titik pengambilan contoh, serta efisiensi penghilangan. Setelah proses pengolahan berjalan satu bulan (4 minggu).

Lokasi Sampling	Konsentrasi Polutan Pada Air Limbah Dan Air Olahan dan Efisisensi Penghilangan												
	BOD		COD		TSS		$\text{NH}_4\text{-N}$		MBAS		$\text{PO}_4$		pH
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	-
←	150	-	310	-	100	-	15,75	-	16,8	-	1,33	-	-
↑	80	46,7	152,05	51	20	80	10,39	34	9,34	44,4	1,33	0	-
→	36	76	73,47	76,3	5	95	5,18	67,1	3,18	68,8	1,43	-7,5	-
↓	23	84,7	63,26	79,6	5	95	1,69	89,3	2,18	87	0,74	44,4	-



Keterangan :        ← Air Baku Limbah,  
                           ↑ Setelah Bak Pengendap Awal,  
                           → Setelah zona Anaerob,  
                           ↓ Air Olahan

➤ Hasil Pengolahan Setelah 5 minggu Operasi

Hasil analisa kimia terhadap contoh air yang diambil setelah proses pengolahan berjalan 5 (lima) minggu ditunjukkan seperti pada Tabel 3. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi senyawa polutan yang masuk ke unit alat pengolahan (reaktor), khususnya BOD, COD, SS dan Ammonium (NH<sub>4</sub>-N) berbeda cukup jauh dibandingkan dengan air limbah yang masuk setelah 4 (empat) minggu operasi. Hal ini disebabkan karena jenis polutan yang ada di dalam air limbah berbeda tergantung dari waktu dan jenis kegiatan yang ada di dalam rumah tangga tersebut, sedangkan pengambilan contoh air dilakukan secara sesaat.

Tabel 3 :

Kualitas air limbah dan kualitas air olahan pada tiap titik pengambilan contoh , serta efisiensi penghilangan. Setelah proses pengolahan berjalan 5 minggu.

Lokasi Sam-pling	Konsentrasi Polutan Pada Air Limbah Dan Air Olahan dan Efisisensi Penghilangan												
	BOD		COD		TSS		NH <sub>4</sub> -N		MBAS		PO <sub>4</sub>		pH
	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	-
←	212	-	937	-	322	-	37,23	-	16,64	-	2,41	-	6,6
↑	89	58	162,26	82,17	83	74,2	15,7	57,8	12,83	22,9	1,35	44	7,0
→	34	84	97	89,6	20	93,8	13,83	68,9	3,8	77,2	1,47	39	7,0
↓	19	91	44,34	95,3	18	94,1	3,79	89,8	2,83	83	1,27	47,3	7,5

Keterangan :        ← Air Baku Limbah,  
                           ↑ Setelah Bak Pengendap Awal,  
                           → Setelah zona Anaerob,  
                           ↓ Air Olahan

Dari tabel tabel 3 tersebut dapat diketahui bahwa konsentrasi BOD dalam air limbah adalah 212 mg/l, sedangkan konsentrasi BOD dalam air olahan turun menjadi 19 mg/l. Konsentrasi COD dalam air limbah adalah 937 mg/l, sedangkan konsentrasi COD dalam air olahan turun menjadi 44.34 mg/l. Konsentrasi padatan tersuspensi (SS) dalam air limbah 322 mg/l, sedangkan konsentrasi SS dalam air olahan turun menjadi 18 mg/l.

Konsentrasi  $\text{NH}_4\text{-N}$  dalam air limbah 37.23 mg/l, sedangkan konsentrasi Ammonia ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) dalam air olahan turun menjadi 3.79 mg/l. Konsentrasi deterjen (MBAS) dalam air limbah 16.64 mg/l, sedangkan konsentrasi MBAS dalam air olahan turun menjadi 2,83 mg/l. Untuk konsentrasi fosfat ( $\text{PO}_4$ ) dari 2,41 mg/l di dalam air limbah turun menjadi 1,27 mg/l. Untuk pH air limbah mempunyai kecenderungan naik yakni dari pH 6,0 naik menjadi pH 7,5.

Dengan demikian maka efisiensi pengolahan yakni BOD 91 %, COD 95,3 %, suspended solids (SS) 94,1 %, ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 89,8 %, deterjen (MBAS) 83 %, dan efisiensi penghilangan fosfat ( $\text{PO}_4$ ) yakni 47,3 %. Grafik penurunan konsentrasi dan efisiensi penghilangan BOD, COD, SS, Ammonia ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), deterjen (MBAS) dan fosfat ( $\text{PO}_4$ ) setelah 4 (empat) minggu dan 5 (lima) minggu operasi, di tiap titik pengambilan contoh ditunjukkan seperti pada Gambar 11 sampai dengan Gambar 16.

### Kebutuhan Tenaga Listrik

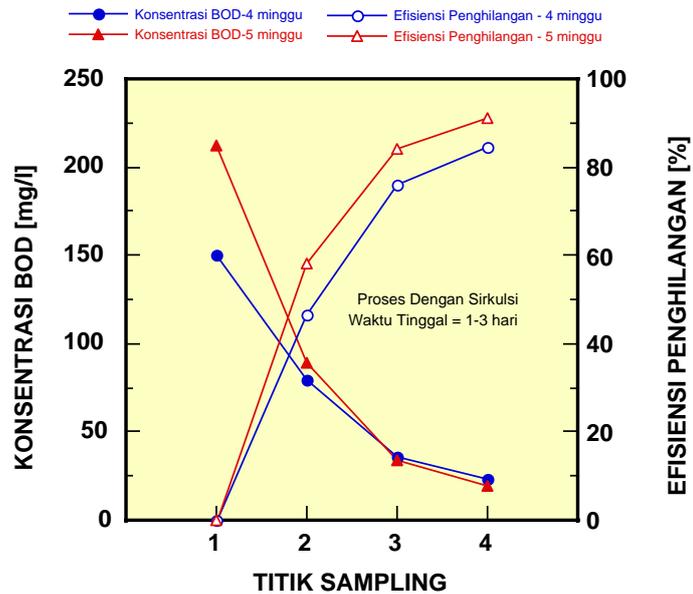
Untuk proses pengolahan air limbah rumah tangga dengan alat tersebut diperlukan tenaga listrik sebesar 65 watt, yakni 40 watt untuk blower udara dan 25 watt untuk pompa sirkulasi. Jika alat tersebut dioperasikan secara terus-menerus maka kebutuhan daya listrik adalah sebesar  $0,065 \text{ KW} \times 24 \text{ Jam/hari} \times 30 \text{ hari/bulan} = 54 \text{ KWh per bulan}$ . Jika harga listrik adalah Rp. 150,- per KWh maka biaya listrik per bulan adalah Rp. 7020,-.

### Kesimpulan

Dari hasil uji coba prototipe alat pengolah air limbah rumah tangga "Kombinasi Biofilter Anaerob-Aerob" tersebut diatas dapat disimpulkan bahwa:

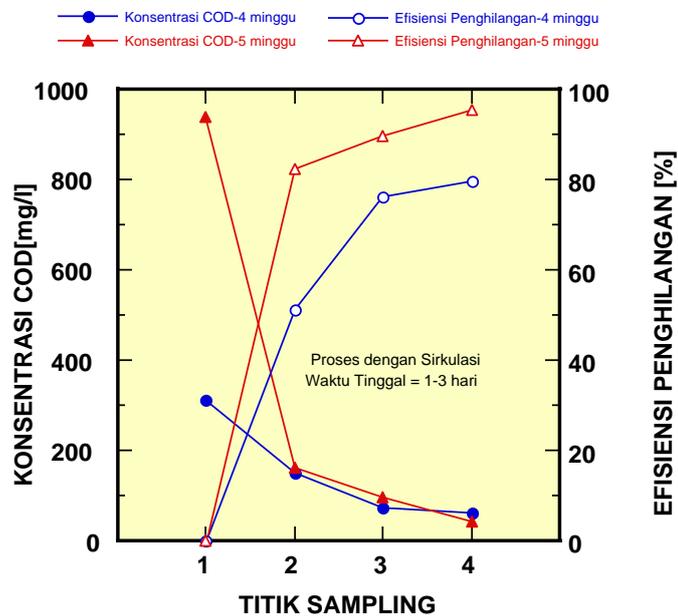
- Dengan waktu tinggal antara 1- 3 hari didapatkan efisiensi pengolahan yang cukup tinggi yakni BOD 84,7 - 91 %, COD 79,6 - 95,3 %, SS 94,1 - 95 %, Ammonia ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) 89,3 - 89,8 %, Deterjen (MBAS) 83 - 87 % dan Fosfat ( $\text{PO}_4$ ) 44,4 - 47,3 %.
- Efisiensi pengolahan khususnya penghilangan senyawa organik (BOD, COD) dan SS cukup stabil meskipun debit dan konsentrasi polutan dalam air limbah sangat berfluktuasi.
- Unit alat pengolah air limbah rumah tangga dengan sistem kombinasi biofilter anaerob-aerob ini dapat dibuat dengan skala kecil ataupun skala besar sesuai dengan kebutuhan.
- Untuk pengolahan air limbah rumah tangga dengan kapasitas 20 -25 orang ( $2\text{-}3 \text{ M}^3$  per hari) memerlukan energi listrik sekitar 65 watt.

**LAMPIRAN**



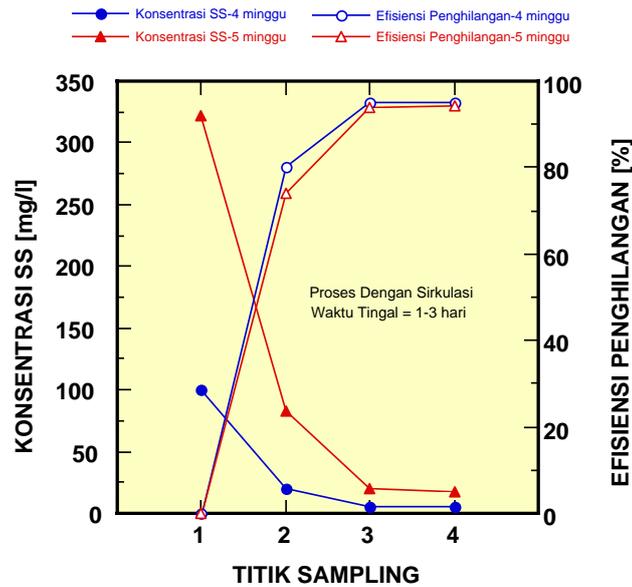
Gambar 11 Penurunan konsentrasi dan efisiensi penghilangan BOD pada tiap titik pengambilan contoh. Waktu Tinggal di dalam reaktor = 1-3 hari. Dengan proses sirkulasi, HRR = 1

Keterangan : ← Air Baku Limbah, ↑ Setelah Bak Pengendap Awal, → Setelah zona Anaerob, dan ↓ Air Olahan



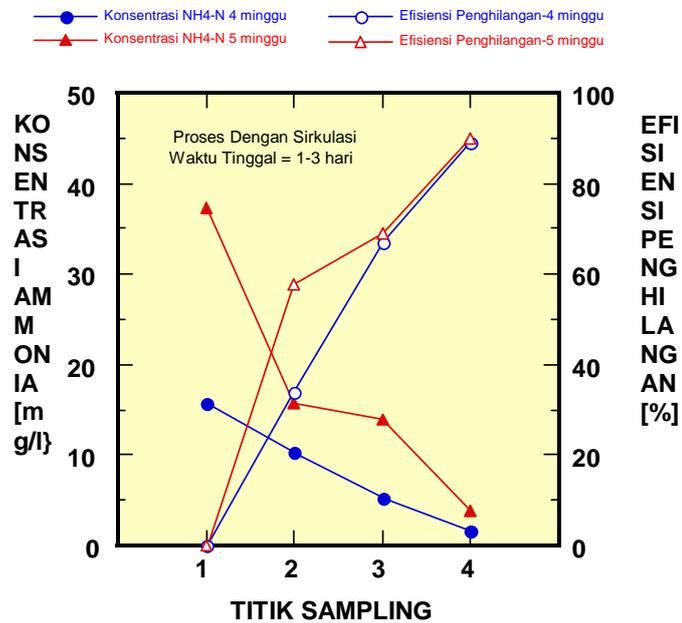
Gambar 12 Penurunan konsentrasi dan efisiensi penghilangan COD pada tiap titik pengambilan contoh. Waktu Tinggal di dalam reaktor = 1-3 hari. Dengan proses sirkulasi, HRR = 1

Keterangan : ← Air Baku Limbah, ↑ Setelah Bak Pengendap Awal, → Setelah zona Anaerob, dan ↓ Air Olahan



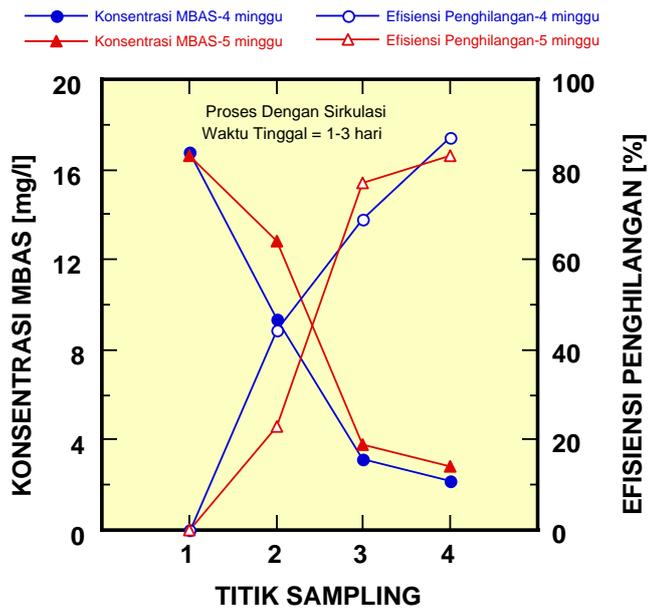
Gambar 13 Penurunan konsentrasi dan efisiensi penghilangan SS pada tiap titik pengambilan contoh. Waktu Tinggal di dalam reaktor = 1-3 hari. Dengan proses sirkulasi, HRR = 1

Keterangan : ← Air Baku Limbah, ↑ Setelah Bak Pengendap Awal, → Setelah zona Anaerob, dan ↓ Air Olahan

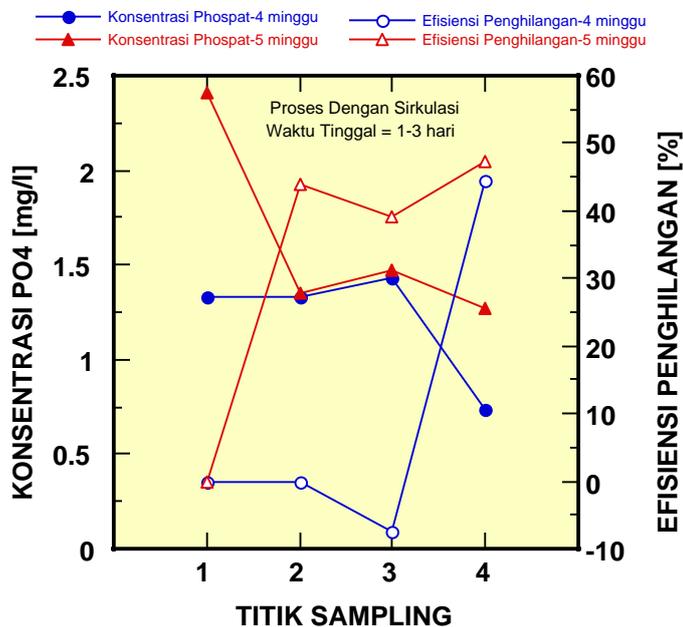


Gambar 14 Penurunan konsentrasi dan efisiensi penghilangan Ammonia (NH<sub>4</sub>) pada tiap titik pengambilan contoh. Waktu Tinggal di dalam reaktor = 1-3 hari. Dengan proses sirkulasi, HRR = 1

Keterangan : ← Air Baku Limbah, ↑ Setelah Bak Pengendap Awal, → Setelah zona Anaerob, dan ↓ Air Olahan



Gambar 15 Penurunan konsentrasi dan efisiensi penghilangan Deterjen (MBAS) pada tiap titik pengambilan contoh. Waktu Tinggal di dalam reaktor = 1-3 hari. Dengan proses sirkulasi, HRR = 1  
 Keterangan : ← Air Baku Limbah, ↑ Setelah Bak Pengendap Awal, → Setelah zona Anaerob, dan ↓ Air Olahan



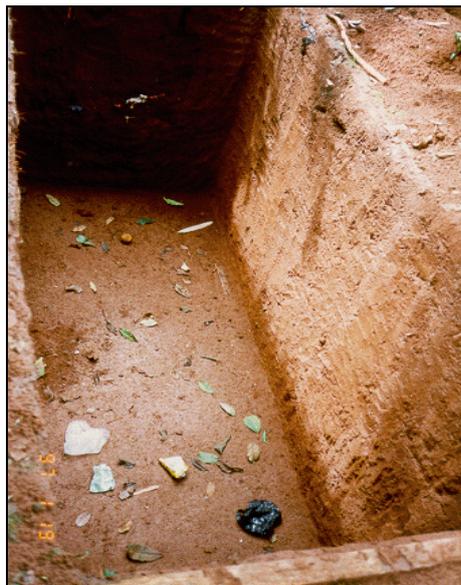
Gambar 16 Perubahan konsentrasi dan efisiensi penghilangan Phospat (PO4) pada tiap titik pengambilan contoh. Waktu Tinggal di dalam reaktor = 1-3 hari. Dengan proses sirkulasi, HRR = 1  
 Keterangan : ← Air Baku Limbah, ↑ Setelah Bak Pengendap Awal, → Setelah zona Anaerob, dan ↓ Air Olahan



Bentuk reaktor alat pengolah air limbah rumah tangga (dari bahan fiberglas)



Pengangkutan ke lokasi



Penggalian tanah untuk pemasangan alat.



Pemasangan alat



Unit alat pengolahan air limbah rumah tangga semi komunal yang telah terpasang



Pipa pemasukan air limbah.



Konstruksi bak pengurai awal.



Bagian dalam reaktor sebelum diisi dengan media.



Konstruksi zona aerobik sebelum diisi dengan media.



Bagian pengeluaran pada bak pengendapan akhir.



Unit reaktor alat pengolahan air limbah yang telah diisi dengan media batu pecah



Unit reaktor alat pengolahan air limbah yang telah diisi dengan media batu pecah (split) ukuran 3-5 cm.



Bak pengedapan akhir.



Bak kontrol pertama untuk memisahkan padatan yang tidak dapat terurai secara biologis,



Air limbah di dalam bak pengurai awal.



Air limbah di dalam bak pengurai awal (kanan) dan air limbah di dalam bak anaerob I (kiri).



Air limbah di dalam bak anaerob I (kanan) dan bak anaerob II (kiri).



Air limbah di dalam bak aerobik.



Air limbah di dalam bak pengendapan akhir.

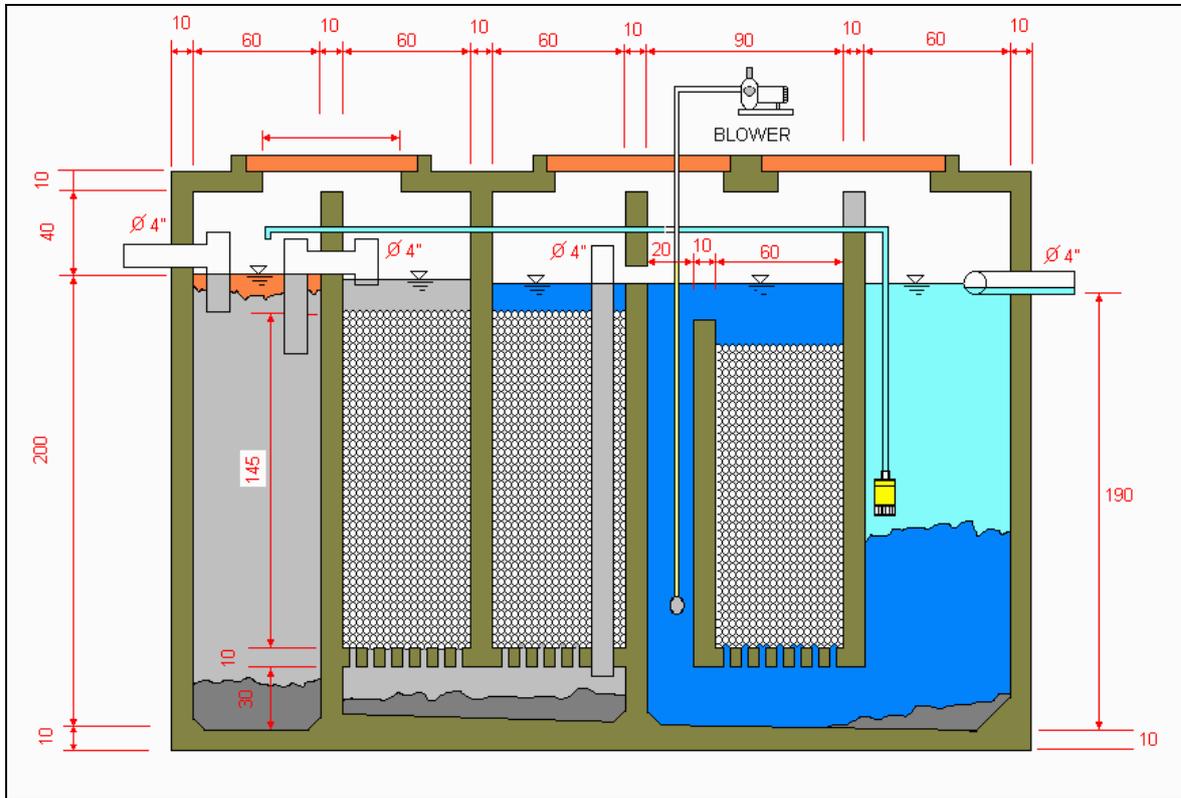


Air limbah di dalam bak kontor air olahan.

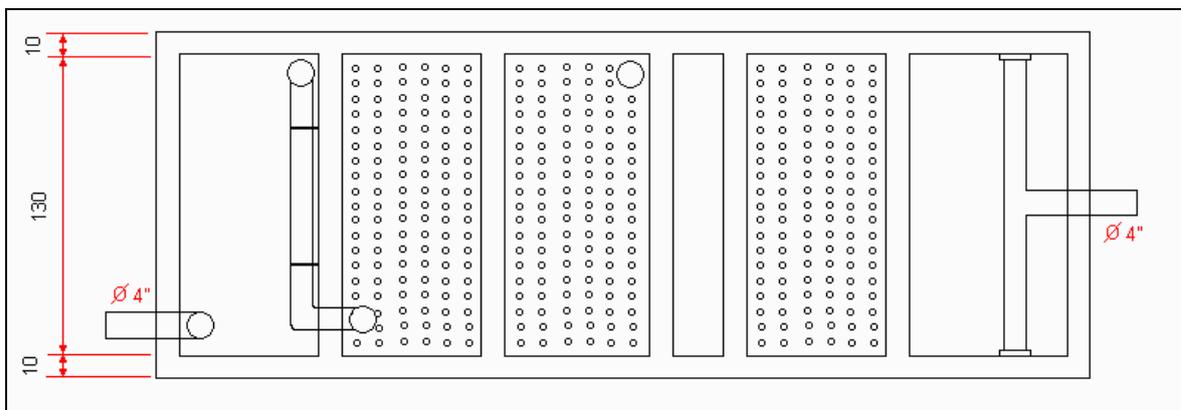


Air limbah sebelum diolah (kiri) dan air hasil olahan (kanan).

Gambar di bawa ini adalah disain alat pengolah air limbah rumah tangga semi komunal dengan konstruksi beton, kapasitas 3-6 M<sup>3</sup>/hari.



Gambar Penampang melintang



Gambar Tampak atas

## DAFTAR PUSTAKA

- ----- " The Study OnUrban Drainage And Waste Water Disposal Project In The City Of Jakarta", , JICA, December 1990.
- -----, " Gesuidou Shissetsu Sekkei Shisin to Kaisetsu ", Nihon Gesuidou Kyokai, 1984.
- -----, "Pekerjaan Penentuan Standard Kualitas Air Limbah Yang Boleh Masuk Ke Dalam Sistem Sewerage PD PAL JAYA", Dwikarasa Envacotama-PD PAL JAYA, 1995.
- Fair, Gordon Maskew et.al., " Eements Of Water Supply And Waste Water Disposal", John Willey And Sons Inc., 1971.
- Gouda T., " Suisitsu Kougaku - Ouyouben", Maruzen kabushiki Kaisha, Tokyo, 1979.
- MetCalf And Eddy, " Waste Water Engineering", Mc Graw Hill 1978.
- Said, N.I., " Sistem Pengolahan Air Limbah Rumah Tangga Skala Individual Tangki Septik Filter Up Flow", Majalah Analisis Sistem Nomor 3, Tahun II, 1995.
- Sueishi T., Sumitomo H., Yamada K., dan Wada Y., " Eisei Kougaku " (Sanitary Engineering), Kajima Shuppan Kai, Tokyo, 1987.
- Viessman W, Jr., Hamer M.J., " Water Supply And Polution Control ", Harper & Row, New York, 1985.