

KINETIKA PENYISIHAN SENYAWA ORGANIK DALAM PENGOLAHAN LIMBAH DOMESTIK MENGGUNAKAN BIOREAKTOR *TRICKLING FILTER*

Churchil Febrion¹, Sekarningtias A.²

Universitas Kebangsaan

Email: f.churchil@gmail.com

ABSTRAK

Limbah domestik adalah limbah yang berasal dari dapur, kamar mandi, cucian, dan kotoran manusia. Sumber air limbah domestik yang diambil untuk penelitian yaitu limbah domestik dari IPAL Bojongsoang-kota Bandung, di antaranya Bandung Tengah, Bandung Selatan dan Bandung Timur. Salah satu dengan menggunakan *Trickling Filter* Penelitian ini untuk mengetahui efisiensi dan kinetika reaksi *trickling filter* dengan parameter laju reaksi. Hasil parameter kinetika *Trickling Filter* yaitu laju reaksi (k) berdasarkan Eckenfelder untuk reaksi orde satu dengan kedalaman 30 cm pH 6 $k = 4,1574$ /hari dan pH 8 $k = 3,8001$ /hari; limbah encer (100 mg/L) pH 6 $k = 3,4001$ /hari dan pH 8 $k = 2,9660$ /hari ; variasi limbah asli dengan kedalaman 10 cm Q1 10 L/jam $k = 6,9510$ /hari dan Q2 20,83 L/jam $k = 6,0042$ /hari. Penelitian menghasilkan penyisihan zat organik untuk COD mencapai 75,69% dan untuk BOD mencapai 72,00% yaitu pada variasi Beban Organik Limbah asli (300mg/L), pH limbah asli (pH 6), kedalaman biofilm 30 cm.

Kata Kunci : *Trickling Filter*, Limbah Domestik, Kinetika

ABSTRACT

Domestic waste is waste originating from kitchens, bathrooms, laundry, and human waste. The source of domestic wastewater taken for the study is domestic waste from the Bojongsoang WWTP in Bandung, including Central Bandung, South Bandung and East Bandung. One of them is by using Trickling Filter. This research is to find out the efficiency and kinetics of trickling filter reactions with the reaction rate parameters. The results of the Trickling Filter kinetics parameters are reaction rates (k) based on Eckenfelder for first order reactions with a depth of 30 cm pH 6 $k = 4.1574$ / day and pH 8 $k = 3.8001$ / day; dilute waste (100 mg / L) pH 6 $k = 3.4001$ / day and pH 8 $k = 2.9660$ / day; variation of original waste with a depth of 10 cm Q1 10 L / hour $k = 6.9510$ / day and Q2 20.83 L / hour $k = 6.0042$ / day. The research resulted in the removal of organic matter for COD reaching 75.69% and for BOD reaching 72.00%, namely in the variation of the original Organic Load (300mg / L), original waste pH (pH 6), biofilm depth of 30 cm.

Keywords: *Trickling Filter, Domestic Waste, Kinetics*

PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari masyarakat selalu menghasilkan limbah, terutama dalam kehidupan rumah tangga. Limbah rumah tangga adalah limbah yang berasal dari dapur, kamar mandi, cucian, dan kotoran manusia. Limbah merupakan buangan berbentuk cair, gas dan padat. Dalam air limbah ada bahan kimia sulit untuk dihilangkan dan berbahaya. Bahan kimia tersebut dapat memberi kehidupan bagi kuman-kuman penyebab penyakit disenteri, tipus, kolera dsb. Oleh karena itu air limbah harus diolah agar tidak mencemari dan tidak membahayakan kesehatan lingkungan. Air limbah perkotaan adalah salah satu sumber daya air yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Beberapa kendala yang dihadapi dalam menggunakan kembali air limbah yakni karena air limbah perkotaan kualitasnya tidak memenuhi syarat baku mutu air. Air limbah perkotaan mengandung unsur polutan yang cukup besar oleh karena itu sebelum digunakan kembali (*reuse*) perlu dilakukan pengolahan sampai mencapai syarat baku mutu air yang diperbolehkan. Sumber air limbah rumah tangga (limbah domestik) yang diambil untuk penelitian yaitu limbah domestik dari IPAL Bojongsoang. IPAL Bojongsoang berfungsi untuk mengolah air limbah rumah tangga dari kota Bandung yang bertujuan untuk menurunkan tingkat pencemaran sungai-sungai di kota Bandung terutama membantu mengurangi

beban pencemar yang masuk ke sungai citarum. Berbagai macam pengolahan air limbah yang digunakan sesuai dengan kebutuhan. Salah satunya dengan menggunakan teknologi *Stabilization Ponds* yang telah digunakan di IPAL Bojongsoang dan *Trickling Filter* yang akan dilakukan pada penelitian ini. Dimana *trickling filter* berkerja dengan cara menyebarkan air limbah ke dalam tumpukan media seperti kerikil, keramik, plastik, bambu, dll. Media ini diberi biakan bakteri terlekat yang berfungsi untuk membantu menguraikan zat – zat organik yang terkandung pada air limbah tersebut.

METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini adalah penelitian untuk mengetahui kinerja dan kinetika *Trickling Filter* dalam menurunkan kadar COD dan BOD yang terlarut dalam limbah. penelitian ini meliputi beberapa tahap:

1. Studi Literatur
Studi mengenai teori – teori yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan melalui buku – buku referensi (buku teks), jurnal ilmiah, skripsi, dan tesis.
2. Persiapan Alat dan Bahan Untuk Penelitian
Mempersiapkan alat reaktor *Trickling Filter*.
3. Pengambilan Sampel Limbah Yang Akan Diolah

Pengambilan sampel limbah yang akan diolah dan akan dilakukan uji karakteristik awal limbah sebelum diolah menggunakan *Trickling Filter*.

4. **Pembiakan Bakteri**
Membiakkan bibit bakteri dari sumber air limbah domestik yang akan diolah.
5. **Pembuatan Reaktor**
Tahap pembuatan reaktor ini berupa modifikasi sistem distribusi reaktor. Distribusi berbentuk lempengan terbuat dari seng yang berlubang banyak seperti ayakan pasir dan dibuat selebar diameter reaktor. Selang berlubang yang memiliki *nozzles* dilewati air limbah kemudian di keluarkan diatas lempengan yang berlubang dan didistribusikan di atas media *filter*.
6. **Aklimatisasi**
Tahap Aklimatisasi adalah suatu proses pemindahan dan pengembangan biofilm. Tujuan aklimatisasi adalah agar bakteri dapat menyesuaikan diri (adaptasi) dengan lingkungan baru untuk dapat hidup dengan baik.
7. **Pengoperasian Reaktor**
Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan reaktor berbentuk tabung (drum) dengan diameter reaktor 0,56 m dan tinggi reaktor 0,86 m. menggunakan media bambu
8. **Analisa Sampel**
Pada penelitian ini dilakukan analisis parameter COD dan BOD terhadap hasil sampling di outlet *Trickling Filter*.
9. **Analisis Kinetika Reaksi Pada Reaktor**
Pada penelitian ini dilakukan pengolahan data kinetika reaksi pada pengolahan limbah domestik dengan menggunakan bioreaktor *Trickling Filter*.

Pada penelitian ini yang akan diamati adalah konsentrasi BOD dan COD dari sampel inlet dan outlet pada bioreaktor *Trickling Filter*. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini yaitu variasi beban organik yang diolah, pH, kedalaman media biofilm, dan debit diantaranya :

- Variasi beban organik yang diolah adalah 300 mg/L (Limbah asli) dan 100 mg/L (Limbah asli yang diencerkan)
- Variasi pH air limbah adalah pH 6,5 (pH limbah asli) dan pH 8 (dinaikkan pH menggunakan larutan basa)
- Variasi kedalaman media biofilm adalah 30 cm dan 10 cm dari *underdrain*.
- Variasi debit (Q) dilakukan pada kedalaman media biofilm 10 cm adalah $Q_1 = 10$ L/jam dengan $T_d = 16$ jam, dan $Q_2 = 20,83$ L/jam dengan $T_d = 8$ jam.

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian adalah:

1. Sampel limbah domestik di ambil dari unit *ventury chanel* IPAL Bojongsong.
2. Media biofilm bambu Gombang, umurnya kisaran 1,5 tahun, panjang 12 – 15 meter dengan tebal 0,5 sm. Bambu dipotong – potong dengan ukuran 5 cm.
3. Bibit bakteri yang dipakai adalah bakteri asli dari limbah cair domestik IPAL Bojongsong yang dibiakkan sendiri dengan diberi nutrisi glukosa.
4. Glukosa, sebagai bahan makanan bakteri.

Metode Kerja

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Lingkungan Universitas Kebangsaan. Tahapan dalam melakukan penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1. Merujuk pada bagan alir penelitian maka rincian langkah penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

Persiapan Awal

Pada tahap persiapan awal ini dilakukan persiapan alat dan bahan seperti yang telah disebutkan dalam sub bab sebelumnya. Sumber air limbah yang telah diambil dari *open chanel* terutama *sludgenya* yang diambil untuk membiakan bakteri selama 2 minggu. Menyiapkan bambu sebagai media filter, bambu berasal dari bambu Gombang dipotong – potong sepanjang 5 cm. Serta melakukan uji karakteristik awal limbah yang akan diolah, parameter yang diukur antara lain pH, COD, BOD, Total N dan P.

Persiapan Reaktor

Reaktor yang digunakan adalah reaktor kontinyu terlekat bermedia bambu dengan proses aerob. Aliran yang digunakan adalah *upflow* dengan kecepatan rendah untuk mencegah terkurasnya biomassa tak terlekat.

Reaktor terbuat dari drum bekas berbentuk tabung dengan kapasitas 210 liter, tinggi reaktor 0,86 m, diameter reaktor 0.56 m, dan luas permukaan 0,25 m². Dibagian bawah bak terdapat sistem *underdrain* yang berfungsi untuk mengumpulkan air yang menetes yang mengandung benda – benda biologi yang terlepas dari media. Sirkulasi udara melalui pori – pori menghasilkan aliran udara yang disebabkan perbedaan suhu. Tetesan air dan benda biologi yang lepas tersebut mengendap pada dasar bak pengendap. Sebagian aliran dikembalikan untuk memberikan beban hidrolis yang seragam dan mencairkan effluen.

Tahap Start Up Reaktor

A. Seeding

Seeding adalah proses pembiakan bibit bakteri dari sumber suatu limbah atau air buangan. Sumber biomassa diambil dari *sludge* open chanel IPAL Bojongsong.

- ✓ Diambil 2,5 liter air limbah yang berasal dari saluran open chanel IPAL Bojongsong
- ✓ Saring *sludge* limbah agar terhilang dari pasir dan sampah
- ✓ Endapkan *sludge* yang telah disaring, lalu buang supernatan dan gunakan *sludge* yang mengendap sebagai sumber biomassa.
- ✓ Masukkan kedalam toples 5 Liter, terdiri dari 2,5 liter biomassa dan 2,5 liter glukosa. Lalu diresirkulasi oleh pompa untuk pemberian oksigen, agar bakteri berkembang biak dengan baik.
- ✓ Kemudian diberi glukosa sebanyak 0,4 gram/liter selama 2 minggu. Pemberian glukosa berfungsi untuk sumber makanan bakteri. Glukosa sebagai C, sedangkan sumber makanan N dan P terdapat dari limbah domestik tersebut, karena limbah domestik kaya akan senyawa N dan P.
- ✓ Pemberian glukosa berdasarkan teoritis dan pengujian 1 gram/ liter glukosa setara dengan COD 1000 ppm.

B. Pembentukan Biofilm

Pembentukan biofilm dengan cara melekatkan bakteri ke media bambu yang telah disiapkan. Komposisi bakteri 1 liter dimasukkan ke dalam drum plastik yang telah berisi bambu dan air sebanyak ± 50 liter. Diresirkulasi dan diberi glukosa secara rutin sebanyak 10 gram agar bakteri melekat dengan baik. Waktu yang dibutuhkan untuk pembentukan biofilm berlangsung selama ± 1 bulan, dimana biomassa tersuspensi sudah mencukupi dan sudah terbentuk biofilm terlekat pada media bambu. Biomassa tercukupi dilihat dari perhitungan analisa.

C. Aklimatisasi Media Biofilm

Aklimatisasi adalah suatu proses pemindahan dan pengembangan biofilm. Tujuan aklimatisasi adalah agar bakteri dapat menyesuaikan diri (adaptasi) dengan lingkungan baru untuk dapat hidup dengan baik. Aklimatisasi media biofilm ini dilakukan secara **sistem batch**.

- Setelah terjadi pembentukan media biofilm, dilakukan aklimatisasi bakteri dengan cara memberikan air limbah asli ke dalam reaktor tahap demi tahap sampai kondisi tunak.
- Tahapan aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan 3 tahap, meliputi : tahap pertama glukosa 50% dan limbah asli 50%, tahap kedua glukosa 25% dan limbah asli 75%, dan tahap ketiga limbah asli 100%
- Dari tahap 1 ke tahapan berikutnya dilihat sampai kondisi tunak, kondisi dimana nilai efisiensi untuk parameter zat organik terlarut stabil, penyisihan COD $\pm 10\%$.
- Setelah tahapan aklimatisasi selesai, maka reaktor dapat dioperasikan.

Pengoperasian Reaktor

Reaktor dioperasikan secara 2 tahap. Pada tahap pertama dilakukan secara **batch**. Hal tersebut bertujuan agar inokulum yang telah dikembangkan dapat beradaptasi lebih baik dengan biomassa terlekat pada bambu. Setelah kondisi COD stabil dan tunak, maka tahap **kontinyu** dilakukan.

Proses Batch

- Air limbah domestik yang diambil dari *open chanel* IPAL Bojongsoang ditampung di dalam tanki penampung air, kemudian dari tanki air dipompa ke CHB dan diatur debit air yang akan masuk lalu dialirkan secara gravitasi ke dalam reaktor *trickling filter*.
- Air yang keluar lewat saluran efluen dipompa kembali ke dalam tanki penampung air, kemudian dari penampung air dipompa ke CHB dan dialirkan kembali secara gravitasi ke dalam reaktor *trickling filter* sampai kondisi tunak mendapatkan hasil penyisihan COD yang stabil $\pm 10\%$.

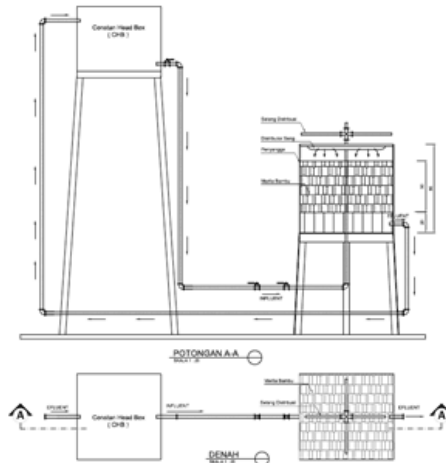
Proses Kontinyu

- Air limbah domestik yang diambil dari *open chanel* IPAL Bojongsoang ditampung di dalam tanki air, kemudian dari tanki air dipompa ke CHB dan dialirkan secara gravitasi ke dalam reaktor *trickling filter*.
- Air yang keluar lewat saluran efluen dibuang, sampai hasil COD stabil selama 7 – 8 hari selesai. Dan dilakukan

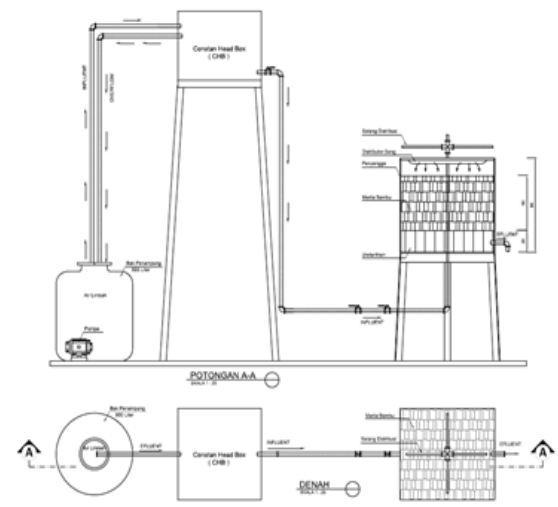
pengambilan sampel untuk analisa sesuai waktu tinggal selama 16 jam sekali.

Dilakukan analisis laboratorium terhadap parameter air limbah di *inlet* dan *outlet*:

- BOD dan COD
- MLVSS, pH, dan Temperatur
- Total N dan P



Gambar 3.2 Reaktor pada saat aklimatisasi



Gambar 3.3 Reaktor sistem continue pada saat running

Sampling dan Parameter Yang Dianalisis

Sampel diambil dari *inlet* dan *outlet*. Untuk mengukur tingkat efisiensi pengolahan dengan *Trickling Filter*, parameter yang diuji adalah pH, BOD dan COD.

1. pH

pH merupakan parameter untuk menyatakan suatu derajat keasaman air berdasarkan banyaknya ion H⁺ dalam air, dengan kisaran nilai 1 – 14. Semakin banyak kandungan ion H⁺ tersebut, pH air makin rendah dan air makin bersifat asam. Mayoritas mikroorganisme tumbuh optimal pada kondisi pH mendekati netral. Aspek pH terbukti mempengaruhi banyak aspek fisiologi struktur dan fungsi sel bakteri, terutama aktivitas katalis enzim, sehingga pH dijadikan parameter penting dalam pengolahan air limbah

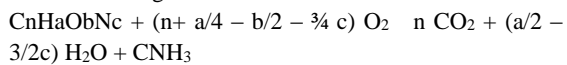
secara biologis. Rentang pH yang dianjurkan untuk air limbah domestik agar tidak menimbulkan pencemaran pada badan air.

2. BOD (*Biological Oxygen Demand*)

BOD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme (terutama bakteri), selama mikroorganisme tersebut menguraikan senyawa organik. Penguraian senyawa organik oleh mikroorganisme dapat diartikan bahwa zat organik sebagai bahan makanan untuk mikroorganisme dan diuraikan melalui rangkaian reaksi biokimia yang panjang dan rumit di dalam sel. Hasil akhir dari penguraian zat organik tersebut adalah energi untuk kebutuhan hidup mikroorganisme sendiri, H₂O, gas CO₂ dan senyawa lainnya.

Dengan demikian pengukuran BOD adalah pengukuran banyak zat organik yang dapat diuraikan oleh mikroorganisme (*biodegradeable*) pada waktu dan temperatur tertentu. BOD 5hari 20⁰C adalah percobaan pengukuran BOD pada temperatur inkubasi 20⁰C selama 5 hari. Pengukuran BOD adalah berdasarkan prosedur uji hayati, yang menyangkut pengukuran oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme dalam menguraikan zat organik. Karena kelarutan oksigen di dalam air terbatas kira – kira 9 mg/l pada suhu 20⁰C, maka air yang mengandung zat organik tinggi harus diencerkan agar pada akhir percobaan masih tersisa oksigen yang dapat diukur.

Reaksi penguraian zat organik dalam percobaan dapat dituliskan sebagai berikut :



Reaksi yang terjadi pada percobaan BOD adalah hasil aktifitas mikroorganisme, kecepatan reaksi penguraian sangat dipengaruhi oleh konsentrasi zat organik.

3. COD (*Chemical Oxygen Demand*)

Chemical Oxygen Demand adalah kapasitas air untuk menggunakan oksigen selama penguraian senyawa organik terlarut dan mengoksidasi senyawa anorganik seperti amonia dan nitrit. *Biological Oxygen Demand* adalah kuantitas oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme aerob dalam menguraikan senyawa organik terlarut. Jika BOD tinggi maka *dissolved oxygen* (DO) menurun, karena oksigen yang terlarut tersebut digunakan oleh bakteri akibatnya ikan dan organisme air yang bernapas pake insang terancam nyawanya.

Hubungan keduanya adalah sama-sama untuk menentukan kualitas air, tapi BOD lebih cenderung ke arah cemar organik. Parameter COD digunakan secara luas untuk menentukan tingkat pencemaran oleh senyawa organik dari suatu air limbah domestik maupun air limbah industri. Sedangkan COD adalah banyaknya oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi senyawa organik, sehingga dapat dikatakan parameter COD sebagai parameter untuk mengetahui konsentrasi senyawa organik yang dapat dioksidasi oleh oksidator kuat dalam suasana asam.

Data yang didapat dari hasil analisa pemeriksaan sampel diolah dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

- Efisiensi penyisihan konsentrasi zat organik dengan rumus :

$$\eta = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

(pers .3-1)

Keterangan:

η = Efisiensi (%)

C_o = Konsentrasi influen (mg/L)

C_e = Konsentrasi efluen (mg/L)

- Kinetika reaksi **Germain formula**

Mengembangkan rumus eksponensial berdasarkan tingkat pembuangan limbah untuk reaksi orde satu, seperti di bawah ini:

$$\frac{S_e}{S_i} = \text{Exp} [-k_20 \frac{D}{q^n}]$$

(pers. 3-2)

$$\ln \frac{S_e}{S_i} = -k_20 \frac{D}{q^n}$$

$$k = k_20 \times (1,0350^{T-20})$$

Keterangan:

S_e = total BOD₅ of settled effluent, mg/L

S_i = total BOD₅ of wastewater applied to filter, mg/L

K₂₀ = treatability constant corresponding to depth of filter at 20⁰C

D = depth, m

Q = hydraulic loading rate, m³/m².day

n = exponent constant of media, usually 0,5

k = rate constant, /day

(Shun Dar Lin, 2001)

- Kinetika reaksi **Eckenfelder formula**

mengembangkan rumus eksponensial berdasarkan tingkat pembuangan limbah untuk reaksi orde satu, seperti di bawah ini:

$$S_e/S_i = \text{Exp} [-k.D/q^n]$$

(pers. 3-3)

Keterangan:

S_e = Effluent soluble BOD₅, mg/L

S_i = Influent soluble BOD₅, mg/L

k = new rate constant, per hari

D = depth of media, m

q = influent volumetric flow rate

$$= Q/A$$

Q = influent flow, m³/d

A = the area of filter, m²

n = empirical constant based on filter media biasanya

(Shun Dar Lin, 2001)

- NRC formula (National Research Council)

$$E = \frac{100}{1 + 0.0561 \sqrt{W/VF}} \tag{pers 3-4}$$

Keterangan:

E = Efficiency of BOD removal for first stage at 20⁰C Including recirculation and sedimentation, %

W = BOD loading to filter, kg/d or lb/d

V = Volume of filter media, m³ or 1000 ft³

F = Recirculation factor

(Shun Dar Lin, 2001)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian ini merupakan analisis pengolahan limbah domestik dengan menggunakan bioreaktor *Trickling Filter*. Limbah cair domestik IPAL Bojongsong memiliki karakteristik pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.1 Karakteristik limbah domestik IPAL Bojongsong

No	Parameter	Satuan	Konsentrasi
1.	COD	mg/L	285
2.	BOD	mg/L	156
3.	pH	-	6,2
4.	Temperatur	°C	26
5.	Total N	mg/L	30,07
6.	Total P	mg/L	5,8

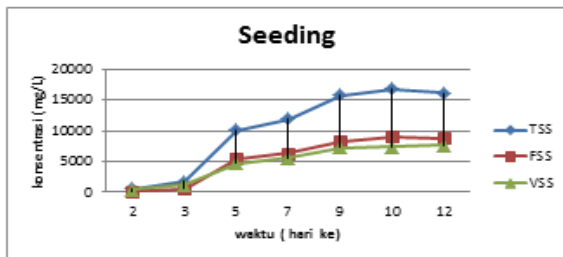
Sumber: Analisis laboratorium

Biomassa dalam bioreaktor *Trickling Filter* dengan media bambu terdapat dua jenis, yaitu biomassa melekat dan biomassa tersuspensi. Pembahasan hasil penelitian ini ditekankan pada biomassa melekat pada media bambu karena bioreaktor *Trickling Filter* termasuk kedalam pengolahan limbah cair secara biologi dengan biakan pertumbuhan melekat (*attached growth processes*).

Tabel 4.2 Konsentrasi MLVSS pada saat pembiakan bakteri

No	Hari Ke	Cawan Kosong	Oven 105°C	Furnace	TSS	FSS	VSS
1	2	27.8515	27.8640	27.8541	625	130	495
2	3	31.0916	31.1255	31.1028	1784	589.5	1195
3	5	32.4780	32.6774	32.5845	10070	5425	4645
4	7	52.4977	52.7342	52.6235	11825	6290	5535
5	9	27.8545	28.1760	28.0302	16075	8785	7290
6	10	31.4476	31.7611	31.6131	15675	8275	7400
7	12	41.9942	42.3116	42.1859	16705	9037	7668

Sumber: Analisa Laboratorium



Gambar 4.1 Grafik pertumbuhan biomassa pada saat pembiakan bakteri (*seeding*)

Dari terlihat bahwa pertumbuhan mikroorganisme pada saat pembiakan bakteri tumbuh dengan cepat pada hari ke 5 MLVSS mencapai 4645 mg/L dan hari ke 9 MLVSS mencapai 7290 mg/L. mulai hari ke 9 samapai hari ke 12 pertumbuhan mikroorganisme konstan hingga mencapai MLVSS 7668 mg/L.

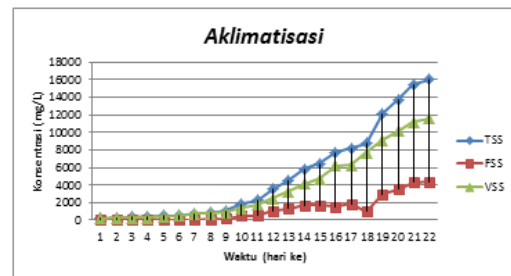
Mikroorganisme tumbuh subur mulai pada hari ke-5, dimana selama pembiakan bakteri yang berasal dari *sludge* limbah domestik yang akan diolah diberi makan glukosa sebanyak 0,4 gram/liter setiap harinya, sehingga mikroorganisme mempunyai nutrisi yang cukup untuk sintesa selnya.

Pertumbuhan Biomassa Pada Saat Pembentukan Biofilm (Aklimatisasi)

Tabel 4.3 Konsentrasi MLVSS biomassa tersuspensi pada saat pembentukan biofilm

Hari Ke	Cawan Kosong	Oven 105	Furnace	TSS	FSS	VSS
1	19.8755	19.8775	19.8757	200	20	180
2	22.0405	22.0430	22.0406	250	10	240
3	22.5401	22.5435	22.5409	340	80	260
4	21.2978	21.302	21.2989	420	110	310
5	31.0918	31.0969	31.0924	510	60	450
6	21.8220	21.8273	21.8221	530	10	520
7	19.8746	19.8819	19.8748	730	20	710
8	19.0473	19.0557	19.0481	840	80	760
9	31.4474	31.4582	31.4494	1080	200	880
10	31.0899	31.1087	31.0946	1880	470	1410
11	29.5794	29.6021	29.5842	2270	480	1790
12	27.8518	27.8872	27.8625	3540	1070	2470
13	42.4819	42.5276	42.4948	4570	1290	3280
14	40.8845	40.9427	40.9012	5820	1670	4150
15	30.9637	31.0278	30.9805	6410	1680	4730
16	32.0584	32.1358	32.0741	7740	1570	6170
17	26.2406	26.3223	26.2993	8170	1870	6300
18	40.7617	40.8487	40.7713	8700	960	7740
19	27.4384	27.5598	27.4683	12140	2990	9150
20	46.0925	46.2294	46.1276	13690	3510	10180
21	41.6545	41.8093	41.6976	15480	4310	11170
22	26.6589	26.8189	26.7029	16000	4400	11600

Sumber: Analisa Laboratorium



Gambar 4.2 Grafik pertumbuhan biomassa tersuspensi pada saat pembentukan biofilm

Dari tabel 4.3 dan grafik 4.2 terlihat hasil MLVSS bahwa mikroorganisme mulai melekat pada bambu hari ke-10 dengan hasil MLVSS 1410 mg/L dan mulai terlihat ketebalan biofilm pada bambu hari ke-22 dengan hasil MLVSS mencapai 11.600 mg/L.

Pembentukan biofilm ini dilakukan selama 22 hari, ketebalan biofilm dilihat secara manual dengan penglihatan mata terbuka. Selama pembentukan biofilm nutrisi yang diberikan hanya glukosa saja karena kandungan N dan P pada *sludge* limbah cukup.

Data Analisis Aklimatisasi pada Bioreaktor *Trickling Filter* dengan Sistem Batch

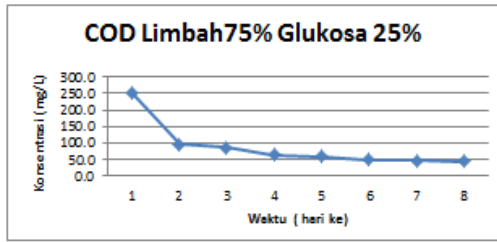
Tahapan aklimatisasi pada penelitian ini dilakukan 3 tahap, meliputi:

1. Tahap pertama glukosa 50% dan limbah asli 50%
2. Tahap kedua glukosa 25% dan limbah asli 75%
3. Tahap ketiga limbah asli 100%

Tabel 4.4 Hasil COD aklimatisasi glukosa 50% dan limbah asli 50%

Hari Ke	Vol. Blanko	Vol. Titrasi		COD Total mg/L		Rata-Rata
		1	2	1	2	
0	1.70	0.90	0.91	256.0	252.8	254.4
1	1.70	1.40	1.40	96.0	96.0	96.0
2	1.70	1.42	1.43	89.6	86.4	88.0
3	1.70	1.49	1.50	67.2	64.0	65.6
4	1.70	1.52	1.51	57.6	60.8	59.2
5	1.70	1.54	1.55	51.2	48.0	49.6
6	1.70	1.55	1.55	48.0	48.0	48.0
7	1.70	1.56	1.55	44.8	48.0	46.4

Sumber: Analisis Laboratorium



Gambar 4.4 Grafik hasil COD aklimatisasi glukosa 25% dan limbah asli 75%

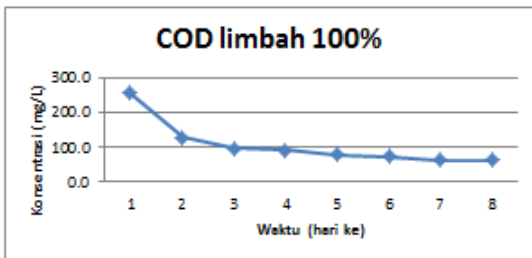
2. Tahap ketiga limbah asli 100%

Tabel 4.6 Hasil COD aklimatisasi limbah asli 100 %

Hari Ke	Vol. Blanko	Vol. Titrasi		COD Total mg/L		Rata-Rata
		1	2	1	2	
0	1.70	0.90	0.9	256.0	256.0	256.0
1	1.70	1.30	1.30	128.0	128.0	128.0
2	1.70	1.40	1.40	96.0	96.0	96.0
3	1.70	1.40	1.42	96.0	89.6	92.8
4	1.70	1.45	1.45	80.0	80.0	80.0
5	1.70	1.46	1.48	76.8	70.4	73.6

6	1.70	1.50	1.50	64.0	64.0	64.0
7	1.70	1.50	1.50	64.0	64.0	64.0

Sumber: Analisis Laboratorium



Gambar 4.5 Grafik hasil COD aklimatisasi limbah asli 100%

Aklimatisasi dilakukan dengan sistem batch, dimana bertujuan agar bakteri dapat menyesuaikan diri (adaptasi) dengan lingkungan baru untuk dapat hidup dengan baik. Aklimatisasi dilakukan 3 tahap penyesuaian dengan cara pemberian nutrisi dan limbah yang akan diolah. Dari tahap 1 ke tahapan berikutnya dilihat sampai kondisi tunak, kondisi dimana nilai efisiensi untuk parameter zat organik terlarut stabil, penyisihan COD ± 10%.

Dapat dilihat pada tabel 4.4 sampai 4.6 dan grafik 4.3 sampai 4.5 dimana hasil COD aklimatisasi 3 tahap terus menurun dari hari ke-1 hingga ke-7 stabil penyisihan COD ± 10%. Aklimatisasi dengan sistem batch ini memudahkan bakteri menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya.

Analisis Kinerja Bioreaktor Trickle Filter

Kinerja bioreaktor Trickle Filter dalam mengolah limbah domestik digambarkan dengan nilai efisiensi penyisihan COD dan BOD. Data nilai – nilai tersebut untuk analisis kinerja reaktor berasal dari 2 titik sampling yaitu titik influen dan titik effluen reaktor.

Analisis Kinerja Bioreaktor Trickle Filter dalam Penyisihan COD

Analisis kinerja dengan beban organik dan pH 6 yang sesuai dengan limbah asli pada ketebalan media bambu 30 cm.

Tabel 4.7 Hasil pemeriksaan COD dengan beban organik dan pH 6 yang sesuai dengan limbah asli pada ketebalan media bambu 30 cm.

Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	COD inlet (mg/L)	COD outlet (mg/L)	COD Removal (%)
16	1	289.6	241.6	16.57
32	2	289.6	273.6	5.52
48	3	289.6	240.0	17.13
64	4	289.6	220.8	23.76
80	5	289.6	208.0	28.18
96	6	289.6	185.6	35.91
112	7	289.6	174.4	39.78
128	8	289.6	112.0	61.33
144	9	289.6	80.0	72.38
160	10	289.6	72.0	75.14
176	11	289.6	70.4	75.69
192	12	289.6	70.4	75.69

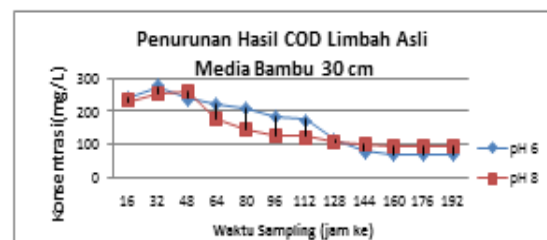
Sumber: Analisis Laboratorium

Analisis kinerja dengan beban organik sesuai limbah asli dan pH dinaikkan 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Tabel 4.8 Hasil pemeriksaan COD dengan beban organik sesuai limbah asli dan pH dinaikkan 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

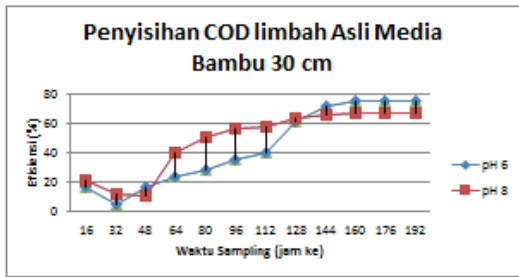
Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	COD inlet (mg/L)	COD outlet (mg/L)	COD Removal (%)
16	1	292.8	230.4	21.31
32	2	292.8	256.0	12.57
48	3	292.8	260.8	10.93
64	4	292.8	176.0	39.89
80	5	292.8	144.0	50.82
96	6	292.8	128.0	56.28
112	7	292.8	124.8	57.38
128	8	292.8	107.2	63.39
144	9	292.8	99.2	66.12
160	10	292.8	96.0	67.21
176	11	292.8	96.0	67.21
192	12	292.8	96.0	67.21

Sumber: Analisis Laboratorium



Gambar 4.6 Grafik penurunan konsentrasi COD limbah asli pH 6 dan pH 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Grafik pada gambar 4.6 menunjukkan penurunan COD pada pH 8 lebih cepat daripada pH 6. Pada kondisi pH 8 penurunan terjadi pada waktu tinggal 64 jam sedangkan pada kondisi pH 6 penurunan terjadi pada waktu tinggal 128 jam. Hal ini dikarenakan pada kondisi pH 8 ada penambahan zat kimia yaitu natrium karbonat yang bertujuan untuk menaikkan pH pada air limbah. Dengan penambahan natrium karbonat ini secara tidak langsung menjadi sumber nutrisi untuk mikroorganisme dalam reaktor.



Gambar 4.7 Grafik efisiensi penyisihan COD limbah asli pH 6 dan pH 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Grafik pada gambar 4.7 menunjukkan efisiensi penyisihan COD pada kondisi pH 6 lebih tinggi daripada kondisi pH 8. Pada kondisi pH 6 didapat efisiensi penyisihan COD 75,69% sedangkan pada kondisi pH 8 efisiensi penyisihan COD 67,21%.

Dilihat dari penurunan COD dimana kondisi pH 8 lebih cepat menurunkan COD daripada pH 6, bukan berarti efisiensi penyisihan lebih tinggi pada kondisi pH 8. Hal ini terjadi karena kinerja mikroorganisme pada bioreaktor lebih efektif pada kondisi pH 6.

Analisis kinerja dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) dan pH 6 sesuai limbah asli pada ketebalan media bambu 30 cm.

Tabel 4.9 Hasil pemeriksaan COD dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) dan pH 6 sesuai limbah asli pada ketebalan media bambu 30 cm.

Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	COD inlet (mg/L)	COD outlet (mg/L)	COD Removal (%)
16	1	112	131.2	0.00
32	2	112	156.8	0.00
48	3	112	124.8	0.00
64	4	112	112.0	0.00
80	5	112	81.6	27.14
96	6	112	64.0	42.86
112	7	112	38.4	65.71
128	8	112	38.4	65.71
144	9	112	35.2	68.57
160	10	112	35.2	68.57
176	11	112	33.0	70.54
192	12	112	33.0	70.54

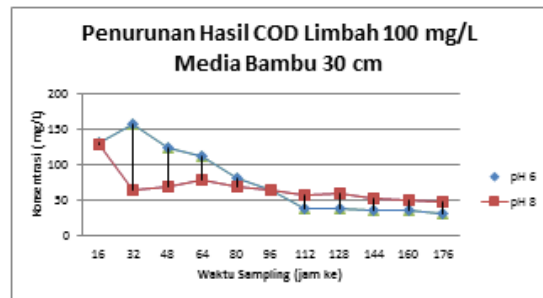
Sumber: Analisis laboratorium

Analisis kinerja dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) dan pH dinaikkan 8 pada ketebalan media bambu 30cm.

Tabel 4.10 Hasil pemeriksaan COD dengan beban organik sesuai limbah asli dan pH dinaikkan 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	COD Inlet (mg/L)	COD Outlet (mg/L)	COD Removal (%)
16	1	121.6	128.0	0.00
32	2	121.6	64.0	47.37
48	3	121.6	70.4	42.11
64	4	121.6	80.0	34.21
80	5	121.6	70.4	42.11
96	6	121.6	64.0	47.37
112	7	121.6	57.6	52.63
128	8	121.6	60.8	50.00
144	9	121.6	52.8	56.58
160	10	121.6	49.6	59.21
Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel ke	COD Inlet (mg/L)	COD Outlet (mg/L)	COD Removal (%)
176	11	121.6	48.0	60.53
192	12	121.6	48.0	60.53

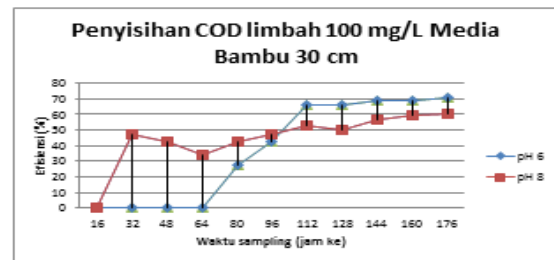
Sumber: Analisis Laboratorium



Gambar 4.8 Grafik penurunan konsentrasi COD dengan limbah 100 mg/L kondisi pH 6 dan pH 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Grafik pada gambar 4.8 menunjukkan penurunan COD pada air limbah yang mengandung beban organik sesuai limbah asli dan yang diencerkan lebih rendah menjadi 100 mg/L sama saja yaitu pada kondisi pH 8 lebih cepat dari pada pH 6. Pada kondisi pH 8 penurunan terjadi pada waktu tinggal 32 jam sedangkan pada kondisi pH 6 penurunan terjadi pada waktu tinggal 80 jam.

Hal ini dikarenakan pada kondisi pH 8 ada penambahan zat kimia yaitu Natrium Karbonat yang bertujuan untuk menaikkan kondisi pH pada air limbah. Dengan penambahan Natrium Karbonat ini secara tidak langsung menjadi sumber nutrisi untuk mikroorganisme dalam reaktor.



Gambar 4.9 Grafik efisiensi penyisihan COD dengan limbah 100 mg/L kondisi pH 6 dan pH 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Grafik pada gambar 4.9 menunjukkan efisiensi penyisihan COD pada air limbah yang mengandung beban organik sesuai limbah asli dan yang diencerkan lebih rendah menjadi 100 mg/L sama saja yaitu pada kondisi pH 6 lebih tinggi daripada kondisi pH 8.

Pada pH 8 jam ke 16 belum ada penyisihan zat organik sedangkan pada pH 6 jam ke 16 sampai jam ke 64 belum ada penyisihan. Hal ini disebabkan dengan waktu tinggal yang pendek mikroorganisme belum maksimal bekerja dalam menguraikan zat organik karena semakin lama waktu tinggal akan memberi banyak kesempatan pada mikroorganisme untuk menguraikan zat organik yang terkandung dalam limbah.

Pada pH 6 didapat efisiensi penyisihan COD 70,54% sedangkan pada pH 8 efisiensi penyisihan COD 60,53%. Dilihat dari penurunan COD dimana kondisi pH 8 lebih cepat menurunkan COD daripada pH 6, bukan berarti efisiensi penyisihan lebih tinggi pada kondisi pH 8. Hal ini terjadi karena kinerja mikroorganisme pada bioreaktor lebih efektif pada kondisi pH 6.

Analisis kinerja bioreaktor *Trickling Filter* pada ketebalan media bambu 10cm dengan beban organik sesuai limbah asli dan debit 10 liter/jam

Tabel 4.11 Hasil pemeriksaan COD dengan beban organik sesuai limbah asli dan debit 10 L/jam pada ketebalan media bambu 10 cm.

Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	COD inlet (mg/L)	COD outlet (mg/L)	COD Removal (%)
16	1	272.0	337.6	0.00
32	2	272.0	369.6	0.00
48	3	272.0	288.0	0.00
64	4	272.0	176.0	35.3
80	5	272.0	164.4	39.6
96	6	272.0	144.0	47.1
112	7	272.0	134.4	50.6
128	8	272.0	134.4	50.6
144	9	272.0	134.4	50.6

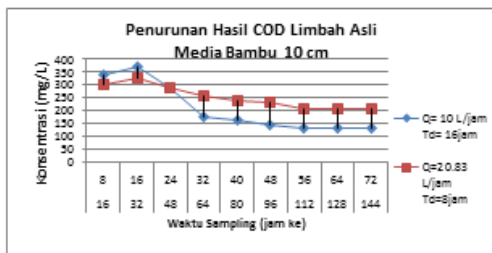
Sumber: Hasil analisis laboratorium

Analisis kinerja bioreaktor *Trickling Filter* pada ketebalan media bambu 10cm dengan beban organik sesuai limbah asli dan debit 20,83 liter/jam

Tabel 4.12 Hasil pemeriksaan COD dengan beban organik sesuai limbah asli dan debit 20,83 L/jam pada ketebalan media bambu 10 cm.

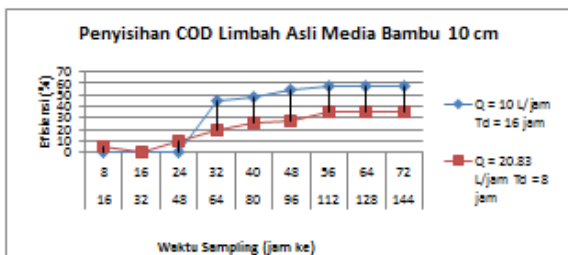
Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	COD inlet (mg/L)	COD outlet (mg/L)	COD Removal (%)
8	1	272.0	304.0	0.00
16	2	272.0	326.4	0.00
24	3	272.0	288.0	0.00
32	4	272.0	256.0	5.88
40	5	272.0	240.0	11.76
48	6	272.0	233.6	14.12
56	7	272.0	208.0	23.53
64	8	272.0	208.0	23.53
72	9	272.0	208.0	23.53

Sumber: Hasil analisis laboratorium



Gambar 4.10 Grafik penurunan konsentrasi COD limbah asli dengan debit 10 L/jam dan 20,83 L/jam pada ketebalan media bambu 10 cm.

Grafik pada gambar 4.10 menunjukkan penurunan konsentrasi COD lebih besar terjadi pada $Q_1 = 10$ L/jam dibandingkan pada $Q_2 = 20,83$ L/jam. Hal ini karena debit pada Q_1 lebih kecil dan waktu tinggal pun lebih lama sedangkan debit pada Q_2 lebih besar dan waktu tinggal pun lebih cepat, sehingga kontak antara air limbah dan biofilm semakin berkurang.



Gambar 4.11 Grafik efisiensi penyisihan COD limbah asli dengan debit 10 L/jam dan 20,83 L/jam pada ketebalan media bambu 10 cm.

Grafik pada gambar 4.11 menunjukkan efisiensi penyisihan pada $Q_1 = 10$ L/jam lebih besar dibandingkan dengan pada

$Q_2 = 20,83$ L/jam. Hal ini disebabkan semakin kecil debit dengan waktu tinggal yang lama akan mengakibatkan besarnya waktu kontak antara air limbah yang akan diolah dengan media biofilm, sehingga waktu yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikan senyawa – senyawa organik akan lebih lama. Sedangkan semakin besar debit (waktu tinggal : singkat) mengakibatkan kecilnya waktu kontak antara air limbah dengan media biofilm sehingga waktu yang dibutuhkan bakteri untuk menguraikan senyawa – senyawa organik akan lebih kecil.

Pada pH 8 jam ke 8 sampai jam ke 24 belum ada penyisihan sedangkan pH 6 jam ke 16 sampai jam ke 48 belum ada penyisihan. Hal ini disebabkan dengan waktu tinggal yang pendek mikroorganisme belum maksimal bekerja dalam menguraikan zat organik karena semakin lama waktu tinggal akan memberi banyak kesempatan pada mikroorganisme untuk menguraikan zat organik yang terkandung dalam limbah.

Efisiensi yang dihasilkan cukup kecil hal ini terjadi karena ketebalan media bambu hanya 10 cm dari *underdrain* dan secara otomatis media biofilm pun hanya sedikit, sehingga sangat berpengaruh pada penguraian senyawa – senyawa organik. Karena media bambu yang sedikit maka kinerja bakteri untuk menguraikan senyawa – senyawa organik pun berkurang.

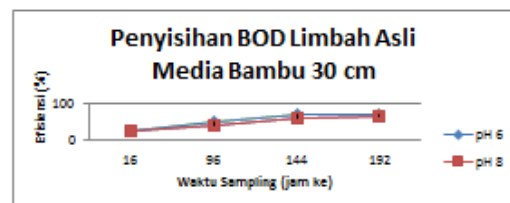
Analisis kinerja bioreaktor *Trickling Filter* dalam Penyisihan BOD

Analisis kinerja dengan beban organik dan pH 6 sesuai limbah asli pada ketebalan media bambu 30 cm.

Tabel 4.13 Hasil pemeriksaan BOD dengan beban organik dan pH 6 sesuai limbah asli pada ketebalan media bambu 30 cm.

Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	BOD inlet (mg/L)	BOD outlet (mg/L)	BOD Removal (%)
16	1	135	98.0	27.41
96	2	135	65.0	51.85
144	3	135	40.8	69.78
192	4	135	37.8	72.00

Sumber: Analisis laboratorium



Gambar 4.13 Grafik efisiensi penyisihan BOD limbah asli pH 6 dan pH 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Grafik pada gambar 4.13 menunjukkan efisiensi penyisihan BOD lebih tinggi pada kondisi pH 6 yaitu 72,00% dan pada kondisi pH 8 yaitu 64,69%. Hal ini terjadi karena kinerja bakteri pada media biofilm dalam rektor lebih efektif pada kondisi pH 6.

Analisis kinerja dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) dan pH 6 sesuai limbah asli pada ketebalan media bambu 30 cm.

Tabel 4.15 Hasil pemeriksaan BOD dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) dan pH 6 sesuai limbah asli pada ketebalan media bambu 30 cm.

Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	BOD inlet (mg/L)	BOD outlet (mg/L)	BOD Removal (%)
16	1	65	62.7	3.54
96	2	65	44.0	32.31
144	3	65	28.0	56.92
192	4	65	20.3	68.77

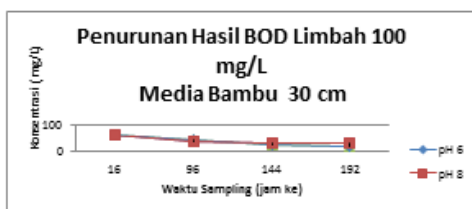
Sumber: Analisis laboratorium

Analisis kinerja dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) dan pH dinaikkan 8 pada ketebalan media bambu 30cm.

Tabel 4.16 Hasil pemeriksaan BOD dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) dan pH dinaikkan 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	BOD inlet (mg/L)	BOD outlet (mg/L)	BOD Removal (%)
16	1	66.5	60.5	9.02
96	2	66.5	38.0	42.86
144	3	66.5	32.0	51.88
192	4	66.5	29.0	56.39

Sumber: Analisis laboratorium



Gambar 4.14 Grafik penurunan konsentrasi BOD dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) kondisi pH 6 dan pH 8 pada ketebalan media bambu 30 cm.

Grafik pada gambar 4.15 menunjukkan efisiensi penyisihan BOD dengan beban organik lebih rendah dari limbah asli (100 mg/L) yaitu efisiensi penyisihan BOD lebih tinggi pada kondisi pH 6 yaitu 68.77% dan pada kondisi pH 8 yaitu 56.39%. Hal ini terjadi karena kinerja bakteri pada media biofilm dalam reaktor lebih efektif pada kondisi pH 6.

Analisis kinerja bioreaktor Trickle Filter pada ketebalan media bambu 10 cm dengan beban organik sesuai limbah asli dan debit 10 liter/jam

Hasil pemeriksaan BOD dengan beban organik sesuai limbah asli dan debit 10 L/jam pada ketebalan media bambu 10 cm.

Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	BOD inlet (mg/L)	BOD outlet (mg/L)	BOD Removal (%)
16	1	132	97.4	26.21
80	2	132	77.6	41.21
144	3	132	60.0	54.55

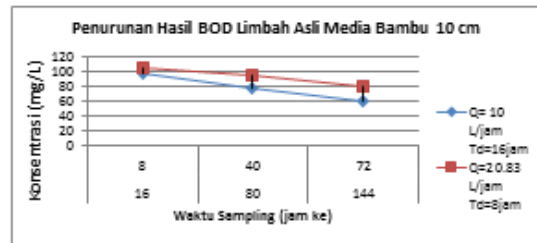
Sumber: Analisis laboratorium

Analisis kinerja bioreaktor Trickle Filter pada ketebalan media bambu 10 cm dengan beban organik sesuai limbah asli dan debit 20,83 liter/jam

Tabel 4.18 Hasil pemeriksaan BOD dengan beban organik sesuai limbah asli dan debit 20,83 L/jam pada ketebalan media bambu 10 cm.

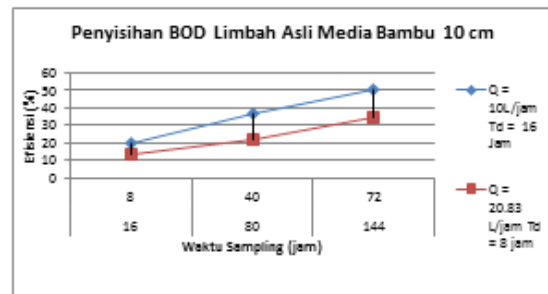
Waktu Sampling (Jam ke-)	Sampel Ke	BOD inlet (mg/L)	BOD outlet (mg/L)	BOD Removal (%)
8	1	132	105.4	20.15
40	2	132	95.6	27.58
72	3	132	79.8	39.55

Sumber: Analisis laboratorium



Gambar 4.16 Grafik penurunan konsentrasi BOD limbah asli dengan debit 10 L/jam dan 20,83 L/jam pada ketebalan media bambu 10 cm.

Grafik pada gambar 4.16 menunjukkan penurunan konsentrasi BOD pada Q1 = 10 L/jam terjadi pada waktu tinggal 40 jam dan Q2 = 20,83 L/jam terjadi pada waktu tinggal 80 jam.



Grafik efisiensi penyisihan BOD limbah asli dengan debit 10 L/jam dan 20,83 L/jam pada ketebalan media bambu 10 cm. Grafik pada gambar 4.17 menunjukkan efisiensi penyisihan BOD pada Q1 = 10 L/jam lebih besar dibandingkan dengan pada Q2 = 20,83 L/jam. Pada Q1 efisiensi mencapai 54,55% sedangkan pada Q2 mencapai 39,55%. Hal ini juga menunjukkan bahwa pengaruh waktu tinggal di dalam reaktor sangat besar. Semakin kecil debit dengan waktu tinggal lebih lama akan mengakibatkan lamanya waktu kontak antara air limbah yang akan diolah dengan media biofilm, sehingga konsentrasi zat organik yang diuraikan oleh bakteri semakin banyak.

Efisiensi yang dihasilkan cukup kecil hal ini terjadi karena kedalaman biofilm hanya 10 cm dari *underdrain* dan secara otomatis media biofilm pun hanya sedikit, sehingga sangat berpengaruh pada penguraian senyawa – senyawa organik. Karena media biofilm yang sedikit maka kinerja bakteri untuk menguraikan senyawa – senyawa organik pun berkurang.

Analisa Total N dan P

Konsep dasar mikroorganisme dalam proses Trickle Filter adalah nilai laju spesifik tergantung pada konsentrasi salah satu nutrisi yang dibutuhkan untuk pertumbuhan. Nutrien ini dapat berupa N, P dan lain – lain. Sedangkan kebutuhan N dan P untuk limbah yang bersifat biodegradable biasanya sudah terpenuhi dari limbahnya sendiri.

Tabel 4.19 Hasil Analisa Kandungan Nitrogen dan Fosfor

No	Jenis sampel	Kandungan N (mg/L)	Kandungan P (mg/L)
1.	Limbah asli pH 6	34,55	6,5
2.	Limbah asli pH 8	40,05	7,8
3.	Limbah encer pH 6	19,87	3,2
4.	Limbah encer pH 8	22,75	4,7

Sumber: Analisis Laboratorium

Berdasarkan Metcalf & Eddy Chapter 3 Hal186, 2007 kualitas kimia limbah cair domestik yang baik, rentang konsentrasi nitrogen yaitu 20 – 70 mg/L dan konsentrasi fosfor 4 – 12 mg/L. Dilihat dari tabel 4.20 hasil analisa konsentrasi nitrogen dan fosfor berada pada rentang kualitas baik limbah cair domestik. Sehingga tidak ada penambahan nutrient unsur N dan P karena limbah domestik yang akan diolah sudah mengandung cukup konsentrasi nitrogen dan fosfor nya.

Perhitungan Kecepatan Pembebanan Organik

Maksud dari perhitungan BOD load adalah untuk mengetahui berapa besar air menanggung beban BOD atau COD dalam pengolahan air limbah domestik tersebut. Adapun BOD atau COD load yang ideal secara aerobik umumnya sekitar 0,4 – 0,6 kg BOD atau COD/m³ reaktor, apabila BOD atau COD load < 0,4 g/l hari menunjukkan mikroorganisme kurang aktif dikarenakan kekurangan makanan. Dan apabila BOD atau COD load > 0,6 g/l hari menunjukkan bahwa mikroorganisme terlalu gemuk sehingga sukar untuk mengadakan aktifitas. *Benefield & Randall* (1980)

Rumus perhitungan BOD atau COD load :

$$\text{Massa BOD} = Q \text{ (m}^3\text{/day)} \times \text{BOD (mg/L)} \times 1000 \text{ (L/m}^3\text{)} \times 10^{-6} \text{ (kg/mg)}$$

$$\text{Organik Loading Rate (OLR) BOD} = \frac{\text{Massa BOD (kg/day)}}{\text{Luas Reaktor (m}^2\text{)}}$$

Hasil perhitungan dari setiap penelitian dapat dilihat pada tabel 4.20

Perhitungan *Organik Loading Rate* untuk setiap penelitian

Beban organik limbah asli					
Kondisi	Debit (Q) (m ³ /hari)	BOD (mg/L)	Luas Reaktor (m ²)	Massa BOD (Kg/d)	OLR (Kg BOD/m ² .d)
pH 6	0.25	135	0.25	0.0338	0.135
pH 8	0.25	130	0.25	0.0325	0.130
Beban organik limbah 100 mg/L					
Kondisi	Debit (Q) (m ³ /hari)	BOD (mg/L)	Luas Reaktor (m ²)	Massa BOD (Kg/d)	OLR (Kg BOD/m ² .d)
pH 6	0.25	65	0.25	0.0163	0.065
pH 8	0.25	62	0.25	0.0155	0.062
Variasi debit					
Kondisi	Debit (Q) (m ³ /hari)	BOD (mg/L)	Luas Reaktor (m ²)	Massa BOD (Kg/d)	OLR (Kg BOD/m ² .d)
pH 6	0.25	132	0.25	0.0330	0.132
pH 6	0.5	132	0.25	0.0660	0.264

Sumber: Hasil penelitian

Dari tabel 4.20 diatas terlihat bahwa setiap penelitian mempunyai *Organik Loading Rate* ideal yaitu 0,08 – 0,32 kg BOD/m².hari. Hal ini menunjukkan bahwa dalam reaktor

memiliki mikroorganisme yang aktif dan tidak kekurangan makanan.

Identifikasi Mikroorganisme Pada Biomassa

Dalam proses *Trickling Filter*, bakteri merupakan mikroorganisme yang terpenting sebab mempunyai kemampuan mendekomposisi senyawa organik. Dari hasil observasi diketahui bahwa dengan semakin bertambahnya umur sel rata – rata dan mikroorganisme mulai memproduksi polimer ekstraseluler yang akhirnya membentuk kapsul dalam lapisan lumpur.

Dalam proses pembiakan bakteri untuk pengolahan limbah domestik menggunakan bioreaktor *trickling filter* ini diidentifikasi biomassa tersuspensi. Dalam biomassa tersuspensi terdapat bakteri aerob yaitu *Aeromonas hydrophyla*, *Aerobacter aerogenes*. Sedangkan pada biomassa terlekat di media bambu terdapat bakteri aerob yaitu *Aeromonas hydrophyla*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.

Sifat dari jenis bakteri yang teridentifikasi termasuk bakteri aerob, dimana jenis bakteri aerob ini mampu hidup pada air rentang pH 5,2 – 9,8. Bakteri jenis aerob lebih efektif hidup pada kondisi pH mendekati netral yaitu 6 – 7, bakteri aerob tidak mampu tumbuh pada pH lebih rendah dari 4 atau lebih tinggi dari 10. (*Hazen et al., 2011*).

Morfologi mikroorganisme yang teridentifikasi:

- ✓ *Aeromonas hydrophyla*
Menurut Afrianti (1992) menyatakan bahwa klasifikasi *Aeromonas hydrophyla* sebagai berikut:
Filum : *Protophyta*
Kelas : *Schizomycetes*
Ordo : *Pseudanondeles*
Family : *vibrionaceae*
Genus : *Aeromonas*
Spesies : *Aeromonas hydrophila*
Aeromonas hydrophila merupakan bakteri heterotrophic unicellular, tergolong protista prokariot yang dicirikan dengan adanya membran yang memisahkan inti dengan sitoplasma. Bakteri ini biasanya berukuran 0,7-1,8 x 1,0-1,5 µm dan bergerak menggunakan sebuah polar flagel .Hal ini diperkuat oleh yang menyatakan bahwa *Aeromonas hydrophila* bersifat dapat bergerak dengan flagela tunggal di salah satu ujungnya.
- ✓ *Aerobacter aerogenes*
Berdasarkan pembagian yang dilakukan oleh Bergey, klasifikasi dari *Aerobacter aerogenes* sebagai berikut :
Kingdom : *Bacteria*
Phylum : *Proteobacteria*
Kelas : *Gammaproteobacteria*
Ordo : *Enterobacteriales*
Family : *Enterobacteriaceae*
Genus : *Aerobacter*
Spesies : *Aerobacter aerogenes*
Aerobacter aerogenes merupakan bakteri gram negatif yang berbentuk basil, dengan ukuran 0,6 – 1,0 µm x 1,2 – 3,0 µm, motil, tidak membentuk spora, berkapsul, dan memiliki flagel.
- ✓ *Escherichia coli*
Superdomain : *Phylogenetica*

Filum : *Proterobacteria*
 Kelas : *Gamma Proteobacteria*
 Ordo : *Enterobacteriales*
 Family : *Enterobacteriaceae*
 Genus : *Escherichia*
 Species : *Escherichia coli*

E. Coli dari anggota family Enterobacteriaceae. Ukuran sel dengan panjang 2,0 – 6,0 µm dan lebar 1,1 – 1,5 µm. Bentuk sel dari bentuk seperti coocal hingga membentuk sepanjang ukuran filamentous. Tidak ditemukan spora.. *E. Coli* batang gram negatif. Selnya bisa tunggal, berpasangan, dan dalam rantai pendek, biasanya tidak berkapsul. Bakteri ini aerobik dan dapat juga aerobik fakultatif. *E. Coli* merupakan penghuni normal usus, seringkali menyebabkan infeksi.

✓ *Pseudomonas aeruginosa*

Ciri-ciri *Pseudomonas aeruginosa* yaitu bersel satu, berbentuk basil, streptobasil, flagel lofotrik yaitu mempunyai lebih dari satu flagel pada salah satu ujungnya, bakteri heterotrof, hidup berkoloni, bersifat oksidatif. Morfologinya memiliki flagel yang berfungsi sebagai alat pergerakan dan berinding tipis (*Biology of Microorganisms, Brock, Eight Edition*)

Analisis Kinetika Bioreaktor *Trickling Filter*
Penentuan Parameter dan Koefisien Kinetika

Parameter kinetika yang didapat ditentukan dari penelitian ini merupakan parameter kinetik dari model kesetimbangan neraca masa substrat. Model penentuan ini berdasarkan atas persamaan **Monod** (laju pertumbuhan biomassa), yang dikembangkan secara analogi ke laju penggunaan substrat (*Grady & Lim 1980*).

Nilai koefisien Y, k, kd, Ks, mempunyai pengaruh pada perencanaan proses *Trickling Filter*. Nilai ini bergantung dari karakteristik air limbah. Secara garis besar pengujian laboratorium diperoleh dengan reaktor percobaan pada konsentrasi MLVSS yang berbeda adalah seperti pada tabel 4.21 dibawah ini :

Data hasil analisa laboratorium untuk penentuan koefisien kinetika

Beban organik limbah asli						
Kondisi	Debit (Q) (ml/menit)	Td (jam)	X (Biomassa) (mg/l)	So (BOD influen) (mg/l)	Se (BOD efluen) (mg/l)	So - Se (mg/l)
pH 6	167	16	25000	135	37.8	97.2
pH 8	167	16	25000	130	45.9	84.1
Beban organik limbah 100 mg/l						
Kondisi	Debit (Q) (ml/menit)	Td (jam)	X (Biomassa) (mg/l)	So (BOD influen) (mg/l)	Se (BOD efluen) (mg/l)	So - Se (mg/l)
pH 6	167	16	25000	65	20.3	44.7
pH 8	167	16	25000	62	25	37

Variasi Debit						
Kondisi	Debit (Q) (ml/menit)	Td (jam)	X (Biomassa) (mg/l)	So (BOD influen) (mg/l)	Se (BOD efluen) (mg/l)	So - Se (mg/l)
pH 6	167	16	25000	122	60	62
pH 6	347	8	25000	122	79.8	42.2

Sumber: Hasil Analisa Laboratorium

Perhitungan Kinetika Reaksi

1) Eckenfelder Formula

Eckenfelder (1963) mengembangkan rumus exponential berdasarkan tingkat pembuangan limbah untuk reaksi orde satu:

$$Se/Si = \text{Exp} [-k.D/q^n]$$

(pers. 2-3)

(*Shun Dar Lin, 2001*)

Keterangan:

Se = *Effluent soluble BOD₅*, mg/L

Si = *Influent soluble BOD₅*, mg/L

k = *new rate constant*, per hari

D = *depth of media*, m

q = *influent volumetric flow rate*

= Q/A

Q = *influent flow*, m³/d

A = *the area of filter*, m²

n = *empirical constant based on filter media* biasanya

Tabel 4.22 Data hasil perhitungan parameter kinetika laju reaksi berdasarkan **Eckenfelder Formula**

No	Penelitian	Nilai k (per hari)
1.	Limbah asli pH 6, D = 30 cm	4,1574
2.	Limbah asli pH 8, D = 30 cm	3,8001
3.	Limbah encer (100 mg/L) pH 6, D = 30 cm	3,4001
4.	Limbah encer (100 mg/L) pH 8, D = 30 cm	2,9660
5.	Variasi Q1 = 10 L/jam, D = 10 cm	6,9510
6.	Variasi Q2 = 20,83 L/jam, D = 10 cm	6,0042

Dari hasil perhitungan kinetika **Eckenfelder Formula** didapat hasil :

- ✓ Laju reaksi limbah asli (300 mg/L) lebih besar daripada limbah encer (100 mg/L), hal ini dikarenakan konsentrasi limbah sangat mempengaruhi dalam laju reaksi mikroorganisme. Banyaknya partikel dalam limbah memungkinkan banyaknya tumbukan, dan itu membuka peluang semakin banyak tumbukan semakin efektif kinerja mikroorganisme dalam reaktor.
- ✓ Laju reaksi limbah pH 6 lebih besar daripada limbah pH 8, hal ini dikarenakan pH sangat mempengaruhi dalam laju reaksi mikroorganisme. Dimana mikroorganisme dalam reaktor *Trickling Filter* lebih efektif pada pH 6. Sesuai dengan teori (Hazen et all,2011), bakteri aerob tumbuh baik pada rentang pH antara 4 – 9,5 dengan nilai pH yang optimum 6 – 7,5 merupakan lingkungan yang sesuai.
- ✓ Laju reaksi media bambu 10 cm lebih besar daripada media bambu 30 cm, hal ini dikarenakan beban hidrolis pada kedalaman media bambu 10 cm adalah 0,066 Kg/hari lebih besar dari kedalaman media bambu 30 cm = 0,033 Kg/hari. Fenomena lepasnya biofilm dari media disebut sebagai *sloughing* dan hal ini fungsi dari beban organik dan beban hidrolis pada *Tricking Filter* tersebut. Beban hidrolis memberikan kecepatan daya gerus biofilm,

sedangkan beban organik memberikan kontribusi pada laju metabolisme dalam biofilm.

Tabel 4.25 Data hasil perhitungan F/M Ratio.

No	Penelitian	F/M
1.	Limbah asli pH 6, D = 30 cm	$3,86 \times 10^{-3}$
2.	Limbah asli pH 8, D = 30 cm	$3,71 \times 10^{-3}$
3.	Limbah encer (100 mg/L) pH 6, D = 30 cm	$1,86 \times 10^{-3}$
4.	Limbah encer (100 mg/L) pH 8, D = 30 cm	$1,77 \times 10^{-3}$
5.	Variasi Q1 = 10 L/jam, D = 10 cm	$3,49 \times 10^{-3}$
6.	Variasi Q2 = 20,83 L/jam, D = 10 cm	$7,26 \times 10^{-3}$

F/M yang tinggi menunjukkan kinerja mikroorganisme kurang baik, karena sisa substrat dalam reaktor masih banyak. Dilihat dari hasil F/M yang tinggi pada konsentrasi limbah asli (300 mg/L) debit 20,83 L/jam menunjukkan kinerja mikroorganisme tidak efektif karena debit tinggi waktu kontak limbah dengan mikroorganisme singkat. Sedangkan hasil F/M pada limbah asli (300 mg/L) sekitar $3,9 \times 10^{-3}$ dan pada limbah encer (100 mg/L) hasil F/M setengahnya dari limbah asli yaitu $1,9 \times 10^{-3}$.

KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

1. *Trickling Filter* pada limbah domestik ini menghasilkan penyisihan zat organik untuk COD mencapai 75,69% dan untuk BOD mencapai 72,00% yaitu pada variasi Beban Organik Limbah asli (300 mg/L), pH limbah asli (pH 6), kedalaman biofilm 30 cm.
2. Dalam proses pembiakan bakteri untuk pengolahan limbah domestik menggunakan bioreaktor *trickling filter* ini diidentifikasi biomassa tersuspensi. Dalam biomassa tersuspensi terdapat bakteri aerob yaitu *Aeromonas hydrophyla*, *Aerobacter aerogenes*. Sedangkan pada biomassa terlekat di media bambu terdapat bakteri aerob yaitu *Aeromonas hydrophyla*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*.
3. Hasil parameter kinetika *Trickling Filter* yaitu laju reaksi (k) berdasarkan **Eckenfelder Formula** untuk reaksi orde satu yaitu limbah asli dengan kedalaman 30 cm pH 6 k = 4,1574/hari dan pH 8 k = 3,8001/hari ; limbah encer (100 mg/L) pH 6 k = 3,4001/hari dan pH 8 k = 2,9660/hari ; variasi limbah asli dengan kedalaman 10 cm Q1 10 L/jam k = 6,9510/hari dan Q2 20,83 L/jam k = 6,0042/hari.
Dilihat dari hasil kinetika laju reaksi penyisihan zat organik dalam pengolahan limbah domestik dengan *Trickling Filter*. Kinerja mikroorganisme paling efektif ada pada limbah asli (300 mg/L) dengan pH asli (pH 6) dan kedalaman media bambu 30 cm.

DAFTAR PUSTAKA

Crites, Ron & Tchobanoglous. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management System*. Mc.Graw-Hill Inc.New York.

Kadlec, R.H., and R.L. Knight. (1996). *Treatment Wetlands*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.

Haberl, R., R. Perfler, J. Laber & P. Cooper. (1996). *Wetland Systems for Water Pollution Control*.

Metcalf & Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. Fourth Edition, International Edition, McGraw-Hill, New York.

Metcalf & Eddy. (1993). *Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse*. McGraw-Hill Comp.

U.S. EPA (1988). Design Manual Constructed Wetlands for Municipal Wastewater Treatment, US EPA CERL, Cincinnati, OH 45268.

Permenkes 1204/Menkes/PerXII/2004, Mengatur Tentang *Persyaratan Kesehatan Lingkungan Rumah Sakit*.

Kepmen KLH 58/1995, Mengatur Tentang *Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Rumah Sakit*.

Khiauddin, Maulida. (2010). *Melestarikan Sumber Daya Air dengan Teknologi Rawa Buatan*. Edisi Kedua, Gajah Mada University Pers, Yogyakarta.

Sugiharto. (1987). *Dasar-dasar pengelolaan air limbah*. UI-Press. Jakarta.

Sasongko, Djoko, Ray. K. Linsley & Joseph. B. Franzani. (1991). *Teknik Sumber Daya Air*. Edisi Tiga. Penerbit: Erlangga. Jakarta.

Koentjaraningrat. (1980). *Metode-Metode Penelitian Masyarakat*. PT. Gramedia. Jakarta.

Arikunto, Suharsimi. (1984). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktek*. PT. Rineka Cipta. Jakarta.

Rahayu, Suparni Setyowati., Purnavita, S (2008). *Kimia Industri*. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah. Departemen Pendidikan Nasional.

Kamariah, S (2006). *Subsurface Flow And Free Water Surface Flow Constructed Wetland With Magnetic Field For Leachate Treatment*. Tugas Akhir Teknik Sipil-Universitas Teknologi Malaysia.

Sonie, Rakhmi. (2007). *Pengolahan Efluen ABR (Anaerobic Buffled Reactor) Dengan Rekayasa Aliran Pada Constructed Wetland*. Tugas Akhir TL-ITB, Bandung.