

PENURUNAN BAHAN ORGANIK AIR LIMBAH INDUSTRI PERMEN DENGAN MENGGUNAKAN REAKTOR PACKED BED BERDASARKAN VARIASI WAKTU TINGGAL

Titiresmi

Peneliti di Balai Teknologi Lingkungan
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Abstrak

Kandungan organik tinggi dari air limbah akan efisien dihilangkan digunakan bioreaktor gabungan, proses aerobik diikuti dengan proses aerobik. Dalam penelitian ini skala laboratorium percobaan bioreaktor packed bed didirikan. Air Limbah yang dipasang dalam penelitian ini diperoleh dari buangan dari air limbah proses aerobik PT Van Melle Indonesia. Karakteristik air limbah yang keruh, BOD / COD rasio 0,3-0,5 dan kandungan COD dalam kisaran 10.000 - 30.000 mg / L. Dari sudut pandang biodegradabilitas, pengobatan mikrobiologi akan memberikan keuntungan lebih dari pada kimia atau pengolahan fisik. Langkah awal yang meliputi pengayakan dan aklimatisasi dijalankan untuk memperoleh populasi mikroba yang sesuai didalam bioreaktor packed bed. Langkah-langkah awal digunakan sistem batch sehingga mikroba yg berkembang akan melekat padauntuk mendukung bahan. Setelah itu mikroba yang tumbuh menyesuaikan diri dengan mengalirkan air limbah secara perlahan dan terus-menerus dan kolom. Percobaan menunjukkan bahwa efisiensi tertinggi, 96,55%, diperoleh waktu retensi selama 24 jam. Efisiensi ini menurun bersama dengan waktu retensi dan peningkatan kandungan organik. Hasil uji bioreaktor packed bed penuh dengan bahan pendukung cincin plastik mampu menghilangkan kandungan organik lebih dari 80%.

kata kunci: mikrobiologi, pembibitan, aklimatisasi, bioreaktor packed bed, air limbah

Abstract

High organic content of wastewater would be efficiently eliminated if combined bioreactor, anaerobic followed by aerobic processes, is utilized. In this study a laboratory scale trial of packed bed bioreactor was established. Wastewater used in this study was obtained from effluent of anaerobically processed wastewater of PT Van Melle Indonesia. Characteristics of the wastewater were turbid, BOD/COD ratio 0.3 – 0.5 and COD contents in the range 10,000 – 30,000 mg/L. From biodegradability point of view, microbiological treatment will provide more advantages than chemical or physical treatments. Preliminary steps that included seeding and acclimatization were run to obtain a suitable microbial population within the packed bed bioreactor. The preliminary steps utilized no flow batch column system as such the proliferated microbes will attach to support materials. Afterward the growing microbes were acclimated by flowing slowly and continually wastewater to the column. The trial showed that the highest efficiency, 96.55%, was obtained for 24 hours retention time. The efficiency was decreasing along with reducing the retention time and increasing the organic content. Results of test of packed bed bioreactor filled with plastic ring support material were capable of eliminating organic content more than 80%.

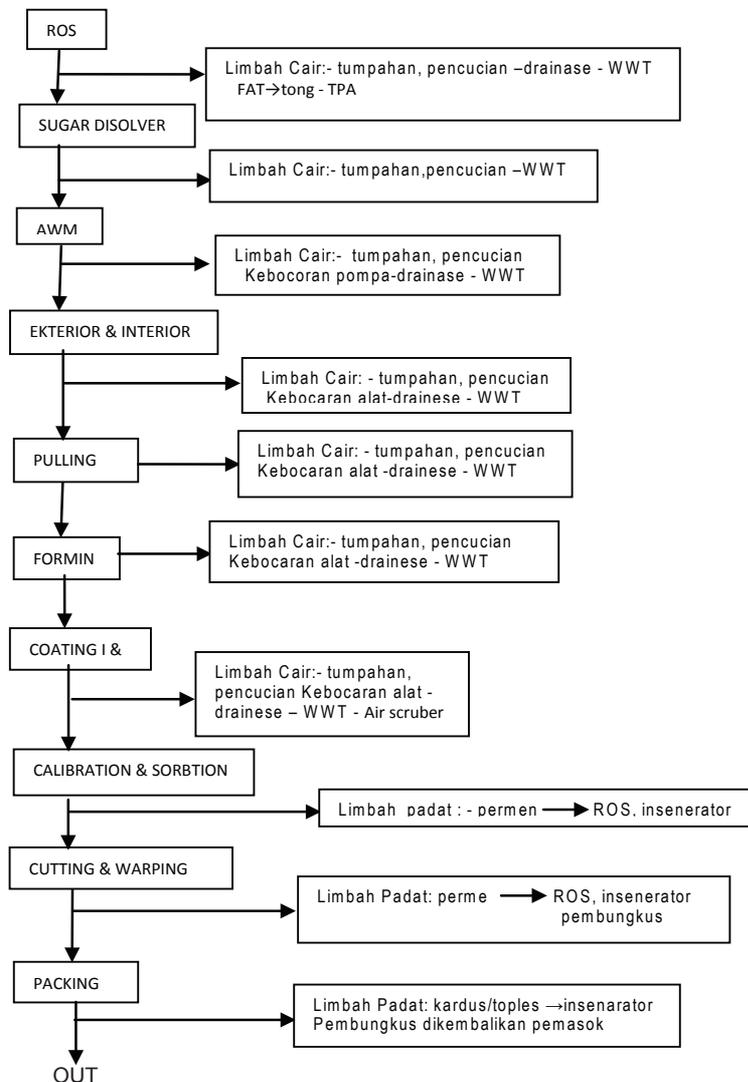
keywords: microbiology, seeding, acclimatization, packed bed bioreactor, wastewater

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Beragamnya jenis industri di Indonesia, menyebabkan beragam pula jenis limbah yang dihasilkan baik kualitas maupun kuantitasnya sehingga setiap jenis limbah baik padat, cair ataupun gas memerlukan pengelolaan sesuai dengan karakteristiknya guna mencegah terjadinya pencemaran lingkungan. Bagi kebanyakan industri, penanganan limbah adalah solusi mencari

kompromi antara dampak negative yang terjadi pada lingkungan akibat kegiatan industri tersebut dengan minimisasi biaya agar tidak berpengaruh terhadap biaya produksi. PT. Van Melle Indonesia merupakan salah satu industri permen yang menggunakan gula sebagai bahan baku utama sehingga berpotensi menghasilkan limbah dengan kandungan bahan organik tinggi dimana rasio BOD/COD berkisar 0,3 – 0,5 dan konsentrasi COD antara 10.000 – 30.000mg/l. Adapun sumber limbah tersebut dapat dilihat dari tahapan proses produksi pada Gambar 1.



Gambar 1. sumber limbah dari tahapan proses produksi PT. Van Melle Indonesia.

Penjelasan tahapan proses produksi adalah sebagai berikut :

1. ROS (*Rework of Sugar*), merupakan alat untuk mendaur ulang permen yang tidak lolos kualitasnya menjadi cairan kembali dengan cara pemanasan. ROS mempunyai beberapa bagian yaitu *disolver*, *filtrasi storage tank*, *preparation*.
2. *Sugar dissolver*, pada unit ini cairan gula dari ROS akan diberi tambahan gula kristal dan dipanaskan kembali.
3. *AWM (Automatic Weighing Machine)*, cairan gula akan diberi tambahan glukosa dan bahan-bahan lain sesuai dengan jenis kembang gula yang dibuat.
4. *Pulling dan forming* merupakan unit pengadukan dengan tujuan membuat kembang gula menjadi kenyal dan semua bahan-bahan tercampur rata dan diberi penambah rasa dan warna.
5. *Coating I*, alat pelapisan eksterior tahap I.
6. *Drying room*, didiamkan dalam ruang dengan suhu 30 – 40 °C selama 24 jam.
7. *Coating II*, pelapisan eksterior tahap II sehingga lapisan menjadi sempurna.
8. *Calibration & sortilation*, untuk memisahkan permen yang tidak lolos kualiti.
9. Pengepakan.

(Sumber : PT. Van Melle Indonesia, 1999).

Dilihat dari karakteristik limbah yang dihasilkan dengan kandungan bahan organik yang tinggi maka penggunaan bioreaktor gabungan anaerob – aerob adalah pilihan yang tepat karena lebih efisien. PT Van Melle Indonesia telah menggunakan sistem kombinasi tersebut, dimana proses anaerob yang digunakan adalah *anaerob biobed reactor model EGSB (Extended Granular Sludge Blanket)*, sedangkan proses aerob menggunakan sistem *activated sludge (extended aeration)*

Alternatif pengolahan limbah dengan kandungan bahan organik yang tinggi dapat secara mikrobiologis, yaitu memanfaatkan mikroorganisme untuk menguraikan senyawa organik dalam air limbah menjadi senyawa yang sederhana¹⁾. Sistem pengolahan biologis ini mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan sistem lain sehubungan dengan operasional, pemeliharaan dan efisiensi proses. Sedangkan kelemahannya adalah sering timbulnya *bulking sludge* yang mengganggu kinerja proses yang menyebabkan terganggunya pertumbuhan mikroorganisme.

Pada penelitian ini akan dilakukan uji coba pengolahan secara aerob dengan menggunakan reaktor *packed bed* skala laboratorium, yang dapat dipilih sebagai jenis reaktor lain untuk mengatasi masalah tersebut.

Kelebihan Reaktor *packed-bed* :

1. Dapat menguraikan bahan organik dan lebih tahan terhadap kejutan beban organik.
2. Dapat memanfaatkan sifat meningkatkan dan mempercepat pertumbuhan mikroorganisme pengurai yang akan mengkonsumsi bahan organik
3. Memberikan risiko cukup kecil dari efek terbuangnya biomassa (*washout*) dalam reaktor akibat gangguan proses sehingga biomassa akan tetap melekat pada media filter.
4. Proses pengolahan yang relatif stabil.

1.2. REAKTOR PACKED – BED

a) Jenis Reaktor Berdasarkan Proses Mikrobiologis

Reaktor *packed-bed* adalah salah satu jenis reaktor dengan menggunakan sistem aerobik biofilter dan merupakan bioreaktor lekat diam, dimana mikroorganisme akan

tumbuh dan berkembang di atas suatu media inert yang terbuat dari plastik atau batu, serta membentuk suatu lapisan lendir untuk melekatkan diri di atas permukaan media tersebut yang akhirnya membentuk lapisan biofilm²⁾. Proses yang terjadi di dalam reaktor *packed-bed* berlangsung dalam kondisi aerob dimana suplai oksigen diperlukan dalam proses ini.

Proses pengolahan air buangan secara mikrobiologis dapat berlangsung dalam tiga kondisi utama yaitu :

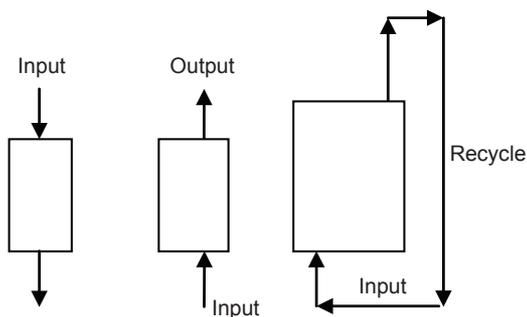
1. Lingkungan aerob, yaitu lingkungan dimana oksigen terlarut (DO) didalam air terdapat cukup banyak, sehingga oksigen bukan merupakan faktor pembatas.
2. Lingkungan anoksik, yaitu lingkungan dimana oksigen terlarut (DO) didalam air ada dalam konsentrasi rendah.
3. Lingkungan anaerob, merupakan kebalikan dari lingkungan aerob, yaitu tidak terdapat oksigen terlarut, sehingga oksigen menjadi faktor pembatas berlangsungnya proses metabolisme aerob.

Berdasarkan atas kondisi lingkungan pertumbuhan mikroorganisme yang berperan pada proses penguraian yang terjadi, reaktor dapat dibedakan menjadi dua bagian²⁾ yaitu :

1. Reaktor pertumbuhan tersuspensi (*Suspended Growth reactor*) dimana mikroorganisme yang berperan pada proses biologis tumbuh dan berkembangbiak dalam keadaan tersuspensi.
2. Reaktor pertumbuhan lekat (*attached growth reactor*), dimana mikroorganisme yang berperan pada proses penguraian substrat tumbuh dan berkembang diatas suatu media (*support*) dengan membentuk suatu lapisan lendir untuk melekatkan diri diatas permukaan media tersebut dan membentuk lapisan biofilm. (Metcalf & Eddy, 1991)

b. Jenis reaktor berdasarkan aliran

Menurut Chibata³⁾ reaktor *packed-bed* termasuk jenis reaktor aliran sumbat (*plug flow*). Gambar 2 menunjukkan jenis reaktor *packed-bed* yang banyak digunakan adalah a). *down flow* b). *up Flow* dan c). *recycle* (gambar 2). Dalam banyak kasus, reaktor *down flow* menyebabkan pemampatan dalam kolom sehingga *up flow* lebih umum digunakan.



a) Down flow b) up flow c) recycle

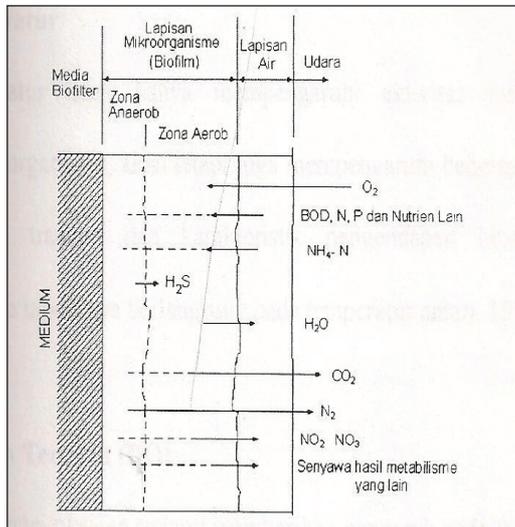
Gambar 2. Jenis reaktor *packed bed*

c. Proses Metabolisme Biofilm

Menurut Said (2001), mekanisme proses metabolisme didalam suatu biofilm secara aerob adalah seperti pada Gambar 3. Senyawa pencemar yang ada didalam air limbah misalnya senyawa organik (BOD,COD), ammonia, phosphor dan lainnya akan terdifusi kedalam lapisan biofilm yang melekat pada permukaan medium. Pada saat yang bersamaan dengan menggunakan oksigen yang terlarut didalam air limbah, senyawa pencemar tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme yang ada didalam lapisan biofilm, dan energi yang dihasilkan akan diubah menjadi biomasa⁴⁾.

Jika lapisan mikrobiologis cukup tebal, maka pada bagian luar lapisan mikrobiologis akan berada dalam kondisi aerob, sedangkan pada bagian dalam biofilm yang melekat pada medium akan berada dalam kondisi anaerobik. Pada kondisi anaerobik akan

terbentuk gas H_2S , dan jika konsentrasi oksigen terlarut cukup besar maka gas H_2S yang terbentuk tersebut akan diubah menjadi sulfat (SO_4) oleh bakteri sulfat yang ada didalam biofilm¹⁾.



Gambar 3. Mekanisme Proses Metabolisme

Pada zona aerob, nitrogen-ammonium akan diubah menjadi nitrit dan nitrat dan selanjutnya pada zona anaerob nitrat yang terbentuk mengalami proses denitrifikasi menjadi gas nitrogen. Karena didalam sistem biofilm terjadi kondisi anaerob dan aerob pada saat yang bersamaan, maka proses penghilangan senyawa nitrogen akan menjadi mudah⁵⁾.

d. Parameter penting dalam proses penguraian

1. pH

Randall (1980), menyatakan bahwa rentang pH yang paling luas (ekstrim) untuk proses pengolahan air buangan dan pertumbuhan bakteri adalah 4-9, dengan rentang pH optimum sekitar 6,5-7,5. Menurut Wilkinson yang dikutip oleh Randall (1980), pertumbuhan mikroorganisme terbaik pada pH yang mendekati basa, sedangkan algae dan fungi tumbuh baik pada pH yang mendekati asam⁶⁾

2. Temperatur

Temperatur tidak hanya mempengaruhi aktivitas metabolisme dari populasi mikroorganisme, akan tetapi juga mempengaruhi beberapa faktor seperti kecepatan gas transfer dan karakteristik pengendapan biosolid. Aktivitas mikroorganisme umumnya berlangsung pada temperatur antara $15^{\circ}C - 30^{\circ}C$.

3. Oksigen Terlarut (DO)

Konsentrasi oksigen terlarut memberikan pengaruh pada laju pertumbuhan bakteri aerobik dalam pengolahan secara mikrobiologis. Kehadiran oksigen terlarut dalam jumlah yang cukup sangat diperlukan untuk proses oksidasi dan sintesa sel. Oksigen dalam proses oksidasi ditujukan sebagai sumber elektron akseptor (Gaudy & gaudy, 1981;⁹⁾.

4. Nutrien

Disamping kebutuhan akan karbon dan energi, mikroorganisme juga membutuhkan nutrien bagi sintesa sel dan untuk pertumbuhan. Kebutuhan akan nutrien tersebut dinyatakan dalam bentuk perbandingan antara karbon dan nitrogen serta phosphor yang merupakan nutrien anorganik utama yang diperlukan mikroorganisme dalam bentuk $BOD:N:P = 100:5:1$ (Randall,1980)

5. Ketebalan Biofilm

Ketebalan biofilm merupakan hal terpenting dalam proses aerob. Ketebalan ini harus berada antara ketebalan total biofilm dan ketebalan biofilm aktif. Tidak seluruh tebal lapisan biofilm berperan dalam penyisihan substrat. Ketebalan biofilm yang berperan dalam penyisihan substrat disebut ketebalan biofilm aktif atau efektif.

Menurut Winkler(1981), ketebalan biofilm 0,1 – 0,2 mm merupakan kondisi yang mana respirasi aerob terjadi dengan baik. Bila ketebalan lapisan biofilm lebih dari 0,2 mm akan berakibat oksigen yang terdifusi ke dalam lapisan biofilm tidak

mencapai mikroorganisme yang berada dekat dengan media sehingga terbentuk suasana anaerob. Selain itu bila lapisan biofilm terlalu tebal akan berakibat materi organik yang diadsorbi selama air mengalir tidak mencapai mikroorganisme yang berada dekat media⁷⁾.

1.3. Tujuan penelitian

1. Menguji kemampuan reaktor *packed bed* dengan media cincin plastik untuk menyisihkan bahan organik dalam mengolah air buangan industri permen.
2. Mendapatkan waktu tinggal optimum terhadap penyisihan bahan pencemar organik.

2. METODOLOGI

2.1. Bahan

a. Mikroorganisme

Diambil dari bak aerasi instalasi pengolah limbah biologis PT. Van Melle Indonesia. Perbanyak mikroorganisme (*seeding*) dilakukan dalam reaktor secara batch agar mikroorganisme yang tumbuh dapat langsung melekat pada media. Apabila pertumbuhan mikroorganisme sudah cukup dan stabil maka dilanjutkan dengan proses aklimatisasi atau adaptasi mikroorganisme terhadap air limbah yang mengalir secara kontinu. Untuk memelihara pertumbuhannya, maka selama *seeding* ditambahkan oksigen dengan menggunakan aerator dan diberi nutrisi. Sedangkan untuk menjaga kestabilan media dan tingkat pertumbuhan mikroorganisme maka dilakukan pengukuran parameter pH, Suhu, COD, VSS, dan TSS.

b. Efluen

Setelah melalui proses pengolahan secara anaerob, kualitas air limbah efluen mengalami peningkatan yang ditunjukkan oleh nilai COD dari 3000 mg/l menjadi 1070

mg/l. Tabel 1 dibawah ini menunjukkan kadar kualitas air limbah efluen setelah proses anaerob.

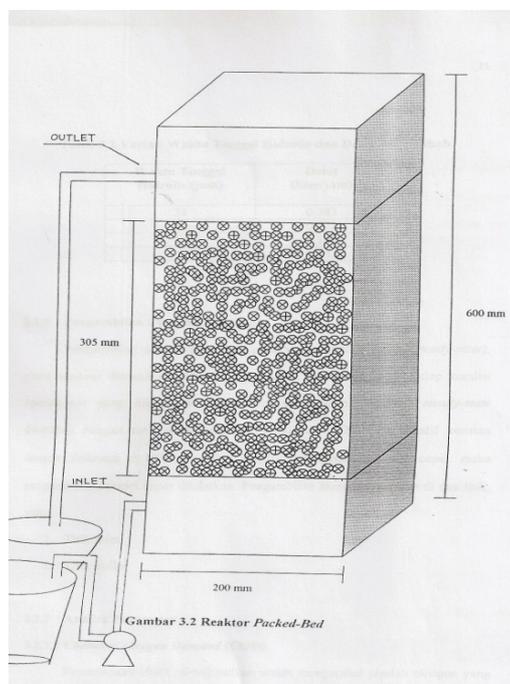
Tabel 1. Kadar kualitas air limbah efluen proses anaerob PT. Van Melle Indonesia

PARAMETER	SATUAN	HASIL ANALISA
TSS	mg/l	400
TDS	mg/l	3200
pH	mg/l	7.5
COD	mg/l	1070
BOD	mg/l	570
Total N	mg/l	12
Total P	mg/l	0.5

Sumber: Laboratorium Nusantara Water Center (2001)

2.2 Persiapan Reaktor

Model instalasi reaktor skala laboratorium yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini :



Gambar 4, reaktor *Packed Bed*

Sedangkan spesifikasi reaktor disajikan pada Table 2 dibawah ini :

Tabel 2. Spesifikasi Reaktor Feed back

URAIAN	KETERANGAN
Model reactor terbuat dari: • Tinggi • Luas alas	Bahan akrilik 600 mm 200 x 200 mm
Media pendukung: Tinggi tumpukan media Luas spesifik Warna	Cincin Plastik 305 mm 662 m ² /m ³ putih
Tangki reservoir: • Kapasitas • Bahan	15 L Plastik
Pompa: • Jenis	Peristaltik

2.3. Pengoperasian Reaktor

Penelitian ini dilakukan dengan mengoperasikan reactor secara kontinu untuk beberapa variasi waktu tinggal (WTH) yaitu 24 jam, 18 jam, 12 jam, dan 6 jam. Tabel 3 dibawah ini menunjukkan variasi waktu tinggal dan debit

Tabel 3. Variasi waktu tinggal dan debit Waktu Tinggal

Hidrolis (liter/jam)	Debit (Jam)
24	0.583
18	0.778
12	1.167
6	2.333

2.4 Pengambilan sampel

Dilakukan di dua titik yaitu inlet dan outlet. Sampel diambil pada keadaan dimana kemampuan pengolahan di reaktor untuk setiap kondisi operasional sudah berjalan konstan yang dapat diketahui dengan mengamati dengan besarnya penyisihan COD yang realtif konstan dengan fluktuasi +10%.

3. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN

Pada tahap pengoperasian, reaktor dioperasikan secara kontinu dan dilakukan

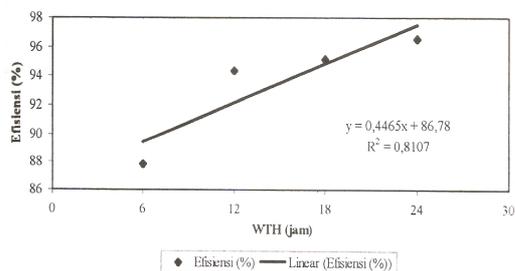
pengamatan pada setiap Waktu Tinggal Hidrolis (WTH) yang bervariasi, yaitu 24 jam, 18 jam, 12 jam, dan 6 jam. Tujuannya adalah untuk menguji kemampuan reaktor pakced-bed dalam menyisihkan bahan organik yang dinyatakan dalam COD yang terkandung dalam limbah permen. Pengambilan data pada penelitian ini adalah pada saat kondisi sistem di dalam reaktor sudah stabil. Kinerja reaktor *packed-bed* dalam menyisihkan bahan organik dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Penyisihan Bahan Organik Pada Reaktor *Packed-bed*

WTH (jam)	COD (mg/l)	Efisiensi (%)	
		Influen	Efluen
24	1301.53	47.56	35.95
	1110.48	96.35	96.76
Rata-rata	1206.005	41.755	96.55
18	1198.66	58	95.16
	1232.95	60.45	95.10
Rata-rata	1215.80	59.23	95.13
12	870.43	45.75	94.13
	757.75	45.75	93.96
Rata-rata	814.09	45.75	94.35
6	1078.53	131.22	87.83
	1074.06	129.73	87.92
Rata-rata	1076.295	130.475	87.88

Pada Tabel 4 terlihat bahwa efisiensi penyisihan bahan organik semakin lama semakin menurun sejalan dengan berkurangnya waktu tinggal hidrolis. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semakin pendek waktu tinggal hidrolis, yaitu dari 24 jam sampai dengan 6 jam, maka efisiensi penyisihan rata-rata bahan organik juga semakin berkurang, dari 96.55% sampai dengan 87,88%. Hal ini disebabkan karena semakin lama waktu tinggal hidrolis air limbah di dalam reaktor, maka semakin lama waktu kontak antara mikroorganisme (biofilm) dengan air limbah sehingga bakteri heterotrof dan autotrof semakin leluasa untuk mengoksidasinya.

Waktu kontak antara mikroorganismenya dengan air limbah yang mengandung bahan organik sangat berpengaruh pada proses penyerapan bahan organik dan oksidasi zat. Sedangkan grafik penyisihan bahan organik terhadap waktu tinggal hidrolis dapat dilihat pada gambar 4. Hubungan antara efisiensi penyisihan rata-rata bahan organik dengan waktu tinggal hidrolis dapat dilihat dengan melakukan analisa regresi, dimana koefisien determinasi yang diperoleh sebesar 0.8107.



Gambar 4.5 Grafik Penyisihan Bahan Organik Terhadap Waktu Tinggal Hidrolis

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dengan menggunakan reaktor packed-bed dan media cincin plastik terhadap proses penyisihan bahan organik dapat disimpulkan:

1. Tingkat efisiensi penyisihan tertinggi dicapai pada waktu tinggal 24 jam, yaitu sebesar 96,55%.
2. Waktu tinggal hidrolis (WTH) berpengaruh positif terhadap besarnya efisiensi penyisihan bahan organik, ditunjukkan pada nilai koefisien determinasi sebesar 0.8107.
3. Tingkat efisiensi penyisihan bahan organik menurun sejalan dengan penurunan waktu tinggal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada sdr. Pandan Nilasari serta kawan-kawan di Laboratorium Analitik dan laboratorium Proses, Balai Teknologi Lingkungan yang telah melakukan pengamatan dan analisa parameter uji. Juga kepada sdr Anto, sdr Diono, mbak Dwi dan mbak Ikha yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan tulisan ini

DAFTAR PUSTAKA

1. Djajadiningrat, A.H dan Wisjnu Prapto. 1990. *Bioreaktor Pengolahan Limbah Cair*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
2. Metcalf and Eddy 1991. *Wastewater Engineering, Treatment, Disposal*, Rouse, New York : MC Grow Hill
3. Chibata, I. 1978. *Immobilized Enzymes*, Kogansha, Tokyo
4. Said. Nusa Idaman, 2000. *Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter Anaerob-Aerob*. Jurnal Teknologi Lingkungan Vol 1 No.1/2: Jakarta.
5. Arvin, E and Herremoes. 1990. *Concept and Models For Biofilm Reactor Performance*. *Water Science Technology*, vol.22 no. 1/ 2 pp 171-192: London
6. Benefield, Larry D and Randall, Clifford. W. 1980. *Biological Processes Design For Wastewater Treatment*.
7. Winkler, M.A. 1981. *Biological treatment Of Wastewater*. West Sussex: John Willey and Sons
8. AWWA. 1989. *Standart Method For The Examination Of Water And Wastewater*, 15th ed. Washington.
9. Gaudy, C.P.L. & Lim, H.C. 1980. *Biological Waste water Treatment*. New York: Marcel Dekker, Inc