

# KINETIKA PROSES BIODEGRADASI ANAEROB AIR SAMPAH MENGGUNAKAN ALAT BIOREAKTOR BERPENYEKAT ANAEROB

Nunik Sri Wahjuni<sup>1)</sup>, Setyo Hadi Purnomo<sup>2)</sup>, Wida Banar Kusumaningrum<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret

<sup>2)</sup>Staf Pengajar Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret  
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta

**Abstract :** *Organic waste treatment using Sanitary Landfill method always generate the leachate of BOD and COD with high concentration. If leachate was directly thrown to the territorial water, it can contaminate the water and soil environments. Water be stinky and can't be used to drink or washing. Hence, it was needed treatment to reduce the organic compounds. The aims of this research were to reduce the organic compounds of the leachate, to know the optimum conditions in processing leachate using anaerobic bioreactor, and to get the kinetic constants of process the anaerobic biodegradation. It was used anaerobic bioreactor with anaerobic bacterium. This method was able to eliminate leachate with high organic substance burden and also able to reduce cost of process because the aeration equipments were not needed. It was used leachate from TPA Putri Cempo, Mojosongo. Leachate, as influent mixed with water in ratio 1:1, 1:2, and 1:3. This mixture were feed to anaerobic bioreactor with constant flow rate. The effluent then analyzed to obtain data of BOD<sub>5</sub> concentration. The optimum conditions in processing leachate using anaerobic bioreactor were residence time 2 days, influent at 1:3 ratio leachate to water, and the kinetic constants of process the anaerobic biodegradation were  $k = 3.5543/d$  ;  $k_s = 68.3714 \text{ mg/L}$  ;  $Y = 1.4753$  ;  $k_d = 0.49796/d$  and  $\mu_m = 5.243/d$ .*

**Keywords :** *leachate, BOD<sub>5</sub>, bioreactor, anaerobic process, kinetic constants*

## PENDAHULUAN

Di Tempat Pembuangan Akhir (TPA) limbah cair (leachate) yang berasal dari sampah sebenarnya sudah dilakukan proses pengolahan. Hasil penelitian pada tahun 1996 di TPA Putri Cempo Mojosongo, diperoleh hasil bahwa leachate tersebut masih mengandung zat pencemar (Besi, BOD, COD, Mangan, Krom, dan TDS) yang melewati ambang batas baku mutu air limbah yang ditetapkan pemerintah (Kep-03/MENKLH/II/1991) dengan kandungan tertinggi adalah BOD dan COD yaitu sebesar 2207.5 ppm dan 7456.74 ppm. (Wahjuni, 1996). Tingginya kadar BOD dan COD ini menunjukkan bahwa kegiatan dekomposisi bahan organik dan anorganik cukup tinggi baik secara kimiawi maupun secara hayati. Selama ini limbah sampah dibuang ke sungai yang banyak digunakan oleh penduduk. Buangan ini akan menimbulkan bau yang tidak enak dan menurunkan oksigen dalam air sungai. ( Mastuti, 2001).

Pengolahan sampah dengan sistem *Sanitary Landfill* selalu menimbulkan air sampah (leachate) yang mengandung BOD dan COD dengan konsentrasi tinggi. Apabila air sampah tersebut langsung dibuang ke perairan, maka

dapat mencemari lingkungan perairan dan juga tanah di sekitarnya. Kandungan bahan organik dalam air sampah, termasuk kandungan BOD dan COD dapat dikurangi dengan proses pengolahan limbah baik secara aerob maupun anaerob. Namun untuk konsentrasi bahan organik (BOD dan COD) yang terlalu tinggi, proses aerob kurang efektif.

Pengolahan limbah secara anaerobik memiliki beberapa keuntungan yaitu mampu mengolah air limbah dengan beban bahan organik yang tinggi, produksi lumpur relatif rendah karena sedikit saja senyawa organik yang dikonversikan menjadi biomassa, kebutuhan nutrien sedikit tidak diperlukan peralatan aerasi dan menghasilkan produk akhir yang berguna yaitu metana. (Iskamto, 2003). Selain itu dengan menggunakan proses anaerob laju reaksi lebih tinggi dibandingkan dengan proses aerobik, kegunaan dari produk akhirnya. (Rahayu, 1993). Kelemahannya adalah prosesnya lama, menghasilkan bau busuk dan bakterinya sangat peka terhadap bahan toksik. Penelitian ini mempelajari waktu tinggal dan konsentrasi limbah masuk reaktor (influen) yang optimum menggunakan alat Bioreaktor Berpenyekat secara anaerob serta untuk

**Kinetika Proses Biodegradasi Anaerob Air Sampah Menggunakan Alat Bioreaktor Berpenyekat Anaerob**

21

(Nunik Sri Wahjuni, Setyo Hadi Purnomo, Wida Banar Kusumaningrum)

menentukan konstanta kinetika proses biodegradasi anaerob air sampah pada alat bioreaktor berpenyekat.

### DASAR TEORI

Keberhasilan proses pengolahan akan sangat tergantung pada aktivitas biologik dari mikroba yang ada, sehingga perlu dirancang proses yang menjamin keberlangsungan pertumbuhan mikroba. Beberapa parameter yang sering digunakan dalam perancangan proses lumpur aktif, yaitu: waktu tinggal sel dan faktor pembebanan. Waktu tinggal lumpur (*Solid Retention Time*, SRT) didefinisikan sebagai waktu tinggal rata-rata mikroba di dalam sistem. SRT dikendalikan bertujuan untuk menjamin bahwa aktivitas biomassa dan konsentrasi biomassa dioptimasi dengan menetapkan kondisi lingkungan bioreaktor yang tepat karena laju penyisihan tergantung pada aktivitas dan konsentrasi biomassa di dalam sistem.

Faktor pembebanan organik volumetrik bermanfaat dalam menentukan ukuran sistem. Memilih laju pembebanan organik yang tepat dapat memberikan kualitas efluen yang memuaskan. Laju pembebanan organik tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar limbah cair dapat diproses perunit volume bioreaktor

Dalam pertumbuhannya sel mengubah sebagian substrat menjadi sel baru dan sebagian lain dioksidasi menjadi produk organik maupun anorganik. Hubungan antara kecepatan penggunaan substrat dan kecepatan pertumbuhan mikroorganisme adalah sebagai berikut :

$$r_g = \mu \cdot X \quad (1)$$

$$\mu = \mu_m \frac{S}{k_s + S} \quad (2)$$

Sehingga :

$$r_g = \frac{\mu_m \cdot X \cdot S}{k_s + S}$$

$$r_g = -Y \cdot r_{su}$$

$$r_{su} = -\frac{\mu_m \cdot S \cdot X}{Y(k_s + S)} \quad (3)$$

Umumnya  $\frac{\mu_m}{Y}$  diganti dengan k, sehingga :

$$r_{su} = -\frac{k \cdot X \cdot S}{k_s + S}$$

dengan :

$r_g$  = kecepatan pertumbuhan bakteri ,  
massa/volume.waktu

$\mu$  = kecepatan pertumbuhan spesifik , 1/waktu

X = konsentrasi mikroorganisme ,  
massa/volume

$\mu_m$  = kecepatan pertumbuhan spesifik  
maksimum , 1/waktu

S = konsentrasi substrat , massa/volume

$k_s$  = konstanta  $\frac{1}{2}$  kecepatan , yaitu konsentrasi  
substrat pada  $\frac{1}{2}$  kecepatan pertumbuhan  
maksimum , massa/waktu

Y = koefisien yield maksimum (ratio massa sel  
yang terbentuk terhadap massa substrat  
yang dikonsumsi)

$r_{su}$  = kecepatan penggunaan substrat , massa  
/volume.waktu

Dalam sistem pengolahan limbah tidak semua sel berada pada fase pertumbuhan, terdapat bakteri yang mati, atau dimangsa predator dan terdapat juga bakteri yang melakukan respirasi. Faktor ini menyebabkan menurunnya massa sel dan proporsional terhadap penurunan konsentrasi mikroorganisme yang ada. Penurunan ini biasa disebut *endogenous decay* yang dirumuskan sebagai berikut :

$$r_d = -kd \cdot X \quad (4)$$

dengan:

$r_d$  = kecepatan endogenous decay ,  
massa/volume.waktu

kd = koefisien endogenous decay , 1/waktu

Sehingga kecepatan pertumbuhan bersih (net growth) bakteri dirumuskan :

$$r'_g = r_g - r_d$$

$$r'_g = \frac{\mu_m \cdot X \cdot S}{k_s + S} - kd \cdot X \quad (5)$$

dengan :

$r'_g$  = kecepatan pertumbuhan bersih ,  
massa/volume.waktu

Besarnya efisiensi proses dirumuskan sebagai berikut :

$$eff = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad (6)$$

Dengan :

eff = efisiensi proses , %

S<sub>0</sub> = konsentrasi substrat dalam influen , mg/L

S = konsentrasi substrat dalam efluen , mg/L

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan bioreaktor berpenyekat anaerob dengan rangkaian seperti terlihat pada gambar 1. Air sampah yang digunakan berasal dari TPA Putri Cempo Mojosongo. Sedangkan lumpur aktif yang

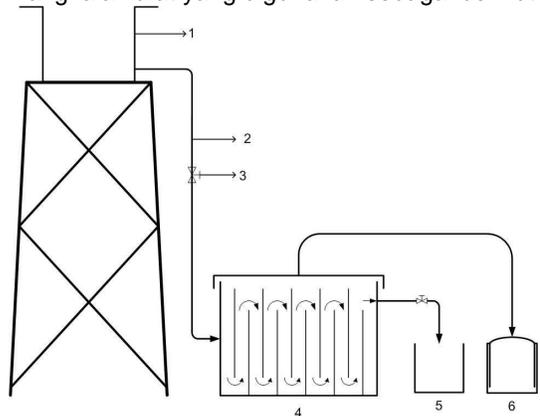
digunakan berasal dari kotoran sapi. Dalam kotoran sapi terdapat bakteri-bakteri yang dapat menguraikan kandungan organik dalam air sampah, misalnya bakteri *Ruminococcus albus*, *Methanobacterium ruminantium*, *Selemonomus ruminantium*, dan sebagainya.

Variasi konsentrasi limbah influen dilakukan dengan mencampurkan air sampah dengan air kran dengan perbandingan tertentu, yaitu 1/1 ; 1/2 ; 1/3. Laju alir limbah ditentukan dengan mengatur besar kecilnya kran pada pipa limbah masukan (influen).

Mula-mula lumpur aktif dimasukan ke dalam bioreaktor dengan volume kurang lebih setengah volume reaktor. Limbah dengan konsentrasi tertentu dimasukan kedalam bioreaktor dan ditunggu selama beberapa hari hingga mikroba dalam lumpur aktif tersebut siap. Hal ini ditandai dengan dihasilkannya gas metan dari dalam reaktor akibat aktivitas mikroba di dalamnya. Setelah mikroba dalam lumpur aktif dirasa siap, limbah dengan konsentrasi tertentu dialirkan ke dalam reaktor dengan laju alir tertentu pula.

Limbah keluaran (efluen) dari bioreaktor ditampung kemudian diukur nilai DO-nya dengan DO meter. Pengambilan sampel limbah efluén dilakukan setiap 12 jam. Penentuan konsentrasi BOD ditentukan berdasarkan nilai DO efluén.

Rangkaian alat yang digunakan sebagai berikut:



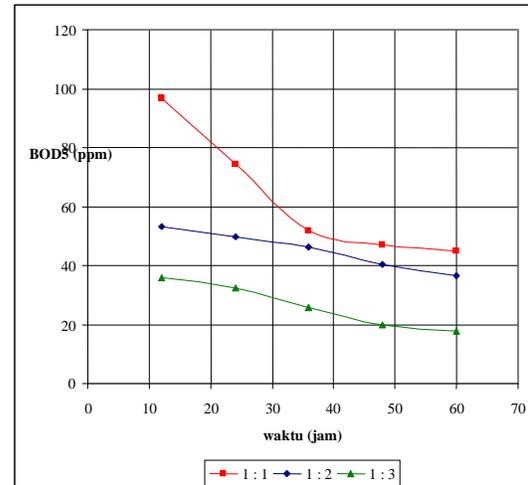
Keterangan :

1. Tangki influen
2. Pipa penyalur limbah
3. Kran pengatur laju alir
4. Bioreaktor berpenyekat anaerob
5. Tangki efluén
6. Tangki penampung gas

**Gambar 1 Rangkaian alat bioreaktor berpenyekat anaerob**

Data yang diperoleh pada penelitian ini adalah data DO limbah masukan dan keluaran. Berdasarkan data DO ini dapat ditentukan konsentrasi BOD<sub>5</sub> influen dan efluén. Berdasarkan data BOD<sub>5</sub> ini dapat ditentukan konstanta kinetika proses biodegradasi air sampah secara anaerob dan kondisi operasi yang memberikan efisiensi maksimum.

Dari percobaan dengan variasi konsentrasi influen dan laju alir tetap diperoleh grafik sebagai berikut:



**Gambar 2 Grafik hubungan waktu dengan konsentrasi BOD<sub>5</sub> efluén**

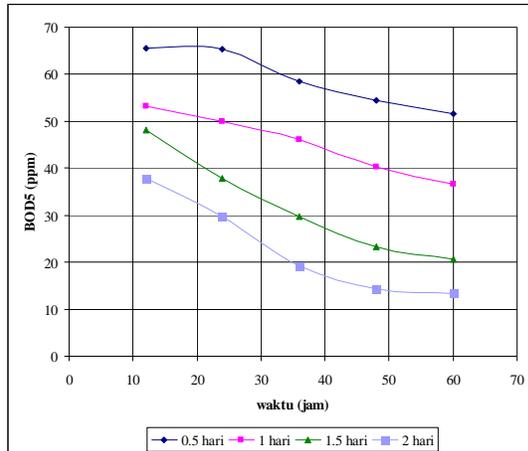
Dari grafik pada gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin lama konsentrasi BOD semakin turun karena diuraikan oleh mikroorganisme dalam lumpur aktif. Untuk waktu tinggal yang sama dan konsentrasi BOD<sub>5</sub> influen yang berbeda didapat efisiensi yang berbeda. Efisiensi maksimum dicapai untuk konsentrasi BOD<sub>5</sub> influen 190.8 ppm atau perbandingan limbah terhadap air = 1/3. Pada pembebanan organik yang tidak terlalu besar kerja mikroorganisme tidak terlalu berat, sehingga dapat menurunkan konsentrasi BOD<sub>5</sub> lebih optimal.

Sedangkan pada variasi waktu tinggal (laju alir berubah) dan konsentrasi influen tetap diperoleh grafik sebagai berikut:

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Kinetika Proses Biodegradasi Anaerob Air Sampah Menggunakan Alat Bioreaktor Berpenyekat Anaerob

(Nunik Sri Wahjuni, Setyo Hadi Purnomo, Wida Banar Kusumaningrum)



**Gambar 3** Grafik hubungan waktu dengan konsentrasi BOD<sub>5</sub> pada konsentrasi influen tetap

Dari gambar 3 dapat diketahui bahwa semakin lama waktu tinggal semakin kecil BOD<sub>5</sub> efluennya. Namun pada waktu tinggal 2 hari lebih cepat dicapai nilai BOD<sub>5</sub> yang konstan. Sedang pada waktu tinggal 0,5 ; 1 ; 1,5 hari titik konstannya lebih lama. Sehingga kondisi optimum untuk konsentrasi influen sama dan waktu tinggal berbeda adalah pada waktu tinggal 2 hari.

Penentuan konstanta kinetika proses biodegradasi air sampah secara anaerob dengan alat BIOPAN dapat ditentukan dengan variasi waktu tinggal dengan konsentrasi influen yang tetap. Untuk perhitungan digunakan konsentrasi efluen pada waktu 60 jam dengan asumsi sudah konstan, meskipun pada kenyataannya sangat sulit menentukan waktu konstannya.

Penentuan konstanta-konstanta kinetika proses biodegradasi anaerob air sampah dengan program Matlab™ diperoleh hasil sebagai berikut:

Koefisien	Basis	Nilai
k	1/hari	3.5543
ks	mg/L BOD <sub>5</sub>	68.3714
Y	mg VSS/mg BOD <sub>5</sub>	1.4753
kd	1/hari	0.49796
μ <sub>m</sub>	1/hari	5.2437

Nilai k atau sama dengan μ<sub>m</sub> /Y, yaitu sebesar 3.5543 /hari menunjukkan laju pertumbuhan bakteri maksimum 5.2437/hari pada perbandingan massa sel yang terbentuk terhadap massa substrat yang dikonsumsi 1.4753. Nilai ks menunjukkan konsentrasi substat

pada setengah kecepatan pertumbuhan bakteri maksimum sebesar 68.3714 mg/L. Nilai Y menunjukkan banyaknya sel bakteri terbentuk 1.4753 mg tiap mg BOD yang dikonsumsi bakteri. Nilai kd menunjukkan kecepatan kematian mikroorganisme tiap waktu, yaitu sebesar 0.49796.

### KESIMPULAN

Pada penelitian proses biodegradasi anaerob air sampah menggunakan alat Bioreaktor Berpenyekat, dapat disimpulkan bahwa: waktu tinggal optimum pada waktu tinggal 2 hari, konsentrasi influen optimum pada perbandingan limbah dengan air = 1:3, dan konstanta kinetika untuk sistem bioreaktor berpenyekat anaerob ini adalah sebagai berikut:

Koefisien	Basis	Nilai
k	1/hari	3.5543
ks	mg/L BOD <sub>5</sub>	68.3714
Y	mg VSS/mg BOD <sub>5</sub>	1.4753
kd	1/hari	0.49796
μ <sub>m</sub>	1/hari	5.2437

### DAFTAR LAMBANG

- r<sub>g</sub> = kecepatan pertumbuhan bakteri , massa/volume.waktu
- μ = kecepatan pertumbuhan spesifik , 1/waktu
- X = konsentrasi mikroorganisme , massa/volume
- μ<sub>m</sub> = kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum , 1/waktu
- S = konsentrasi substrat , massa/volume
- ks = konstanta ½ kecepatan , yaitu konsentrasi substrat pada ½ kecepatan pertumbuhan maksimum , massa/waktu
- Y = koefisien yield maksimum (ratio massa sel yang terbentuk terhadap massa substrat yang dikonsumsi)
- r<sub>su</sub> = kecepatan penggunaan substrat , massa /volume.waktu
- r<sub>d</sub> = kecepatan endogenous decay , massa/volume.waktu
- kd = koefisien endogenous decay , 1/waktu
- r'<sub>g</sub> = kecepatan pertumbuhan bersih , massa/volume.waktu
- eff = efisiensi proses , %
- S<sub>0</sub> = konsentrasi substrat dalam influen , mg/L
- S = konsentrasi substrat dalam efluen , mg/L

### DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, Adrianto, 2001, "Biodegradasi Limbah Cair Industri Minyak Sawit dalam Sistem Bioreaktor Anaerob", Disertasi-S3 ITB, Bandung

- Alaerts, Sumestri, S.S., 1987, "Metode Penelitian Air", Usaha Nasional, Surabaya
- Anonim, 2006, [www.dephut.go.id](http://www.dephut.go.id)
- Anonim, 2006, [www.ecn.purdue.edu](http://www.ecn.purdue.edu)
- Anonim, 2006, [www.humboldt.edu](http://www.humboldt.edu)
- Anonim, 2006, [www.oasisenviro.co.uk](http://www.oasisenviro.co.uk)
- Anonim, 2006, [www.petra.ac.id](http://www.petra.ac.id)
- Direktorat Pengembangan Laboratorium Rujukan dan Pengolahan Data Badan Pengendalian Dampak Lingkungan, 1994, Pengujian Kualitas Air Sumber dan Limbah Cair
- Fardiaz, Srikandi, 1992, "Polusi Air dan Udara", Penerbit Kanisius, Jakarta
- Ginting, Perdana, 1995, "Mencegah dan Mengendalikan Pencemaran Industri", Pustaka Sinar Harapan, Jakarta
- Iskamto, Bambang, 2003, "Peranan Mikroorganisme dalam Perbaikan Kualitas Limbah Cair Industri Monosodium Glutamat" Tesis S-2, UNS, Surakarta
- KLH, 1988, "Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Kep-03/MENKLH/II/1991 tentang Penetapan Baku Mutu Lingkungan", Sekretariat MENKLH, Jakarta.
- Madigan, M. T., 2000, "Brock Biology of Micro organisms", ninth edition, Prentice Hall Inc., New Jersey.
- Mastuti, E, Paryanto, 2001, "Pengolahan Alumunium Hidroksida dengan Gas Hidrogen Sulfida-Udara Yang Direaksikan Dalam Reaktor Unggun", Gema Teknik, vol 2, UNS Press, Surakarta
- Metcalf & Eddy, 1991, "Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse", 3<sup>rd</sup> ed., Mc Graw Hill.Inc, Singapore
- Outerbridge, T., 1991, "Limbah Padat di Indonesia Masalah atau Sumber Daya", Yayasan Obor Indonesia, Jakarta
- Rahayu, W.P., 1993, Penanganan Limbah Industri Pangan, Kanisius, Jakarta.
- Schroeder, E.D., 1977, Water and Wastewater Treatment, McGraw Hill, Inc., New York
- Soeriatmaja, R.E., 1997, Ilmu Lingkungan, Penerbit ITB, Bandung.
- Sumantri, I., dkk, 1998, "Pengolahan Limbah Cair Industri Batik dengan Bak Anaerobik Bersekat", [www.undip.ac.id](http://www.undip.ac.id)
- Tjokrokusumo, 1999, "Pengantar Engineering Lingkungan", Jilid 1, Sekolah Tinggi Teknik Lingkungan YLH, Yogyakarta.
- Wahjuni, N.S., 1996, "Pengaruh TPA terhadap Air Sumur Dangkal", Tesis S-2 UI, Jakarta