

LUMPUR AKTIF : ALTERNATIF PENGOLAH LIMBAH CAIR

Oleh : Ignasius DA. Sutapa¹

Abstrak

Pengolahan limbah dengan sistem lumpur aktif mulai dikembangkan di Inggris pada tahun 1914 oleh Arden dan Lockett, dan dinamakan lumpur aktif karena prosesnya melibatkan massa mikroorganisme yang aktif, dan mampu menstabilkan limbah secara aerobik. Istilah lumpur aktif diterapkan baik pada proses maupun padatan biologis di dalam unit pengolahan.

Efisiensi pengolahan limbah cair dengan sistem lumpur aktif sangatlah penting agar sistem tersebut dapat menyisihkan bahan pencemar sehingga efluen yang dikeluarkan memenuhi standar yang ditetapkan. Problem yang sering dihadapi adalah timbulnya fenomena bulking yang sangat menurunkan efektivitas pengolahan limbah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji kemampuan reaktor seri dalam menurunkan beban organik dan mencegah terjadinya bulking.

Kata kunci : lumpur aktif, limbah cair.

Pendahuluan

Air limbah (*waste water*) adalah air buangan dari masyarakat, rumah tangga, industri, air tanah, air permukaan serta buangan lainnya (Yoseph A.S. 1958). Limbah domestik adalah semua buangan yang berasal dari

kegiatan rumah tangga, apotik, rumah sakit, rumah makan, kegiatan perkantoran dan sebagainya. Secara kualitatif limbah tersebut terdiri atas zat organik, baik berupa padat atau cair, bahan berbahaya dan beracun, garam terlarut, dan bakteri, terutama bakteri *E. Coli*, jasad patogen dan

¹ *Peneliti Puslitbang Limnologi-LIPI, Cibinong.*

parasit. Sedangkan air limbah yang berasal dari pabrik, industri, pertanian, peternakan, perikanan, dan lain-lain disebut dengan limbah non domestik.

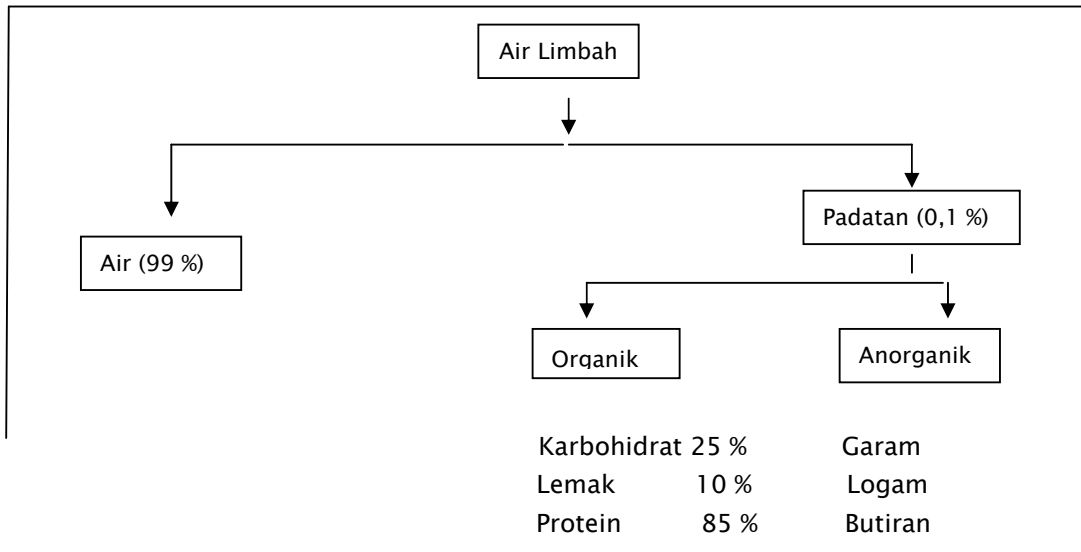
Kehadiran zat-zat organik yang terbawa oleh air limbah domestik dapat menyebabkan penurunan kandungan oksigen terlarut yang terdapat di dalam air sungai. Air sungai memerlukan kandungan oksigen terlarut minimum 5 ppm, yang berguna untuk menjaga kelangsungan hidup makhluk air seperti ikan dan mikroorganisme aerobik (Eckenfelder, 1989).

Air limbah yang masih baru umumnya berupa cairan keruh berwarna abu-abu dan berbau tapi tidak menyengat. Buangan ini mengandung padatan yang terapung dan tersuspensi, misalnya tinja, sampah, dan padatan tersuspensi yang lebih kecil, misalnya kertas, daun dan padatan yang sangat halus dalam suspensi koloid, yaitu suspensi yang tidak bisa mengendap, serta zat pencemar dalam bentuk

terlarut (Wibisono, 1989). Air limbah domestik ini tidak sedap dipandang mata, dan sangat berbahaya, terutama karena jumlah organisme penyebab penyakit yang dikandungnya. Di daerah beriklim tropis, air limbah domestik dapat segera kehilangan oksigen terlarut sehingga menjadi busuk atau septik yang menimbulkan bau yang sangat menyengat.

Komposisi Air Buangan

Sesuai dengan sumber asalnya, maka air limbah mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap tempat dan setiap saat. Akan tetapi secara garis besar air limbah domestik terdiri dari air dan padatan, dimana padatan terdiri dari zat organik yang berupa karbohidrat, lemak, dan protein serta zat anorganik yang berupa garam-garam, logam-logam dan butiran seperti diperlihatkan pada skema pada gambar 1 (Sugiharto, 1987).



Gambar 1 : Skema pengelompokan bahan yang terkandung di dalam air buangan

Tabel 1 : Karakteristik umum limbah domestik

Parameter	Konsentrasi (mg/l)		
	Kuat	Sedang	Lemah
BOD	400	220	110
COD	1000	500	250
Organik-N	35	15	8
NH ₃ -N	50	25	12
Total-N	85	40	20

Total-P	15	8	4
Total Padatan	1200	720	350
Padatan Terlarut	350	220	100

Sumber Metcalf dan Eddy, 1991

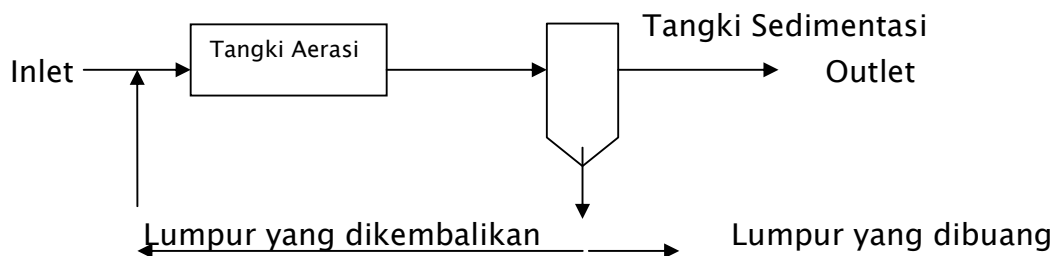
Sistem Lumpur Aktif

Di dalam limbah yang mengandung bahan organik terdapat zat-zat yang merupakan makanan dan kebutuhan-kebutuhan lain bagi mikroorganisme yang akan digunakan dalam proses lumpur aktif. Proses lumpur aktif adalah salah satu proses pengolahan air limbah secara biologi, dimana air limbah dan lumpur aktif dicampur dalam suatu reaktor atau tangki aerasi. Padatan biologis aktif akan mengoksidasi kandungan zat di dalam air limbah secara biologis, yang di akhir proses akan dipisahkan dengan sistem pengendapan. Proses lumpur aktif mulai dikembangkan di Inggris pada tahun 1914 oleh Ardern dan

Lockett (Metcalf dan Eddy, 1991), dan dinamakan lumpur aktif karena prosesnya melibatkan massa mikroorganisme yang aktif, dan mampu menstabilkan limbah secara aerobik. Istilah lumpur aktif diterapkan baik pada proses maupun padatan biologis di dalam unit pengolahan.

Proses lumpur aktif terdiri dari dua tangki (gambar 2), yaitu :

- Tangki aerasi : di dalam bak ini terjadi reaksi penguraian zat organik oleh mikroorganisme dengan bantuan oksigen terlarut.
- Bak pemisah (Clarifier): yaitu tempat lumpur aktif dipisahkan dari cairan untuk dikembalikan ke tangki aerasi, kelebihanannya dibuang.



Gambar 2 : Kegiatan dan alat proses sistem lumpur aktif

Deskripsi Proses

Aliran umpan air limbah/ subtrat, bercampur dengan aliran lumpur aktif yang dikembalikan sebelum masuk rektor. Campuran lumpur aktif dan air limbah membentuk suatu campuran yang disebut cairan tercampur (*mixed liquor*). Memasuki aerator, lumpur aktif dengan cepat memanfaatkan zat organik dalam limbah untuk men-degradasinya.

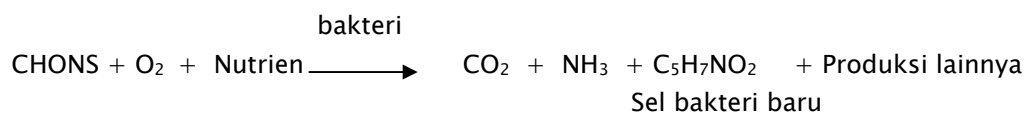
Kondisi lingkungan aerobik diperoleh dengan memberikan oksigen ke tangki aerasi. Pemberian oksigen dapat dilakukan dengan penyebaran udara tekan, aerasi permukaan secara mekanik, atau injeksi oksigen murni. Aerasi dengan difusi udara tekan atau aerasi

mekanik mempunyai dua fungsi, yaitu pemberi udara dan pencampur agar terjadi kontak yang sempurna antara lumpur aktif dan senyawa organik di dalam limbah.

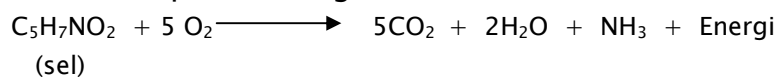
Pada tangki pengendapan (*clarifier*), padatan lumpur aktif mengendap dan terpisah dengan cairan sebagai effluent. Sebagian lumpur aktif dari dasar tangki pengendap dipompakan kembali ke reaktor dan dicampur dengan umpan (subtrat) yang masuk, sebagian lagi dibuang.

Dalam reaktor mikroorganisme mendegradasi bahan-bahan organik dengan persamaan stoikiometri pada reaksi di bawah ini (Metcalf dan Eddy,1991):

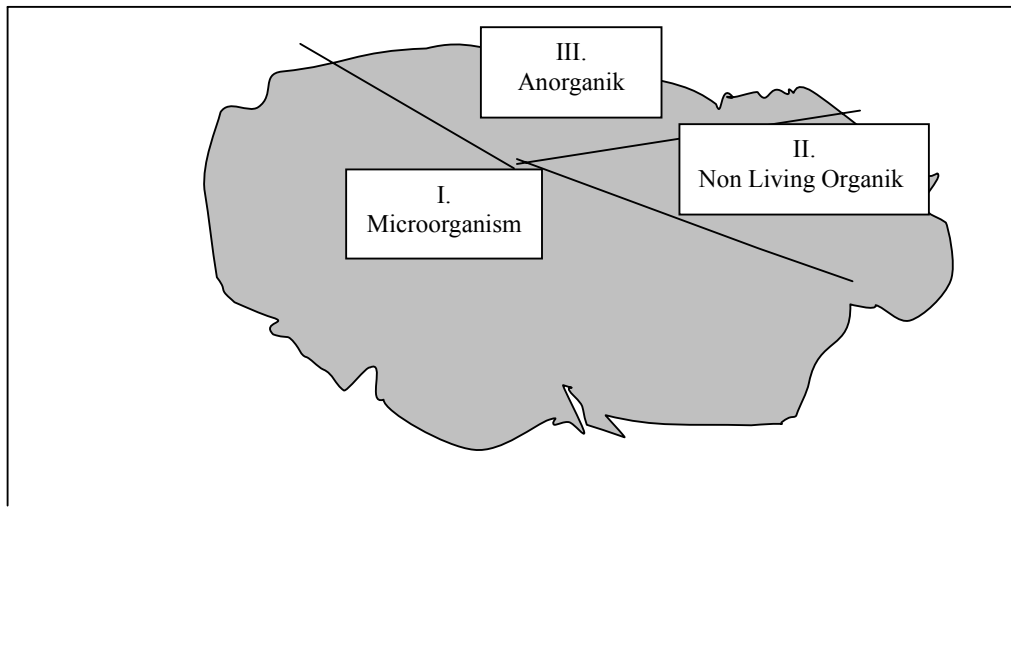
Proses Oksidasi dan Sintesis :



Proses Respirasi Endogenus :



Komposisi dari padatan lumpur aktif (flok) dapat digambarkan oleh total area pada gambar 3 (Rich, 1963).



Gambar 3 : Komposisi dari padatan lumpur aktif

Keterangan gambar 3 :

Padatan Aktif = I

Padatan Volatil = I + II

Padatan Inert = III

Total Padatan = I + II + III

Parameter Operasional

Definisi dari parameter yang sering digunakan dalam pengolahan limbah cair sistem lumpur aktif adalah sebagai berikut : (Davis dan Cornwell, 1985 ; Verstraete dan Vaerenberg, 1986)

a. Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS).

Isi dari tangki aerasi suatu sistem lumpur aktif dinamakan mixed liquor. Mixed liquor suspended solids adalah jumlah dari bahan organik dan mineral

berupa padatan terlarut, termasuk mikroorganisme di dalam mixed liquor.

b. Mixed Liquor Volatile

Suspended Solids (MLVSS)

Bagian Organik dari MLSS disebut MLVSS, dimana mengandung bentuk mikrobial organik, baik itu mikroorganisme yang hidup maupun yang sudah mati (Nelson dan Lawrence, 1980).

c. F/M ratio (rasio makanan per mikroorganisme)

Parameter ini menunjukkan beban organik pada suatu sistem lumpur aktif, dirumuskan sebagai kilogram BOD atau COD per kilogram MLSS perhari. (Curds dan Hawkes, 1983 ; Natanson, 1986). Dapat dihitung dengan rumus perbandingan makanan dengan mikroorganisme (Metcalf dan Eddy, 1991).

$$F/M = \frac{S_0}{\theta \cdot X}$$

Dimana :

F/M = food to microorganism ratio, hari⁻¹

S₀ = konsentrasi influen COD atau BOD, mg/l (g/m³)

θ = waktu detensi hidrolis, hari

$$= V/Q$$

Q = debit influen (m³/ hari)

X = Konsentrasi volatile suspended solid, mg/l (g/m³)

d. Waktu Retensi Hidrolis

(Hydraulic Retention Time, HRT)

Waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh cairan limbah yang masuk ke dalam tangki aerasi suatu proses lumpur aktif untuk dapat tercampur dengan merata, dimana nilainya berbanding terbalik dengan tingkat pengenceran yang terjadi, D (Sterritt dan Laster, 1988). Dapat dirumuskan dengan persamaan :

$$HRT = \frac{1}{D} = \frac{V}{Q}$$

Dimana :

- V = volume tangki aerasi
 Q = debit influen (limbah yang masuk)
 D = tingkat pengenceran
 HRT = waktu retensi hidrolis (dalam satuan waktu, biasanya hari)

e. Umur Lumpur (Sludge Age)

Adalah waktu tinggal rata-rata mikroorganisme di dalam suatu sistem pengolahan limbah secara lumpur aktif, dapat dirumuskan sebagai (Hammer, 1986).

$$\text{Umur Lumpur (hari)} = \frac{\text{MLSS} \times V}{\text{SS}_e \times Q_e + \text{SS}_w + Q_w}$$

Dimana :

- MLSS = mixed liquor suspended solids (mg/l)
 V = volume tangki aerasi (l)

SS_e = suspended solids effluent (padatan tersuspensi effluen, mg/l)

SS_w = suspended solids waste (padatan tersuspensi lumpur yang dibuang, mg/l)

Q_e = debit effluen (m³/hari)

Q_w = debit lumpur yang dibuang (m³/hari)

Kinetika Pertumbuhan Mikrobiologi

Pada sistem lumpur aktif aliran kontinyu (terus menerus limbah yang masuk) pertumbuhan mikroorganismenya sangat berbeda dengan sistem aliran periodik (misal batch reactor). Dimana pada aliran terus menerus substrat ditambahkan kontinyu pada debit Q pada reaktor dengan volume V dan mengandung konsentrasi biomassa X. Penambahan nutrisi, parameter lingkungan seperti kadar oksigen, temperatur, dan pH pada dasarnya terkontrol. Tingkat pengenceran D, yang berbanding terbalik dengan waktu retensi hidrolis dirumuskan sebagai :

$$D = Q/V = 1/t$$

Dimana :

D = pengenceran (waktu^{-1}),

v = volume reaktor (l),

Q = debit substrat (l/waktu),
dan

T = waktu

Maka pertumbuhan mikrobiologis yang terjadi pada aliran kontinyu dapat dirumuskan sebagai :

$$dx/dt = \mu X - DX = X(\mu - D)$$

Dimana :

dx/dt = tingkat pertumbuhan mikro-organisma per satuan waktu

μ = pertumbuhan spesifik mikroorganisma

D = tingkat pengenceran

X = biomassa

Persamaan di atas memperlihatkan bahwa tingkat suplai dari nutrien yang terkontrol untuk tingkat pertumbuhan spesifik μ . Pada $D > \mu_{\max}$, akan

menurunkan konsentrasi dari sel dan terjadi penurunan populasi mikroorganisme (Bitton, 1994).

Mikroorganisme Dalam Lumpur Aktif

Flok lumpur aktif mengandung sel-sel bakteri baik itu anorganik maupun organik. Ukuran flok ini bervariasi dari $< 1\mu\text{m}$ (ukuran sel bakteri) hingga $1000\mu\text{m}$ atau lebih (Parker et. al., 1971).

(a) Bakteri

Merupakan komponen utama dari flok lumpur aktif, lebih dari 300 jenis bakteri hidup dalam sistem lumpur aktif. Bakteri-bakteri tersebut mendegradasi bahan-bahan organik dan mentransformasi nutrien. Jenis umum yang sering ditemukan dalam lumpur aktif adalah *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alkaligenes*, *Bacillus*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Comomonas*, *Brevibacterium*, dan *Acenetobactes* juga

termasuk mikroorganisme filamen yang menyebabkan bulking pada lumpur aktif

seperti *Sphaerotillus*, *Beggiatoa*, dan *Vitreoscilla* (Bitton, 1994).

Tabel 2 : Persentase bakteri aerobik heterotropik pada lumpur aktif

Genus atau Grup	Persentase dari total isolat
<i>Comamonas-Pseudomonas</i>	50,0
<i>Alcaligenes</i>	5,8
<i>Pseudomonas</i> (grup flourescent)	1,9
<i>Paracoccus</i>	11,5
Unidetified (gram negatif batang)	1,9
<i>Aeromonas</i>	13,5
<i>Flavobacterium-Cytophaga</i>	1,9
<i>Bacillus</i>	1,9
<i>Micrococcus</i>	5,8
<i>Coryneform</i>	1,9
<i>Arthobacter</i>	1,9
<i>Aureobacterium-Microbacterium</i>	

Sumber Hirashi et. al., 1989

(b) Fungi

Yang umum ditemukan adalah *Geotrichum*, *Penicilium*, *Chephalos porium*, *Cladosporium*, dan *Alternaria* (Pipes dan Cooke,1969; Tomlinsom dan Williams, 1975).

(c) Protozoa

Merupakan predator dari bakteri pada suatu sistem

pengolahan air limbah menggunakan lumpur aktif seperti halnya yang terjadi di lingkungan alami (Curds,1982 ; Drakides, 1980).

(d) Rotifera

Paling umum ditemukan adalah jenis Bdelloidea (e.g. *Philodina spp.*) dan

Monogononta (e.g. *Lecane spp*).

Pada suatu pengolahan limbah dengan lumpur aktif terdapat berbagai macam mikroorganisme yang dominan dengan waktu yang tertentu dapat dilihat pada gambar 4. (Metcalf dan Eddy, 1991).

Pertumbuhan Sel Mikro organisme

Baik sistem kultur batch maupun kontinyu pertumbuhan sel bakteri dapat dirumuskan sebagai :

$$R_g = UX$$

Dimana

R_g = laju pertumbuhan bakteri, massa/volume.waktu

U = laju pertumbuhan spesifik

X = konsentrasi mikroorganisme, massa/volume

Secara eksperimen telah ditemukan bahwa efek dari pembatasan pemberian substrat dapat didefinisikan oleh

persamaan yang dikemukakan oleh Monod sebagai :

$$U = U_m \frac{S}{K_s + S}$$

Dimana,

U = laju pertumbuhan spesifik, waktu⁻¹

U_m = laju pertumbuhan spesifik maksimum, waktu⁻¹

S = konsentrasi subtrat, massa/volume

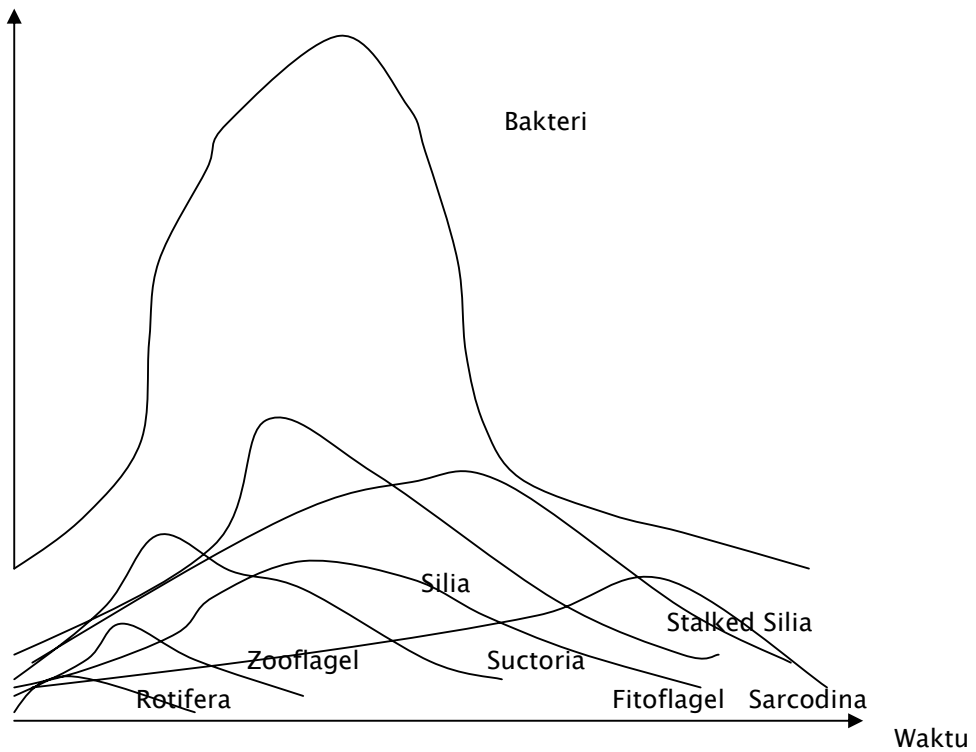
K_s = konsentrasi subtrat pada setengah laju pertumbuhan maksimum, massa/volume

Perhitungan Jumlah Bakteri

Dapat dihitung menggunakan rumus (Capucino, 1983) :

$$\text{Jml bakteri} = \frac{1000}{V \text{ sampel}} \times \text{jml koloni} \times \text{pengenceran}$$

(dalam sel/ml)



Gambar 4 : Pertumbuhan mikroorganisme dalam sistem lumpur aktif

Hasil

Tabel 3 merangkum hasil perhitungan efisiensi penyisihan COD berdasarkan data yang diperoleh di laboratorium dan

menggunakan rumus perhitungan seperti yang telah disampaikan di atas. Sedangkan jumlah bakteri yang dihitung untuk setiap beban dapat dilihat pada Tabel 4.

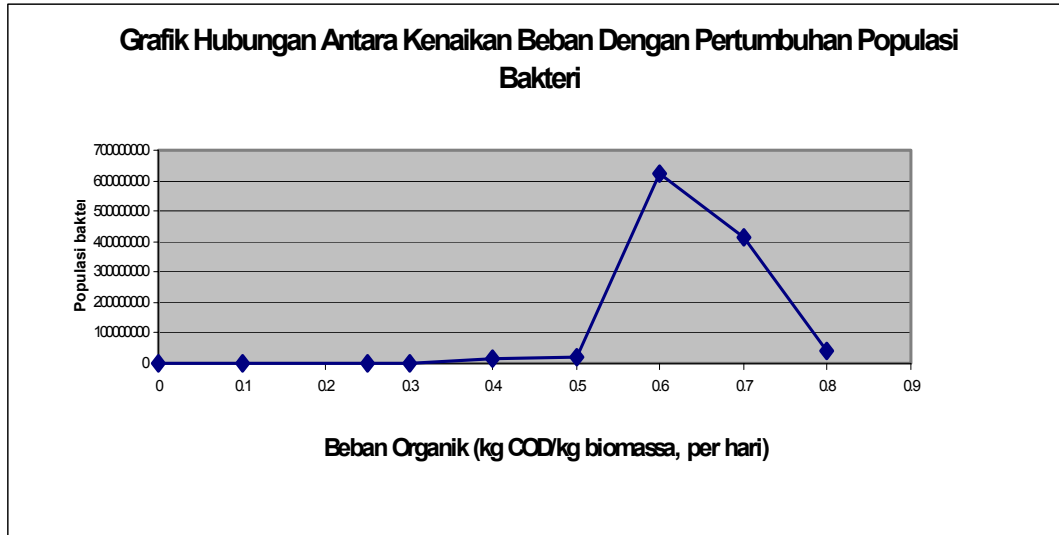
Tabel 3 : Efisiensi penyisihan COD

Beban Organik , F/M (kg COD/kg biomassa.hari)	Efisiensi Penyisihan COD (%)
0,05	74,55
0,1	91,11

0,15	91,52
0,25	96,61
0,3	98,90
0,4	97,50
0,5	96,38
0,6	96,99
0,7	74,26
0,8	58,35

Tabel 4 : Jumlah Populasi Bakteri

F/M (kg COD/kg biomassa.hari)	Jumlah Populasi bakteri (sel/ml)						
	Dalam ribuan						
	R1	R2	R3	R4	R5	C	Rata-Rata
Sebelum feeding	64	80	80	40	120	40	70
0,05	32	16	8	32	28	8	21
0,1	480	120	40	4	8	40	115
0,15	300	100	360	260	2	40	177
0,25	440	940	1000	1200	46	500	688
0,3	500	980	1020	1100	360	40	667
0,4	5360	1560	10200	40	20	40	2870
0,5	12800	12200	15800	6000	8000	400	9200
0,6	200000	180000	320000	320000	60000	26000	184333
0,7	40000	80000	80000	150000	260000	220000	138333
0,8	26000	220000	6000	2000	20000	20000	49000



Gambar 5 : Pengaruh beban organik terhadap populasi bakteri

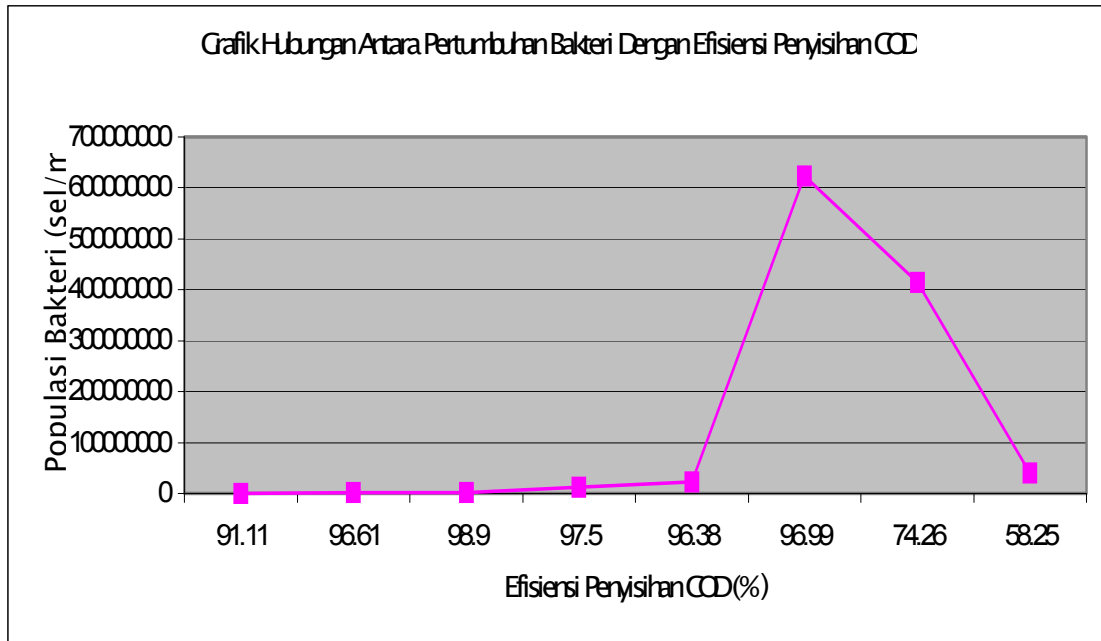
Pembahasan

Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat hubungan antara pertumbuhan populasi dengan peningkatan beban dimana pertumbuhan maksimal terjadi pada beban organik sebesar 0,6 kg COD/kg biomassa per hari. Pertumbuhan populasi bakteri meningkat tajam sejak penambahan beban sebesar 0,4 kg COD/ kg biomassa perhari. Hal ini sesuai dengan teori yang diungkapkan oleh Monod, dimana

pertumbuhan populasi mikro-organisme akan bertambah sesuai dengan pertumbuhan spesifik (μ maksimum) mikroorgan-isme tersebut. Tetapi disisi lain pertumbuhan populasi bakteri yang terlampau melimpah akan menyebabkan produksi lumpur yang semakin banyak yang perlu penanganan tambahan, sehingga tidak efektif. Dari grafik hubungan antara peningkatan beban dengan pertumbuhan populasi dapat dilihat pertumbuhan yang cukup

optimum yaitu pada beban sebesar 0,2 sampai 0,4 kg COD/kg biomassa per hari, hal ini juga sesuai dengan teori yang

mengatakan beban yang efektif sebesar 0,2 sampai 0,3 (Metcalf dan Eddy, 1991).



Gambar 6 : Grafik hubungan antara populasi bakteri dengan efisiensi COD

Dari grafik hubungan antara peningkatan populasi bakteri terhadap efisiensi peningkatan penyisihan COD dapat terlihat bahwa efektifitas penyisihan COD di atas 95% terjadi beban diantara 0,1 sampai 0,6 dimana

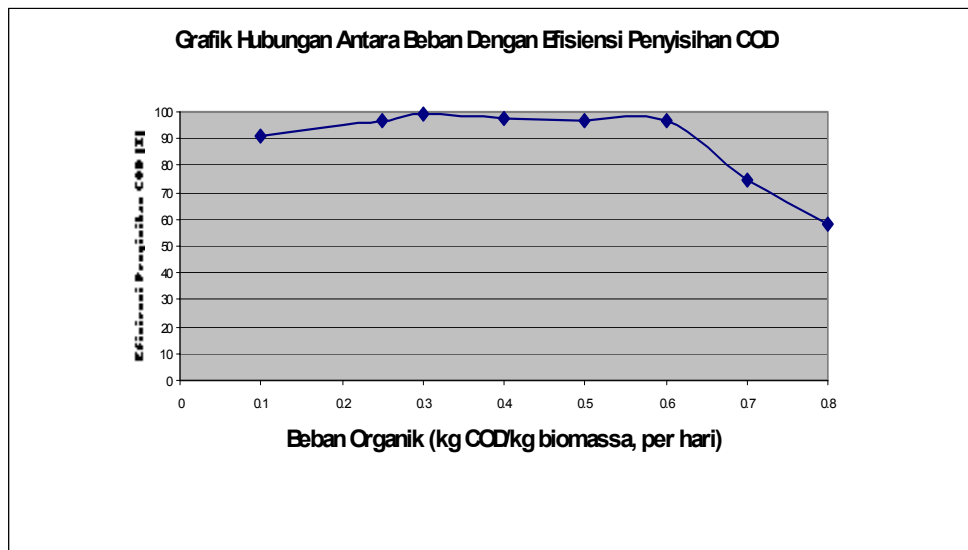
pertumbuhan populasi yang terus meningkat. Setelah beban 0,6 terjadi penurunan efisiensi akibat terjadinya penurunan populasi bakteri, sehingga dapat disimpulkan bahwa pertumbuhan populasi mempengaruhi efisiensi

penyisihan COD. Efisiensi terus meningkat antara 0,1 hingga 0,3, dimana efisiensi penyisihan COD terbesar terjadi pada beban 0,3 sebesar 98 %.

Secara perbandingan populasi bakteri pada beban 0,3 dengan beban 0,6 lebih besar populasi pada beban 0,6, tetapi efisiensi penyisihan COD yang dihasilkan lebih baik pada beban 0,3 kg COD/kg biomassa per hari. Hal ini disebabkan setelah beban meningkat di atas 0,3 kg COD/kg biomassa per hari, ada jenis

mikroorganisme yang berkembang secara cepat yaitu jenis filamen yang menyebabkan bulking (masalah pemisahan padatan), dimana bakteri jenis ini kurang baik dalam mendegradasi bahan organik.

Setelah beban melampaui 0,6 kg COD/kg biomassa per hari, efisiensi penyisihan COD terus menurun hal ini berhubungan dengan penurunan jumlah populasi bakteri akibat peningkatan beban organik sebesar 0,6 tersebut.



Gambar 7 : Grafik hubungan antara beban organik dengan efisiensi penyisihan COD

Dari grafik peningkatan beban terhadap efisiensi dapat dilihat efisiensi yang baik terjadi pada beban antara 0,1 sampai 0,6 kg COD/kg biomassa per hari. Tetapi bila dibandingkan dengan tingkat pertumbuhan populasi bakteri, yang paling optimum adalah pada beban organik sebesar 0,2 sampai 0,4 kg COD/kg biomassa per hari dimana produksi lumpur dapat ditekan sehingga dapat mengurangi biaya pengolahannya.

Kesimpulan

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa sistem lumpur aktif mampu menurunkan beban COD dengan efisiensi yang baik yaitu berkisar antara 91% hingga 98 % pada kondisi beban organik (F/M) sebesar 0,1 hingga 0,6 kg COD/kg biomassa per hari. Efisiensi penyisihan COD optimum sebesar 98 % terjadi pada kondisi

beban organik sebesar 0,3 kg COD/ kg biomassa per hari. Sedangkan pertumbuhan populasi bakteri optimum terjadi pada saat kondisi beban sebesar 0,6 kg COD/kg biomassa per hari.

Terdapat hubungan (korelasi) antara peningkatan beban organik terhadap efisiensi penyisihan COD dan pertumbuhan populasi. Demikian pula terdapat hubungan antara efisiensi penyisihan COD dengan jumlah populasi bakteri, dimana semakin banyak bakteri maka efisiensi akan semakin baik. Dapat disimpulkan pada beban antara 0,2 sampai dengan 0,4 kg COD/ kg biomassa per hari, efisiensi tangki aerator seri sangat baik dengan pertumbuhan mikro-organisme optimum dimana produksi lumpur dapat ditekan.

Daftar Pustaka

- Anonimus. *Japan Industrial Standards Handbook Environmental Technology*. Japanese Standarts Associations. Tokyo, Japan. 1995.
- Anonimus. *HACH DR/2010 Spectrophotometer Handbook*. Hach Company. USA. 1997.
- Bitton, Gabriel. *Waste Water Microbiology*. Wiley-Lissinc. Singapore. 1994.
- Capucino, James G. et. al.. *Microbiology a Laboratory Manual*. Addison-Wesley Publishing Company Inc.. USA. 1983.
- Corbitt, R.. *Handbook Of Environmental Engineering*. Mc-Graw Hill. USA. 1987.
- Eckelfelder. *Industrial Water Polution Control*. Mc-Graw Hill. USA. 1989.
- Jenkins, David et. al. *Manual On The Causes And Control Of Activited Sludge Bulking And Foaming 2nd Edition*. Lewis Publisher. Michigan, USA. 1993.
- Linvil, G. Rich. *Unit Process Of Sanitary Engineering*. John Wiley And Son. New York, London. 1963.
- Metcalf And Eddy. *Waste Water Engineering 3rd Edition*. Mc-Graw Hill. Singapore. 1991.
- Qasim, Syed R. *Waste Water Treatment Plant, Planing, Design, And Operation*. University of Texas, USA. 1985.
- Sugiharto. *Dasar-Dasar Pengolahan Air Limbah*. UI Press. Jakarta. 1987.