

PROSIDING

Volume II : Keairan, Manajemen Konstruksi, Lingkungan, Transportasi

PERAN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN DALAM PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN

24 -26 Oktober 2013
Kampus Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 A, Surakarta



Editor:
Yoyong Arfiadi
Sholihin As`ad

Diselenggarakan atas kerjasama:



UNS



UAJY



UPH



Unud



Trisakti



UNSOED



ITENAS

KoNTeKS 7

Konferensi Nasional Teknik Sipil

PROSIDING

Volume II : Keairan, Manajemen Konstruksi, Lingkungan, Transportasi

PERAN TEKNIK SIPIL DAN LINGKUNGAN DALAM PEMBANGUNAN YANG BERKELANJUTAN

24 -26 Oktober 2013
Kampus Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36 A, Surakarta

Editor:
Yoyong Arfiadi
Sholihin As`ad

Daftar Isi

KELOMPOK PEMINATAN LINGKUNGAN

- 018L **KAJIAN MITIGASI BENCANA BANJIR BANDANG KECAMATAN LEUSER ACEH TENGGARA MELALUI ANALISIS PERILAKU SUNGAI DAN DAERAH ALIRAN SUNGAI** L-1
Azmeri¹ dan Devi Sundary¹
- 035L **PENGGUNAAN LUBANG RESAPAN BIOPORI UNTUK MINIMALISASI DAMPAK BAHAYA BANJIR PADA KECAMATAN SUKAJADI KELURAHAN SUKAWARNA RW004 BANDUNG** L-9
Maria Christine Sutandi¹, Ginardy Husada², Kanjalia Tjandrapuspa T³, Daud Rahmat W⁴ dan Toni Sosanto⁵
- 093L **MODEL PERUBAHAN LINGKUNGAN DI KORIDOR JALAN UNTUK MEWUJUDKAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN** L-15
Iskandar Muda Purwaamijaya¹, Wahyu Wibowo², Herwan Dermawan³ dan Rina Marina Masri⁴
- 094L **ANALISIS KERUANGAN PEMBANGUNAN PERUMAHAN DAN PERMUKIMAN DI KAWASAN BANDUNG UTARA UNTUK MEWUJUDKAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN** L-23
Rina Marina Masri¹ dan Iskandar Muda Purwaamijaya²
- 121L **PEMBUATAN, KARAKTERISASI DAN APLIKASI KITOSAN DARI CANGKANG KERANG HIJAU (*MYTULUS VIRDIS LINNEAUS*) SEBAGAI KOAGULAN PENJERNIH AIR** L-33
Sinardi¹, Prayatni Soewondo², dan Suprihanto Notodarmojo³
- 144L **PENENTUAN KOEFISIEN BIOKINETIK DAN NITRIFIKASI PADA PROSES BIOLOGIS LUMPUR AKTIF AIR LIMBAH** L-39
Allen Kurniawan
- 151L **STUDI KEINGINAN MEMBAYAR OLEH MASYARAKAT DALAM UPAYA PENINGKATAN KUALITAS PELAYANAN PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN SAMPAH TPA TAMANGAPA KOTA MAKASSAR** L-47
Irwan Ridwan Rahim¹ dan Achmad Zubair²
- 154L **POTENSI TEKNOLOGI PEMANEN KABUT DI DATARAN TINGGI NGOHO** L-53
Aditya Riski¹, Puji Utomo², Taufiq Ilham Maulana³, dan Musofa⁴
- 259L **PROTOTYPE UNIT PENGOLAHAN AIR LIMBAH DENGAN REAKTOR ELEKTROKIMIA (UPAL-RE) UNTUK MELAYANI *HOME INDUSTRY* BATIK** L-59
Budi Utomo¹, Musyawardah², Hunik Sri Runing Sawitri³

PENENTUAN KOEFISIEN BIOKINETIK DAN NITRIFIKASI PADA PROSES BIOLOGIS LUMPUR AKTIF AIR LIMBAH (144L)

Allen Kurniawan

*Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, 16680, Bogor
Email: allen.kurniawan@gmail.com*

ABSTRAK

Instalasi pengolahan air limbah domestik Gedung X pada salah satu universitas terkemuka di Jakarta berupa pengolahan biologis tipe lumpur aktif konvensional yang terdiri dari proses aerasi dan sedimentasi. Kondisi pengolahan saat ini kurang berjalan maksimal karena tingginya konsentrasi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan amonia hasil pengolahan. Atas dasar permasalahan di atas, evaluasi perlu dilakukan untuk menentukan konstanta biokinetik, nitrifikasi, serta penelitian terhadap parameter disain. Metode sampling secara komposit untuk mendapatkan berbagai konsentrasi parameter fisik, kimiawi dan biologis. Melalui hasil analisis laboratorium selama tiga minggu, konsentrasi rata-rata BOD, COD, *Volatile Suspended Solid* (VSS), Amonia, *Total Kjeldhal Nitrogen* (TKN), dan pH pada influen sebesar 425 mg/L; 987 mg/L; 1000,48 mg/L; 31 mg/L; 106,83 mg/L; 7,9; pada bak aerasi sebesar 235 mg/L; 595 mg/L; 3487,1 mg/L; 19 mg/L; 69,11 mg/L; 7,7; pada effluen sebesar 134 mg/L; 244 mg/L; 495,95 mg/L; 6 mg/L; 16,21 mg/L; 7,7. Tipe proses lumpur aktif di Gedung X adalah pencampuran lengkap (*completely mixed activated sludge*) dengan resirkulasi yang dilengkapi pipa pembuangan lumpur. Koefisien biokinetik meliputi nilai konstanta saturasi (K_s), kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum bakteri (μ_{max}), koefisien produksi sintesa sel (Y), kecepatan utilisasi substrat spesifik maksimum (q_{max}), koefisien kematian mikroba (k_d), kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum bakteri nitrifikasi ($\mu_{max}NS$), konstanta saturasi nitrifikasi (K_N), koefisien hasil yang diobservasi (Y_{obs}), produksi biomassa (ΔX), dan nilai reduksi nitrogen. Koefisien-koefisien tersebut akan digunakan untuk menentukan kebutuhan oksigen yang dibutuhkan oleh mikroorganisme pada bak aerasi.

Kata kunci: koefisien biokinetik, lumpur aktif, nitrifikasi.

1. PENDAHULUAN

Upaya pengolahan air limbah yang tepat dan optimal dapat mengatasi masalah air limbah sebelum dibuang ke lingkungan. Dengan adanya pengolahan, air limbah diharapkan dapat memenuhi persyaratan ambang batas baku mutu yang ditetapkan oleh pemerintah. Di dalam proses pengolahan air limbah khususnya yang mengandung polutan senyawa organik, teknologi yang digunakan sebagian besar menggunakan aktivitas mikroorganisme untuk menguraikan senyawa polutan organik tersebut. Pengolahan air limbah dengan aktifitas mikroorganisme bisa disebut dengan proses biologis.

Di dalam aplikasinya, pengolahan biologis digunakan untuk berbagai tujuan antara lain untuk menghilangkan senyawa organik yang ada di dalam air limbah, untuk proses nitrifikasi dan denitrifikasi, penghilangan senyawa fosfor, dan untuk stabilisasi air limbah. Pada kenyataannya, unit-unit pengolahan air limbah tidak berfungsi secara optimal yang menyebabkan kualitas air yang akan dibuang ke lingkungan tidak seperti yang diharapkan. Evaluasi aspek-aspek yang menjadi dasar perencanaan awal perlu dilakukan pada Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL), sehingga tahap penerapan di lapangan tidak jauh berbeda dari tahap perancangan yang telah diperkirakan semula.

Salah satu universitas terkemuka di Jakarta memiliki pengolahan air limbah domestik sederhana, yaitu pengolahan biologis lumpur aktif. Unit ini terdiri dari proses aerasi dan ditindaklanjuti dengan sedimentasi. Air limbah domestik berasal dari aktivitas umum, seperti mandi-cuci-kakus (MCK), wudhu, dan lain-lain. Saat ini, kondisi pengolahan tidak berjalan maksimal, karena bau seringkali dirasakan, dan parameter pencemar terutama *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Biochemical Oxygen Demand* (BOD), dan amonia hasil pengolahan masih menunjukkan kadar di atas ambang baku mutu. Atas dasar permasalahan tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah mengevaluasi kinerja pengolahan air limbah dengan mengetahui koefisien biokinetik, konstanta kinetika nitrifikasian dan kebutuhan oksigen pada proses lumpur aktif, sehingga rekomendasi berupa prediksi level lingkungan saat ini dapat diketahui dalam usaha eliminasi kontaminan berbahaya sebelum memasuki komponen lingkungan.

2. METODOLOGI

Daerah kajian dilakukan pada unit pengolahan biologis tipe lumpur aktif (*activated sludge*) yang berlokasi pada salah satu gedung universitas terkemuka di Jakarta. Unit pengolahan tersebut berada pada lantai dasar dan hanya melayani limbah dari WC, pencucian piring dan pengepelan lantai di gedung tersebut.

Metode sampling digunakan untuk mendapatkan data yang cukup tentang komposisi dan debit aliran air limbah, sehingga parameter perencanaan dan rancangan dapat diketahui. Pada penelitian ini titik sampling ditentukan di unit pengolahan biologis bagian influen, aerasi, dan efluen. Untuk setiap contoh uji dari titik pengambilan sampling, nilai karakteristik air limbah ditinjau dari parameter BOD, COD, *Volatil Suspended Solid* (VSS), ammonia, *Total Kjeldhal Nitrogen* (TKN), pH dan temperatur. Metode pengambilan contoh uji (sampel) adalah komposit, dengan frekuensi pengambilan pada pagi, siang, dan sore hari saat jam puncak. Contoh uji air limbah kemudian dicampur dengan jumlah proporsional sesuai debit aliran air limbah pada saat contoh uji tersebut diambil. Pengambilan contoh uji ini dilakukan setiap hari selama tiga minggu (21 hari).

Setelah data hasil analisis laboratorium diperoleh, pengolahan data dibutuhkan untuk menghasilkan data yang kuantitatif sebagai bahan evaluasi. Pengolahan data ini meliputi:

- Perhitungan koefisien biokinetik yang meliputi Y (*microbial yield*), q_m (kecepatan utilisasi substrat spesifik maksimum), K_d (koefisien kematian mikroba), K_s (konstanta saturasi), serta mencari K (konstanta kecepatan reaksi). Koefisien tersebut didapat setelah neraca kesetimbangan massa, dan pengeplotan data secara linear (untuk mendapatkan garis regresi) dibuat.
- Perhitungan kinetika nitrifikasi untuk $(\mu_m)_{NS}$ (koefisien kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum bakteri nitrifikasi), dan K_N (koefisien konsentrasi saturasi nitrifikasi).
- Penentuan Y_{obs} (*microbial yield* yang di observasi), produksi biomassa, perkiraan nitrogen yang tersedia, *Biological Solid Retention Time* (BSRT), konsentrasi substrat efluen terlarut, dan kebutuhan oksigen pengolahan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kuantitas dan kualitas air limbah

Besarnya debit air limbah yang akan diolah perlu diketahui untuk menentukan besarnya kapasitas maksimum instalasi secara tepat dengan proyeksi kebutuhan masa depan. Pada penelitian ini debit air limbah pada instalasi pengolahan bersifat tidak kontinu, sehingga pengukuran debit dilakukan setiap jam selama 24 jam. Dari hasil pengukuran, debit rata-rata IPAL sebesar $15 \text{ m}^3/\text{hari}$ dan tertampung pada unit pengolahan dengan volume $29,95 \text{ m}^3$. Debit rata-rata tersebut setiap hari umumnya relatif sama (konstan). Karena pengambilan sampel bersifat komposit, proses pengambilan dibagi menjadi tiga periode yaitu pagi, siang, dan sore hari pada saat debit puncak. Frekuensi pengambilan sampling hanya tiga kali dalam setiap hari karena variabilitas air limbah sangat rendah. Waktu pengambilan sampling pada saat debit puncak setiap periode, karena pada saat jam tersebut aktivitas tertinggi berlangsung dan kandungan variasi parameter air limbah dinilai cukup untuk mewakili jam-jam aktivitas yang lain.

Untuk mengevaluasi IPAL, tidak hanya kuantitas air limbah perlu diketahui, melainkan data kualitas air limbah berupa karakteristik fisik, kimia, dan biologis perlu ditentukan. Karakteristik tersebut mencakup zat, senyawa, atau partikel yang terdapat di dalam air limbah. Hasil karakteristik fisik dan kimia melalui pengambilan sampling selama 21 hari dapat disajikan pada Tabel 1.

Dari Tabel 1. parameter efluen BOD, COD dan NH_3 berada di atas ambang batas baku mutu (KEP-51/MENKLH/10/1995). Kondisi ini dapat disebabkan limbah domestik pada Gedung X mengandung senyawa-senyawa organik yang sukar terurai atau didegradasi melalui proses pengolahan, serta zat-zat yang bersifat racun bagi mikroorganisme, adanya senyawa ammonia bersifat toksik bagi pertumbuhan bakteri nitrifikasi.

Penurunan TKN dapat disebabkan oleh proses biologis. Di dalam air limbah yang belum diolah pada umumnya senyawa nitrogen berada dalam bentuk ammonia dan N-organik, baik terlarut maupun dalam bentuk partikulat. N-organik terlarut dapat dihilangkan dengan proses asimilasi dan dikonversi menjadi ammonia, yang kemudian dapat dihilangkan dengan proses nitrifikasi dan denitrifikasi (Zulfikar, 2002). Efisiensi penyisihan VSS yang dihasilkan melalui dua tahap pengolahan yakni biodegradasi dan pengendapan menunjukkan kemampuan optimum hingga 50,43%. Bila nilai *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS) diasumsikan 75% dari *Mixed Liquor Volatile Suspended Solid* (MLVSS), maka kandungan MLSS pada bak aerasi diketahui sebesar 4650 mg/l. Nilai konsentrasi MLSS tersebut menunjukkan besarnya *Suspended Solid* (SS) pada bak aerasi yang mengendap pada dasar bak.

Tabel 1. Kualitas air limbah rata-rata Gedung X.

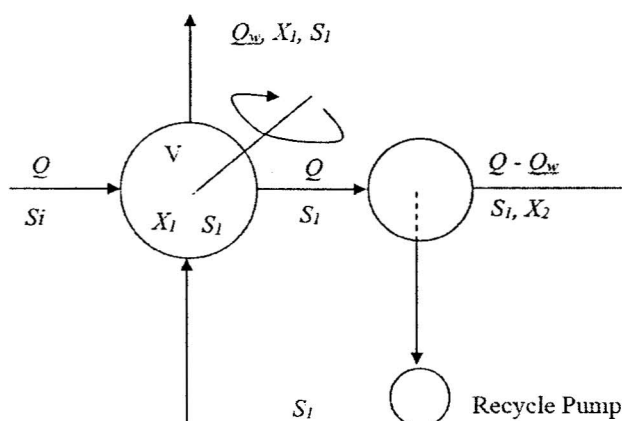
Parameter	Konsentrasi pada titik sampling (mg/L)			Baku Mutu*
	Influen	Aerasi	Efluen	
BOD	425	235	134	50
COD	987	595	244	100
VSS	1000,48	3487,1	495,95	
NH ₃	31	19	6	1
TKN	106,83	69,11	16,21	

Keterangan :

*Standar baku mutu Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor KEP-51/MENKLH/10/1995 tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri.

Evaluasi konstanta biokinetik

Suatu diagram yang tipikal untuk proses lumpur aktif ditunjukkan dalam Gambar 1. Dalam gambar ini, Q merupakan debit aliran air limbah baku menuju tangki aerasi; S_i , konsentrasi substrat dalam air limbah baku; V , volume tangki aerasi; X_1 , konsentrasi biomassa dalam tangki aerasi; X_2 , konsentrasi biomassa efluen clarifier; Q_w , debit aliran lumpur hasil pengolahan lumpur aktif; dan S_r , konsentrasi substrat pada kondisi *steady state* setelah pengolahan.



Gambar 1. Pencampuran sempurna (*completely mixed*) lumpur aktif dengan resirkulasi

Konsentrasi analisis selanjutnya difokuskan pada pengolahan biologis jenis lumpur aktif *completely mixed*. Pendekatan kinetik terhadap reaksi biokimia berdasarkan Persamaan Michaelis-Menten dikombinasikan dengan Persamaan Monod (Reynolds, 1996):

$$\frac{dX}{dt} = \mu X = Y \frac{dS}{dt} \quad (1)$$

Keterangan:

dX/dt = laju pertumbuhan sel mikroorganisme, massa/(volume)(waktu)

μ = koefisien pertumbuhan mikroorganisme, waktu⁻¹

Koefisien pertumbuhan berdasarkan Persamaan Monod dikembangkan menjadi:

$$\mu = \mu_{max} \left(\frac{S}{K_s + S} \right) \quad (2)$$

Keterangan:

μ_{max} = koefisien maksimum pertumbuhan mikroorganisme, waktu⁻¹

K_s = konsentrasi substrat dengan $\mu = \frac{1}{2} \mu_{max}$

Untuk sistem pencampuran sempurna dengan resirkulasi, kesetimbangan massa di dalam sel mikroorganisme yaitu:

$$[\text{akumulasi}] = [\text{pertambahan pertumbuhan}] - [\text{pengurangan pembusukan endogen}] - [\text{output}]$$

Secara matematis, persamaan di atas berubah menjadi:

$$dX_1 \cdot V = V\mu X_1 dt - V k_e X_1 dt - Q_w X_1 dt - (Q - Q_w) X_2 dt \quad (3)$$

Keseimbangan massa pada substrat yaitu:

$$[\text{akumulasi}] = [\text{input}] - [\text{output}] - [\text{pengurangan pertumbuhan}]$$

Secara matematis, persamaan di atas berubah menjadi:

$$dS_1 \cdot V = QS_i dt - Q_w S_1 dt - (Q - Q_w) S_1 dt - V[dS_1]_{\text{Growth}} \quad (4)$$

Penurunan substrat saat pertumbuhan mikroorganisme menggunakan Persamaan (1), sehingga $[dS_1]_{\text{Growth}} = (\mu/Y)(X_1) dt$. Persamaan tersebut disubstitusi kedalam Persamaan (4), sehingga:

$$dS_1 \cdot V = QS_i dt - Q_w S_1 dt - (Q - Q_w) S_1 dt - V \frac{\mu}{Y} X_1 dt \quad (5)$$

Penurunan Persamaan (3) dan (5) dihitung secara matematis, sehingga bentuk persamaan diperoleh untuk menentukan nilai Y dan k_e :

$$\frac{S_i - S_1}{X_1 \theta_i} = \frac{k_e}{Y} + \frac{1}{Y} \frac{1}{\theta_c} \quad (6)$$

Keterangan:

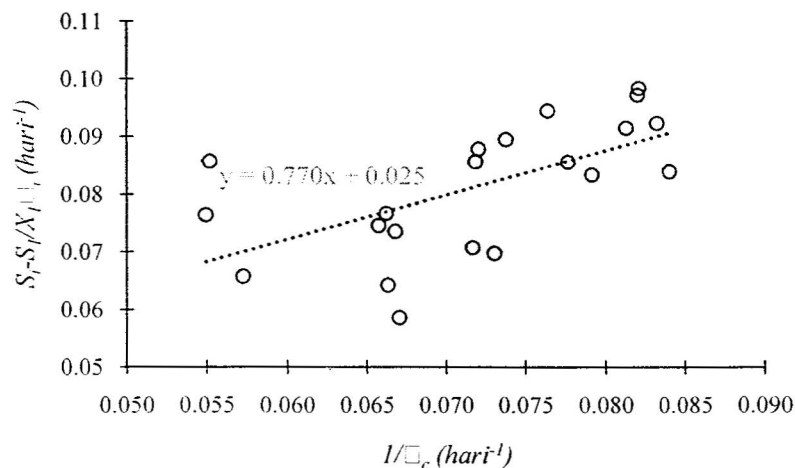
Y = koefisien produksi sintesis sel, mg VSS/mg BOD

k_e = laju kematian *endogenous* mikroorganisme, waktu⁻¹

θ_i = waktu detensi, waktu = V/Q

θ_c = waktu tinggal sel (*cell residence time*), waktu⁻¹ = $(VX_1)/(QX_2)$

Persamaan di atas membentuk persamaan linear, $y = b + mx$. Dengan menggunakan reaktor aliran kontinu atau beberapa reaktor aliran kontinu yang beroperasi pada beberapa laju aliran, data $(S_i - S)/X_i \theta_i$ dapat diplotkan pada sumbu y , $1/\theta_c$ pada sumbu x , kemiringan garis yaitu $1/Y$ dan perpotongan pada sumbu y yaitu k_e/Y .

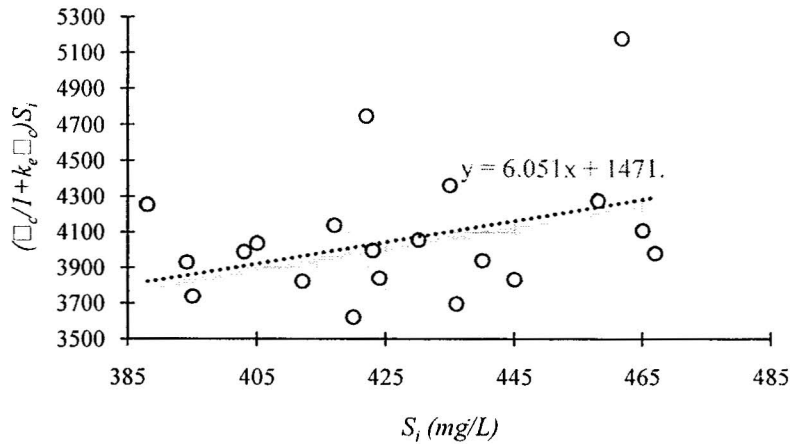


Gambar 1. Penentuan Y dan k_e

Dari persamaan linear pada Gambar 1, nilai Y diperoleh sebesar 1,3 mg VSS/mg BOD dan k_e sebesar 0,034/hari. Untuk menentukan K_s dan μ_{max} , bentuk persamaan matematisnya adalah:

$$\left(\frac{\theta_c}{1 + k_e \theta_c} \right) S_i = \frac{K_s}{\mu_{max}} + \frac{1}{\mu_{max}} S_1 \quad (7)$$

Persamaan ini membentuk persamaan linear, $y = b + mx$, sehingga nilai $[\theta / (1 + k_e \theta)] S_I$ diplotkan pada sumbu y, nilai S_I pada sumbu x, kemiringan garis yaitu $1/\mu_{max}$ dan perpotongan pada sumbu y yaitu K_s/μ_{max} .



Gambar 2. Penentuan K_s dan μ_{max}

Dari persamaan linear pada Gambar 2, nilai μ_{max} diperoleh sebesar 0,165/hari dan K_s sebesar 242 mg/L. Nilai parameter μ_{max} , K_s , Y dan k_e dibandingkan dengan kriteria umum pada Tabel 2. Nilai μ_{max} dan K_s tidak memenuhi rentang nilai umum air limbah. Menurut Ahmad (2003), berbedanya nilai K_s disebabkan karena berbedanya substrat yang digunakan dan berbedanya konsentrasi substrat yang diberikan. Konsentrasi substrat yang tinggi akan menyebabkan tingginya nilai K_s , sehingga μ_{max} menjadi rendah. Nilai K_s merupakan elemen yang sangat esensial di dalam proses biodegradasi air limbah, karena K_s menunjukkan hubungan nilai afinitas dan laju pertumbuhan sel bakteri. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, nilai K_s yang tinggi mengindikasikan bahwa mikroorganisme yang terdapat di dalam proses biologis memiliki afinitas yang rendah terhadap substrat yang diberikan, sehingga laju pertumbuhan bakteri berpengaruh pada besar kecilnya konsentrasi substrat.

Tabel 2. Koefisien biokinetik dan pertumbuhan Monod untuk proses lumpur aktif

Koefisien	Satuan	Rentang Nilai	Tipikal
μ_{max}	day ⁻¹	2 - 10	5
K_s	mg/l BOD ₅	25 - 100	60
	mg/l COD	15 - 70	40
Y	mg VSS ^a /mg BOD	0,4 - 0,8	0,6
k_e	day ⁻¹	0,025 - 0,075	0,06

^a MLVSS nilainya kurang lebih 70-80% dari MLSS

Sumber: Metcalf dan Eddy (2003) dalam Reynolds dan Richards (1996).

Lawrence dan McCarty (1970) dalam Benefield (2001) menghubungkan kecepatan utilisasi substrat pada konsentrasi mikroorganisme dalam reaktor dan konsentrasi mikroorganisme di sekitar mikroorganisme. Hubungan tersebut mempunyai bentuk sebagai berikut:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\mu}{Y} X_1 = q X_1 \quad (8)$$

Persamaan (8) disubstitusikan ke Persamaan (2), sehingga:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{q_{max} S_1 X_1}{K_s + S_1} \quad (9)$$

Untuk *orde nol*, nilai S_1 jauh lebih besar daripada K_s , sehingga nilai K_s dapat diabaikan pada penyebut dari persamaan (9), sehingga persamaan tersebut berubah menjadi:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = q_{max} X_1 \quad (10)$$

Dengan memplotkan $\partial S/\partial t$ sebagai sumbu y dan X_t sebagai sumbu x, nilai q_{max} diperoleh dari kemiringan (*slope*) dari kurva yang terbentuk secara linear sebesar 0,08/hari. Hubungan antara K_s dan q_{max} menghasilkan nilai konstanta laju penyisihan (K) melalui Persamaan (11) sebesar 6×10^{-4} L/mg.hari.

$$K = q_{max}/K_s \quad (11)$$

Evaluasi Konstanta Kinetika Nitrifikasi

Untuk perlindungan suatu badan air, maka instalasi pengolahan air limbah harus dirancang untuk menghasilkan efluen yang telah ternitrifikasi, dengan membangun suatu kultur bakteri nitrifikasi yang akan mengoksidasi ammonia menjadi nitrat ketika air limbah masih berada di dalam instalasi. Umumnya pengoksidasian ammonia menjadi nitrat dilakukan oleh genus *Nitrosomonas*. Beberapa kerugian dalam efluen air limbah yang mengandung nitrogen amonia berlebih, diantaranya ammonia mengkonsumsi oksigen terlarut dalam badan air penerima, ammonia bereaksi dengan klor membentuk desinfektan yang tidak efektif yaitu *kloramine*, amonia bersifat toksik pada organisme air (Benefield, 2001).

Pengaruh pH operasional akan mempengaruhi kecepatan pertumbuhan bakteri nitrifikasi. Untuk mengoreksi kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum *Nitrosomonas* untuk variasi pH, Hultman (1971) dalam Benefield (2001) menyatakan persamaan berikut ini:

$$(\mu_{max})_{NS} = \frac{(\mu_{max}) \text{ pada pH optimum}}{1+0,04 (10^{pH \text{ optimum}-pH-1})} \quad (12)$$

Persamaan (8) dapat disederhanakan menjadi faktor koreksi pH:

$$\frac{(\mu_{max})_{NS}}{(\mu_{max}) \text{ pada pH optimum}} = \frac{1}{1+0,04 (10^{pH \text{ optimum}-pH-1})} \quad (13)$$

pH optimum instalasi sebesar 8,4 dan pH operasional rata-rata sebesar 7,7; sehingga faktor koreksi pH dengan menggunakan pH operasional untuk tahap nitrifikasi diperoleh dari Persamaan 9 sebesar 0,86.

Hultman (1971) dalam Benefield (2001) mengusulkan bahwa kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum untuk *Nitrosomonas* $[(\mu_{max})_{NS}]$, dan konstanta saturasi (K_N), dipengaruhi oleh suhu operasional menurut persamaan berikut:

$$(\mu_{max})_{NS} = (\mu_{max})_{NS(20^\circ C)} \times 10^{0,033 (T-20)} \quad (14)$$

Persamaan (10) dapat disederhanakan menjadi faktor koreksi suhu:

$$\frac{(\mu_{max})_{NS}}{(\mu_{max})_{NS(20^\circ C)}} = 10^{0,033 (T-20)} \quad (15)$$

$$K_N = 10^{0,051 (T)-1,158} \quad (16)$$

Suhu operasional instalasi sebesar $26,5^\circ C$; sehingga nilai K_N diperoleh sebesar 1,56 mg/L-N dan faktor koreksi suhu diperoleh sebesar 1,64.

Dengan mengetahui faktor koreksi pH dan suhu, pertumbuhan spesifik maksimum *Nitrosomonas* $[(\mu_{max})_{NS}]$ dapat dikoreksi menjadi:

$$(\mu_{max})_{NS} = (\mu_{max}) \times \text{faktor koreksi pH} \times \text{faktor koreksi suhu} \quad (17)$$

Dari Persamaan (13) di atas dengan memasukkan nilai faktor koreksi pH dan suhu, $(\mu_{max})_{NS}$ diperoleh sebesar 0,15/hari.

Penentuan Kebutuhan Oksigen

Kebutuhan oksigen harus diperhatikan dalam proses pengolahan air limbah. Jika organisme dalam tangki aerasi kehilangan suplai oksigen yang cukup, kegagalan proses akan terjadi dengan menurunnya kualitas efluen. Dengan demikian, jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh organisme pada instalasi pengolahan perlu diketahui. Langkah-langkah perhitungan kebutuhan oksigen adalah sebagai berikut:

- a. Penentuan perkiraan BSRT (*Biological Solids Retention Time*)

$$\frac{1}{\theta_c} = Y \frac{(S_i - S_1)}{X_1 V} Q - k_e \quad (18)$$

- b. Perhitungan koefisien hasil (*yield coeficient*) yang diobservasi

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + k_e \theta_c} \quad (19)$$

- c. Penentuan produksi biomassa (ΔX)

$$\Delta X = Y_{obs} Q (S_i - S_1) \quad (20)$$

- d. Penentuan pemisahan nitrogen sebagai suatu hasil sintesis sel

Formula molekuler yang digunakan secara luas untuk mendeskripsikan komposisi biomassa yang diberikan oleh Mc Carty (1970) dalam Benefield (2001) adalah $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$. Struktur ini mempunyai suatu berat formula 1374, sehingga satuan fraksi yang dipresentasikan untuk nitrogen adalah 168/1374, atau 0,122. Dengan demikian, kebutuhan nitrogen untuk suatu kondisi pengolahan tertentu dimungkinkan dapat diketahui dengan persamaan:

$$\text{Nitrogen removal} = 0,122 \Delta X \quad (21)$$

- e. Penentuan perkiraan nitrogen yang tersedia untuk nitrifikasi

$$\text{Nitrogen tersedia} = \frac{\text{beban nitrogen} - \text{nitrogen removal}}{8,34 Q} \quad (22)$$

- f. Perhitungan BSRT operasional yang diperlukan untuk memberikan efisiensi nitrifikasi

$$E_N = 1 - \frac{K_N}{(\text{nitrogen tersedia})[\theta_c(\mu_{max})NS^{-1}]} \quad (23)$$

- g. Penentuan kecepatan utilisasi substrat aktual dengan menggunakan BSRT operasional

$$q = \frac{1/\theta_c + k_e}{Y} \quad (24)$$

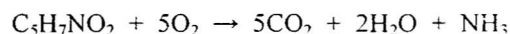
- h. Perhitungan konsentrasi substrat efluen terlarut

$$S_1 = q/K \quad (25)$$

- i. Kontrol (cek) nilai S_1 dengan nilai S_1 yang diinginkan

Hasil perhitungan nilai S_1 sebesar 210 mg/L menunjukkan nilai tersebut berada di atas S_1 awal sebesar 134 mg/L BOD, sehingga perhitungan dari langkah a-h dihitung kembali dengan memasukkan nilai S_1 hasil perhitungan akhir. Hasil perhitungan akhir menunjukkan nilai θ_c sebesar 23,84 hari; $Y_{obs} = 0,721$; ΔX sebesar 2329,335 g/hari; nitrogen yang tersedia sebesar 87,89 mg/L; BSRT operasional (θ_c) sebesar 7,6 hari; dan q sebesar 0,127 mg/L.

Jika disumsikan bahwa biomassa dapat dinyatakan dengan formula kimia $C_5H_7NO_2$ (Benefield, 2001), kebutuhan oksigen untuk oksidasi satu unit biomassa dapat dihitung dengan cara:



$(5 \times 32)/133 = 1,42$ unit O_2 /unit biomassa yang dioksidasi.

Nitrogen organik yang terdapat di dalam air limbah ditransformasikan menjadi ammonium sebagai hasil dari aktivitas mikroba, dan amonium tersebut dapat menaikkan kebutuhan oksigen, sehingga nitrifikasi harus dipertimbangkan dalam kalkulasi kebutuhan oksigen total. Perhitungan kebutuhan oksigen total adalah:

$$\Delta O_2 = [Q(S_i - S_1)] - 1,42 \Delta X + [4,57QE_N(\text{nitrogen tersedia})] \quad (26)$$

Dari Persamaan (26) diperoleh tingkat kebutuhan oksigen pada IPAL Gedung X sebesar 5044,174 g/hari.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini:

- a. Evaluasi konstanta biokinetik instalasi Gedung X berupa nilai q_{max} , K , K_s , μ_{max} , Y , dan k_c berturut-turut yang mewakili parameter BOD adalah 0,0797/hari; $6 \cdot 10^{-4}$ l/mg.hari; 132,83 mg/L; 0,147/hari; 1,3; 0,034/hari.
- b. Konstanta kinetik nitrifikasi dipengaruhi oleh faktor suhu dan pH operasional, sehingga menghasilkan nilai $(\mu_{max})_{NS}$ dan K_N sebesar 0,1/hari; 1,56 mg/L sebagai N.
- c. Kebutuhan oksigen instalasi dengan memperhitungkan proses nitrifikasi menghasilkan nilai sebesar 5044,174 gram/hari. Data-data penunjang dalam perhitungan kebutuhan oksigen adalah nilai nitrogen yang tersedia sebesar 87,89 mg/L; *Biological Solid Retention Time* (BSRT) sebesar 7,6 hari; kecepatan utilisasi substrat (q) sebesar 0,127/hari; Y_{obs} sebesar 0,721; perkiraan biomassa aktual (ΔX) sebesar 2329,335 g/hari.

Saran yang dapat digunakan sebagai bahan kajian untuk peningkatan kinerja IPAL Gedung X adalah:

- a. Proses nitrifikasi harus diperhitungkan dalam proses pengolahan. Proses tersebut perlu dikaji karena nilai kandungan ammonia, BOD dan COD di efluen hasil pengolahan masih berada di atas ambang baku mutu.
- b. Perlu dipertimbangkan juga adanya unit *preliminary treatment* sebelum unit pengolahan biologis. Hal ini berfungsi untuk menyisihkan kandungan parameter pada air limbah dengan tingkat efisiensi yang cukup besar, sehingga air limbah yang keluar dari unit pengolahan mempunyai konsentrasi parameter pencemar yang lebih kecil daripada kondisi tanpa adanya *preliminary treatment*. Unit ini lebih ekonomis dibandingkan pengolahan kimiawi, walaupun memakan ruang atau tempat yang cukup besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. (2003). "Penentuan Parameter Kinetika Biodegradasi Anaerob Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit". *Jurnal Natur Indonesia*, Vol. 6(1), hal. 45 – hal. 48.
- Benefield, L. (2001). *Biological Process Design for Wastewater Treatment*, Ibis Publishing, Melbourne.
- Metcalf and Eddy (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, Mc Graw-Hill, New York.
- Reynolds, T. D., Richards, P. A. (1996). *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, PWS Publishing Company, Boston.