

PROSIDING

Seminar NASIONAL



PENGELOLAAN SUMBERDAYA ALAM DAN LINGKUNGAN

2013

**Optimasi Pengelolaan Sumber Daya Alam
dan Lingkungan dalam Mewujudkan
Pembangunan Berkelanjutan**

Semarang, 10 September 2013

Himpunan Mahasiswa
Magister & Doktor Ilmu Lingkungan UNDIP
Bekerjasama dengan:



Program Studi Magister & Doktor
Ilmu Lingkungan UNDIP



Program Studi Ilmu Lingkungan
UNRI



Program Studi Magister Ilmu
Lingkungan UNPAD

PROSIDING

Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya dan Lingkungan 2013 "Optimasi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan dalam Mewujudkan Pembangunan Berkelanjutan".

Editor:

Prof. Dr. Sudharto P. Hadi, MES

Prof. Dr. Ir. Purwanto, DEA

Dr. Henna Rya Sunoko, MES

Dr. Hartuti Purnaweni, MPA

Penyunting:

Ferdianto Budi Samudra, Maria P. Widianti

Mukhlisi, Silvia Lucyanti, Suksesi Wicahyani

Layout Design:

Bazar Ristyawan

I Putu Garjita

Program Studi Ilmu Lingkungan Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro (UNDIP)

Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Riau (UNRI)

Program Studi Magister Ilmu Lingkungan Universitas Padjadjaran (UNPAD)

Diterbitkan oleh:

Program Studi Ilmu Lingkungan

Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

Jl. Imam Bardjo, SH No. 5 Semarang 50241 Telp/Fax. (024)8453635, 8452770

Email: mil_undip@yahoo.com

ISBN 978-602-17001-1-2



9 786021 700112

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
LAPORAN KETUA PANITIA	viii
SAMBUTAN REKTOR UNIVERSITAS DIPONEGORO	ix
KEYNOTE SPEAKER: MENTERI KELAUTAN DAN PERIKANAN	xi
SUB TEMA:	
I. Kebijakan Pengelolaan SDA dan Lingkungan	1
1. SVLK; Salah Satu Jenis <i>Eco Label</i> Untuk Mengontrol Pergerakan Kayu pada Industri Furnitur di Jepara <i>Ahmad Subulas Salam, Purwanto, dan Suherman</i>	1
2. Peranan Implementasi Kebijakan Karantina Ikan dalam Pembangunan Perikanan Berkelanjutan <i>Bazar Ristiyawan, Sutrisno Anggoro, Bambang Yulianto</i>	6
3. Pengelolaan Cendana di Desa Asumanu, Kecamatan Raihat, Kabupaten Belu, Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) <i>Maria P. Widiyanti, Hartuti Purnaweni, Tri R. Soeprbowati</i>	13
4. Tingkat Penerapan Sistem Pertanian Berkelanjutan pada Budidaya Padi Sawah (Studi Kasus Di Kecamatan Ambal Kabupaten Kebumen) <i>Istiantoro, Azis Nur Bambang, Tri Retnaningsih Soeprbowati</i>	19
5. Kondisi Sosial Ekonomi Masyarakat Sub Das Padas: Ditinjau dalam Pengelolaan DAS (Studi Kasus di Sub DAS Padas, Kabupaten Sragen) <i>Nur Ainun Jariyah</i>	26
6. Perencanaan Pertanian Berkelanjutan di Kecamatan Selo <i>Sasongko Putra, Purwanto, Kismartini</i>	33
7. Kebijakan Pengelolaan Wilayah Pesisir Secara Terpadu di Kabupaten Rembang Propinsi Jawa Tengah <i>Kismartini</i>	41
8. Kajian Pemanfaatan dan Daya Dukung Perairan Danau Teluk Kota Jambi untuk Budidaya Ikan Sistem Karamba Jaring Apung (KJA) <i>Kristianto, J.D., Sunardi, Iskandar</i>	48
9. Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan dalam Pandangan Masyarakat Samin <i>Jumari, Dede Setiadi, Y. Purwanto, Edi Guhardja</i>	64
II. Sanitasi dan Kesehatan Lingkungan	70
1. Aspek Kualitas Bakteriologi dan Hygiene Sanitasi Fisik Depot Air Minum Isi Ulang (Damiu) di Kecamatan Cimareme Kabupaten Bandung Barat <i>Ari Khoeriyah, Henna Rya Sunoko, Anies</i>	70
2. Hubungan Pengetahuan Karyawan tentang Lingkungan dengan Motivasi Karyawan dalam Pengelolaan Lingkungan di Rumah Sakit Siti Asiyah Bumiayu <i>Faisal Amri, Azis Nur Bambang, Azrul Azwar, Henna Rya Sunoko</i>	76
3. Upaya Pengelolaan Lingkungan Usaha Peternakan Sapi di Kawasan Usaha Tani Terpadu Bangka Botanical Garden Pangkalpinang <i>Fianda Revina Widyastuti, Purwanto, Hadiyanto</i>	80
4. Kajian Pengelolaan Sampah Perkotaan di Tempat Pembuangan Akhir: Studi Kasus TPA Hutan Panjang Banjarbaru Kalimantan Selatan <i>Pranatasari Dyah Susanti</i>	85
5. Kajian <i>Water Borne Disease</i> Oleh Bakteri Secara Spasial Di Kecamatan Kampung Laut Kabupaten Cilacap <i>Rissa Nurohmah, A. Haris Budi Widodo, Agatha Sih Piranti</i>	91
6. Pengelolaan Air Limbah Domestik Komunal Berbasis Masyarakat di Kota Probolinggo <i>Yusdi Vari Afandi, Henna Rya Sunoko, Kismartini</i>	96
7. Kualitas Udara dalam Ruangan di Laboratorium <i>Quality Control (Qc)</i> Divisi Concentrating PT Freeport Indonesia <i>Arif Susanto, David Suryanegara, Edi Putro</i>	102

<i>Lebrina Ivantry Boikh, Suprtharyono, Ign Boedi Hendrarto</i>	368
11. Pengaruh Penerapan Wanamina di Kota Semarang terhadap Kualitas Lingkungan Tambak dan Pertumbuhan Udang <i>Rini Budihastuti</i>	374
12. Potensi Lestari Sumberdaya Ikan Demersal (Analisis Hasil Tangkapan Cantrang yang Didaratkan di TPI Wedung Demak) <i>Rochmah Tri Cahyani, Sutrisno Anggoro, Bambang Yulianto</i>	378
13. Indeks Keberlanjutan Ekologi Budidaya Udang Vaname (<i>Litopenaeus Vanname</i>) di Beberapa Desa Kawasan Minapolitan Kecamatan Pantai Cermin Kabupaten Serdang Bedagai <i>Sri Wahyuni Sitorus, Sutrisno Anggoro, Bambang Yulianto</i>	384
14. Pengelolaan Lingkungan Perairan Sui Bakau Besar Laut Akibat Pengaruh <i>Leachate</i> terhadap Saprobitas Perairan (Model Prakiraan Sebaran Dampak Lingkungan Terjauh Berdasarkan Pasang Surut & Arus dengan Formula Wolinsky, 2005) <i>Wartiniyati, Budi Hendrarto, Henna Rya Sumoko, Sutrisno Anggoro</i>	390
15. Kondisi Intrusi Air Laut terhadap Air Tanah pada Akuifer di Kota Semarang <i>Edy Suhartono, Purwanto, Suripin</i>	396
VII. Pengelolaan Tata Ruang Berwawasan Lingkungan dan <i>Green Building</i>	402
1. Perencanaan & Perancangan Kota Postmodern Berdasarkan Kearifan Lokal Menuju Kota-Hijau Berkelanjutan <i>A. Rudyanto Soesilo</i>	402
2. Analisis terhadap Kendala Utama serta Perubahan yang Dimungkinkan dari Pengelolaan Lingkungan di Kawasan Ziarah Umat Katholik Gua Maria Kerep Ambarawa <i>Ari Wibowo, Boedi Hendrarto, Agus Hadiyanto</i>	409
3. Pengembangan Hutan Rakyat: Upaya Mewujudkan Tata Ruang Berwawasan Lingkungan <i>Nana Haryanti</i>	415
4. Kajian <i>Green Building</i> Berdasarkan Kriteria Tepat Guna Lahan (<i>Appropriate Site Development</i>) pada Gedung Pascasarjana B Universitas Diponegoro Semarang <i>Rahayu Indah Komalasari, Purwanto, Suharyanto</i>	422
5. Kajian Perencanaan Ruang Terbuka Hijau Pemukiman di Kampung Brambangan dan Perumahan Sambak Indah, Purwodadi <i>Yakub Prihatiningsih, Imam Buchori, Hadiyanto</i>	427
6. Kajian Emisi Co ₂ Berdasarkan Penggunaan Energi Rumah Tangga sebagai Penyebab Pemanasan Global (Study Kasus Perumahan Sebantengan, Gedang Asri, Susukan RW 07. Kab. Semarang) <i>Mira Tri Wulandari, Hermawan, Purwanto</i>	432
VIII. Pengendalian Pencemaran dan Perusakan Lingkungan	439
1. Upaya Penanggulangan Pencemaran Lingkungan Teluk Ambon dalam Rangka Pengelolaan Lingkungan Pesisir <i>Adi Mulyanto</i>	439
2. Hubungan Koefisien Biokinetik pada Proses Lumpur Aktif <i>Completely Mixed</i> Menggunakan atau Tanpa Resirkulasi <i>Allen Kurniawan dan Yanuar Chandra Wirasembada</i>	445
3. Konsep Kesetimbangan Massa dan Aliran Hidrolik Model <i>Completely Mixed</i> pada Unit Pengolahan Air Limbah Industri <i>Allen Kurniawan</i>	452
4. Kualitas Air Sungai Jiglong di Kabupaten Pati Jawa Tengah <i>Arieyanti Dwi Astuti</i>	460
5. Efisiensi Pengolahan Amonium Berkonsentrasi Tinggi dalam Lindi pada Sistem Evapotranspirasi Anaerobik secara Kontinyu <i>Badrus Zaman, Purwanto, Sarwoko Mangkoedihardjo</i>	466
6. Logam Berat Timbal (Pb) pada Ikan Belanak di Perairan Segara Anakan Cilacap <i>Cahyadi, Moh. Husein Sastranegara, Agung Dhamar Syakti</i>	471
7. Potensi Keberadaan Polutan Kloroanilin di Sungai Citarum Akibat Biotransformasi Pewarna Azo dari Air Limbah Tekstil <i>Edward Suhendra, Purwanto, Edwan Kardena</i>	475
8. Pengolahan Limbah Cair Industri Kerupuk dengan Sistem <i>Subsurface Flow Constructed Wetland</i> Menggunakan Tanaman <i>Typha Angustifolia</i> Studi Kasus Limbah Cair Sentra Industri Kerupuk Desa Kenanga Kecamatan Sindang Kabupaten Indramayu Jawa Barat	

Hubungan Koefisien Biokinetik Pada Proses Lumpur Aktif *Completely Mixed* Menggunakan atau Tanpa Resirkulasi Allen Kurniawan^{1,*} dan Yanuar Chandra Wirasembada²

¹ Staf Pengajar Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, Program Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

² Mahasiswa Magister Teknik Sipil dan Lingkungan, Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

* Email: allen.kurniawan@gmail.com

ABSTRAK

Koefisien biokinetik berguna untuk mengkarakterisasi setiap saat konsentrasi senyawa kimia yang tersisa pada air limbah, memberikan rekomendasi berupa prediksi level lingkungan saat ini dan di kemudian hari, dan mengeliminasi adanya kontaminan berbahaya sebelum memasuki komponen lingkungan yang rentan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bentuk persamaan yang digunakan untuk mencari nilai optimum waktu tinggal air limbah dan volume bak dengan dipengaruhi adanya koefisien biokinetik terhadap reaktor lumpur aktif *completely mixed* dengan sistem sirkulasi atau tanpa sirkulasi. Pengambilan contoh air limbah dilakukan salah satu industri di Jakarta pada 5 titik sumber dengan sistem tercampur. Data primer diperoleh dari hasil perhitungan kesetimbangan massa dan aliran hidrolis, sehingga konsentrasi *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) influen unit lumpur aktif diperoleh sebesar 418,76 mg/L dan *Total Suspended Solid* (TSS) influen sebesar 129,96 mg/L, serta debit sebesar 10310,4 m³/hari. Salah satu unit pengolahan yang akan dirancang adalah lumpur aktif. Model yang akan dibandingkan dalam menentukan koefisien biokinetik berupa unit pengolahan menggunakan dan tanpa adanya resirkulasi. Koefisien biokinetik meliputi nilai konstanta saturasi (K_s), kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum bakteri (μ_{max}), *microbial yield* (Y) dan koefisien kematian mikroba (k_d). Dua model tersebut diperoleh pendekatan yang identik untuk memperoleh koefisien biokinetik, kecuali penentuan waktu detensi. Untuk menghasilkan volume reaktor yang kecil, nilai K_s kecil diikuti dengan nilai μ_{max} yang besar, sehingga mikroorganisme memiliki afinitas yang tinggi terhadap substrat yang diberikan.

Kata kunci: *completely mixed*, koefisien biokinetik, lumpur aktif, resirkulasi.

1. PENDAHULUAN

Pembuangan air limbah baik yang bersumber dari kegiatan domestik maupun industri ke badan air dapat menyebabkan pencemaran lingkungan apabila kualitas air limbah tidak memenuhi baku mutu limbah, sehingga kualitas lingkungan menurun. Agar dapat memenuhi baku mutu, industri harus menerapkan prinsip pengendalian limbah secara cermat dan terpadu baik di dalam proses produksi dan setelah proses produksi. Pengolahan air limbah dibuat guna menghilangkan material tersuspensi dengan terlarut, mengolah bahan organik *biodegradable*, menghilangkan organisme patogen, mereduksi komponen organik toksik dan menghilangkan kontaminan lainnya.

Jenis pengolahan air limbah terdiri dari pengolahan kimia, fisika, dan biologis. Pengolahan biologis adalah metode yang digunakan untuk menghilangkan atau menyisihkan kontaminan dengan memanfaatkan aktivitas biologis (Metcalf dan Eddy, 2003). Pengolahan biologis terutama dilakukan untuk menyisihkan kandungan bahan organik untuk diuraikan menjadi lumpur biologis dan gas. Walau jenis tipe pengolahan biologis terus berkembang hingga kini, namun pengolahan lumpur aktif (*activated sludge*) merupakan jenis yang umum digunakan karena biaya yang dikeluarkan rendah (Hammami *et al.*, 2007), terutama model *completely mixed*. Jenis pengolahan lumpur aktif ini merupakan modifikasi lumpur aktif konvensional yang menghasilkan mikroorganisme aktif (lumpur aktif) untuk menstabilkan air limbah secara aerobik di dalam suatu reaktor melalui pengadukan merata secara kontinu. *Completely Mixed Activated Sludge* (CMAS) dapat mengurangi terjadinya *shock loading* yang diakibatkan oleh senyawa toksik dan beban organik yang berlebihan.

Salah satu industri terkemuka di Jakarta yang memproduksi bahan kosmetik, sampo, sabun cuci piring dan *lotion* berencana untuk membuat IPAL guna mengimplementasikan upaya-upaya yang sistematis dalam memperbaiki kualitas effluen, melakukan identifikasi dan karakterisasi air limbah, mengatur sistem pengaliran air limbah serta membuat rancangan instalasi pengolahan air limbah. Salah satu bagian dari unit pengolahan yang akan dibuat adalah pengolahan biologis lumpur aktif. Setelah analisis kesetimbangan massa dan aliran hidrolis dilaksanakan secara umum, unit pengolahan biologis perlu ditinjau lebih spesifik guna mengembangkan kesetimbangan massa di dalam sel mikroorganisme dan substrat dengan adanya pengaruh koefisien biokinetik.

Koefisien biokinetik merupakan dasar penting dalam merancang pengolahan biologis, seperti lumpur aktif. Koefisien biokinetik berguna untuk mengkarakterisasi setiap saat konsentrasi senyawa kimia yang tersisa pada air limbah, memberikan rekomendasi berupa prediksi level lingkungan saat ini dan di kemudian hari, dan mengeliminasi adanya kontaminan berbahaya sebelum memasuki komponen lingkungan yang rentan. Konstanta utama yang perlu diperhatikan adalah laju pertumbuhan mikroorganisme maksimum (μ_{max}), konstanta saturasi setengah jenuh (K_s),

koefisien produksi sintesis sel (Y) dan laju kematian endogenous mikroorganisme (k_e) untuk menentukan waktu tinggal biomassa minimum dan volume bak. Melalui model reaktor dengan sirkulasi dan tanpa sirkulasi, pengaruh kinetika biokinetik akan dilihat terhadap nilai waktu tinggal air limbah dan volume bak.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bentuk persamaan yang digunakan untuk mencari nilai optimum waktu tinggal air limbah dan volume bak dengan dipengaruhi adanya koefisien biokinetik terhadap reaktor lumpur aktif *completelymixed* dengan sistem sirkulasi atau tanpa sirkulasi. Pendekatan rumus yang akan digunakan untuk mencapai tujuan tersebut adalah menggunakan pendekatan persamaan Michaelis-Mentern dan Monod.

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan di sebuah industri yang memproduksi bahan kosmetik, shampo, sabun cuci piring dan lotion di Jakarta dari bulan Maret hingga Juli 2013. Hasil akhir dari penelitian ini berupa perencanaan rancangan unit IPAL skala industri, sehingga topik ini merupakan bagian dari penelitian dalam skala yang lebih besar. Komponen yang diamati adalah air limbah yang keluar dari hasil produksi ataupun pencucian alat-alat produksi.

Penelitian diawali dengan penentuan debit puncak air limbah, serta pengambilan contoh (*sampel*) air limbah pada lima titik inlet saluran air limbah untuk dicampur menjadi satu guna mengetahui karakteristik kimia, fisika dan biologi. Dalam kesetimbangan massa, parameter terpilih adalah *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sebagai nilai konsentrasi substrat dan *Total Suspended Solid* (TSS) sebagai nilai konsentrasi padatan. Langkah selanjutnya adalah membuat diagram alir kesetimbangan massa untuk menentukan debit aliran, konsentrasi substrat dan konsentrasi padatan. Dengan melacak keseimbangan debit aliran, padatan dan substrat pada setiap unit pengolahan secara keseluruhan, hubungan antara komponen-komponen yang mendukung mekanisme proses pengolahan dapat diperoleh. Data primer hasil dari perhitungan analisis kesetimbangan massa dan aliran hidrolik untuk unit lumpur aktif tersaji pada Tabel 1.

Tabel 1. Data primer variabel kesetimbangan massa dan debit aliran air limbah pada unit lumpur aktif

Notasi	Deskripsi	Nilai
Q_i	Debit aliran supernatan efluen sedimentasi primer (m ³ /hari)	10310,4
X_i	Konsentrasi TSS supernatan efluen sedimentasi primer (mg/L)	129,96
S_i	Konsentrasi BOD efluen sedimentasi primer (mg/L)	418,76
Q_{IA}	Debit aliran efluen aerasi-lumpur aktif (m ³ /hari)	13300,42
S_I	Konsentrasi BOD efluen aerasi-lumpur aktif (mg/L)	5
Q_{IS}	Debit aliran supernatan efluen sedimentasi sekunder (m ³ /hari)	9766,66
X_I	Konsentrasi TSS supernatan efluen sedimentasi sekunder (mg/L)	10
X_{us}	Konsentrasi TSS aliran bawah (<i>underflow</i>) efluen sedimentasi sekunder (mg/L)	7500

Konsentrasi analisis selanjutnya difokuskan pada pengolahan biologis jenis lumpur aktif *completelymixed*. Pendekatan kinetik terhadap reaksi biokimia berdasarkan Persamaan Michaelis-Mentendikombinasikan dengan Persamaan Monod:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X = Y \frac{dS}{dt} \tag{1}$$

Keterangan:

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

μ = koefisien pertumbuhan mikroorganisme, waktu⁻¹

Koefisien pertumbuhan berdasarkan Persamaan Monod dikembangkan menjadi:

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

Keterangan:

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

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

Laju kematian *endogenous* mikroorganisme (k_e) yaitu:

$$\frac{dX}{dt} = k_e X \tag{3}$$

Ketiga persamaan di atas digunakan sebagai acuan dalam menetapkan kesetimbangan massa di dalam sel mikroorganisme dan substrat, sehingga diperoleh satu pendekatan dalam menghasilkan nilai waktu detensi dan volume bak unit lumpur aktif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

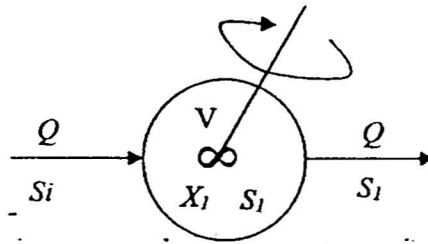
3.1 Hubungan Koefisien Biokinetik CMAS Tanpa Resirkulasi

Ilustrasi reaktor pencampuran sempurna (*completely mixed reactor*) tanpa resirkulasi disajikan pada Gambar 1. Untuk sistem pencampuran sempurna tanpa 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:

$$dX_1 \cdot V = V\mu X_1 dt - V k_e X_1 dt - QX_1 dt \tag{4}$$



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

Persamaan (4) disederhanakan dengan membagi Vdt , sehingga bentuk persamaan berubah menjadi:

$$\frac{dX_1}{dt} = \mu X_1 - k_e X_1 - \frac{Q}{V} X_1 \tag{5}$$

Karena $dX/dt = 0$ pada kondisi *steady state*, dan waktu detensi θ_t berdasarkan laju influent yaitu $\theta_t = V/Q$, Persamaan (5) dapat disusun kembali menjadi:

$$\mu = \frac{1}{\theta_t} + k_e \tag{6}$$

Keseimbangan massa pada substrat yaitu:

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

Secara matematis, persamaan di atas berubah menjadi:

$$dS_1 \cdot V = QS_i dt - QS_1 dt - V[dS_1]_{\text{Growth}} \tag{7}$$

Penurunan substrat saat pertumbuhan mikroorganisme menggunakan Persamaan(1), sehingga $[dS_1]_{\text{Growth}} = (\mu/Y)(X_1) dt$. Persamaan tersebut disubstitusi kedalam Persamaan(7), sehingga:

$$dS_1 \cdot V = QS_i dt - QS_1 dt - V \frac{\mu}{Y} X_1 dt \tag{8}$$

Persamaan (8) disederhanakan dengan membagi Vdt , sehingga bentuk persamaan berubah menjadi:

$$\frac{dS_1}{dt} = \frac{Q}{V} S_i - \frac{Q}{V} S_1 - \frac{\mu}{Y} X_1 \tag{9}$$

Karena $dS_1/dt = 0$ pada kondisi *steady state* dan $\theta_t = V/Q$, Persamaan (9) dapat disusun kembali menjadi:

$$\mu = \frac{Y}{X_1 \theta_i} (S_i - S_1) \tag{10}$$

Untuk sistem tanpa resirkulasi, $\theta_i = \theta_c$ (waktu tinggal sel), sehingga Persamaan (6) dan Persamaan (10) disusun kembali menjadi:

$$X_1 = \frac{Y(S_i - S_1)}{1 + k_e \theta_c} \tag{11}$$

Dengan menggunakan Persamaan (11) dan mengetahui parameter lain, nilai *Mixed Liquor Suspended Solid* (MLSS), X_1 , sangat mungkin untuk ditentukan.

Persamaan lain dapat diberikan pada Persamaan (6) dan Persamaan (2) dengan mensubstitusi $\theta_c = \theta_i$ dan $S_i = S$, sehingga bentuk persamaan berubah menjadi:

$$\frac{1}{\theta_c} = \mu_{max} \left(\frac{S_1}{K_s + S_1} \right) - k_e \tag{12}$$

Persamaan (12) dapat disusun kembali menjadi persamaan berikut:

$$S_1 = \frac{K_s(1 + k_e \theta_c)}{\theta_c(\mu_{max} - k_e) - 1} \tag{13}$$

Persamaan (11), (12) dan (13) merepresentasikan persamaan yang digunakan untuk merancang kolam aerasi pada sistem lumpur aktif tanpa resirkulasi.

Untuk menentukan nilai Y dan k_e , Pers. (6) dan (10) dapat disusun kembali, sehingga:

$$\frac{S_i - S_1}{X_1 \theta_i} = \frac{k_e}{Y} + \frac{1}{Y \theta_i} \tag{14}$$

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 $(S_i - S)/X_1 \theta_i$ dapat diplotkan pada sumbu y, $1/\theta_i$ pada sumbu x, kemiringan garis yaitu $1/Y$ dan perpotongan pada sumbu y yaitu k_e/Y . Untuk menentukan K_s dan μ_{max} , Persamaan (6) dan (2) dapat disusun kembali untuk membentuk persamaan:

$$\left(\frac{\theta_i}{1 + k_e \theta_i} \right) S_1 = \frac{K_s}{\mu_{max}} + \frac{1}{\mu_{max}} S_1 \tag{15}$$

Persamaan ini membentuk persamaan linear, $y = b + mx$, sehingga nilai $[\theta_i / (1 + k_e \theta_i)] S_1$ diplotkan pada sumbu y, nilai S_1 pada sumbu x, kemiringan garis yaitu $1/\mu_{max}$ dan perpotongan pada sumbu y yaitu K_s/μ_{max} .

Kelebihan penggunaan reaktor CMAS tanpa resirkulasi adalah fleksibilitas operasi yang tinggi, menghasilkan limbah lumpur sedikit, perawatan dan operasional cukup mudah, dapat dioperasikan menggunakan *remote*/jarak jauh (Hogyee *et al.*, 2003), membutuhkan lahan yang sedikit dan mampu menghemat biaya operasional karena tidak memerlukan sedimentasi sekunder atau unit lain (EPA, 1999). Adapun kekurangan penggunaan reaktor jenis ini adalah konsumsi energi tinggi, sulit diterapkan untuk komunitas kecil (Hogyee *et al.*, 2003), sistem ini sangat kompleks karena beberapa proses pengolahan digabungkan pada satu unit dan membutuhkan perawatan ekstra karena berkaitan dengan kontrol dan perangkat otomatis (EPA, 1999).

3.2 Hubungan Koefisien Biokinetik CMAS Dengan Resirkulasi

Ilustrasi reaktor pencampuran sempurna (*completely mixed reactor*) dengan resirkulasi disajikan pada Gambar 2. Untuk sistem pencampuran sempurna dengan resirkulasi, kesetimbangan massa di dalam sel mikroorganisme yaitu:

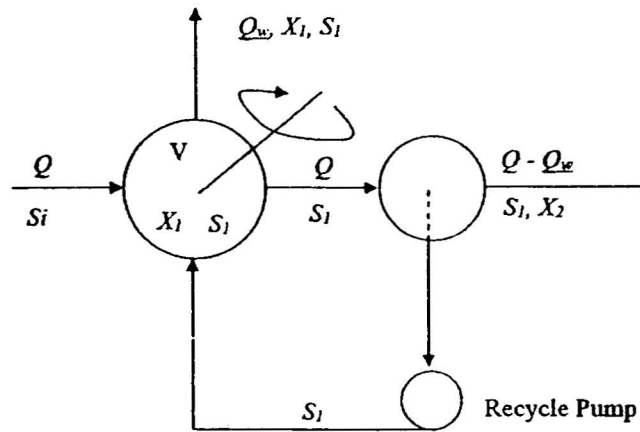
$$[akumulasi] = [pertambahan pertumbuhan] - [pengurangan pembusukan endogen] - [output]$$

Secara matematis, persamaan di atas berubah menjadi:

$$dX_1 \cdot V = V \mu X_1 dt - V k_e X_1 dt - Q_w X_1 dt - (Q - Q_w) X_2 dt \tag{16}$$

Persamaan (16) disederhanakan dengan membagi $V dt$, sehingga bentuk persamaan berubah menjadi:

$$\frac{dX_1}{dt} = \mu X_1 - k_e X_1 - \frac{Q_w X_1}{V} - \frac{(Q - Q_w) X_2}{V} \tag{17}$$



Gambar 2. Pencampuran sempurna (*completely mixed*) lumpur aktif dengan resirkulasi

Karena $dX/dt = 0$ untuk kondisi *steady state* dan dibagi X_1 , Persamaan(17) dapat disusun kembali menjadi:

$$\mu = \frac{Q_w X_1 + (Q - Q_w) X_2}{V X_1} + k_e \tag{18}$$

$\theta_c = (V X_1) / [Q_w X_1 + (Q - Q_w) X_2]$, Persamaan (18) berubah menjadi:

$$\mu = \frac{1}{\theta_c} + k_e \tag{19}$$

Keseimbangan massa pada substrat yaitu:

[akumulasi] = [input] - [output] - [pengurangan pertumbuhan]

Secara matematis, persamaan di atas berubah menjadi:

$$dS_1 \cdot V = Q S_i dt - Q_w S_1 dt - (Q - Q_w) S_1 dt - V [dS_1]_{Growth} \tag{20}$$

Dengan memasukkan nilai $[dS_1]_{Growth} = (\mu/Y) X_1 dt$, Persamaan (20) menjadi:

$$dS_1 \cdot V = Q S_i dt - Q_w S_1 dt - (Q - Q_w) S_1 dt - V \frac{\mu}{Y} X_1 dt \tag{21}$$

Persamaan (21) disederhanakan dengan membagi $V dt$, sehingga bentuk persamaan berubah menjadi:

$$\frac{dS_1}{dt} = \frac{Q}{V} S_i - \frac{Q}{V} S_1 - \frac{\mu}{Y} X_1 \tag{22}$$

Karena $dS_1/dt = 0$ untuk kondisi *steady state* dan $\theta_i = V/Q$, Persamaan(22) dapat disusun kembali menjadi

$$\mu = \frac{Y}{X_1} \left(\frac{S_i - S_1}{\theta_i} \right) \tag{23}$$

Persamaan (23) digabungkan dengan Persamaan (19), sehingga:

$$X_1 = \frac{\theta_c}{\theta_i} \cdot \frac{Y(S_i - S_1)}{1 + k_e \theta_c} \tag{24}$$

atau

$$\theta_t = \frac{\theta_c}{X_1} \cdot \frac{Y(S_t - S_1)}{1 + k_e \theta_c} \tag{25}$$

Persamaan lain dapat diberikan pada Persamaan (19) dan Persamaan (2) dengan mensubstitusi $S_t = S$, sehingga bentuk persamaan berubah menjadi:

$$\frac{1}{\theta_c} = \mu_{max} \left(\frac{S_1}{K_s + S_1} \right) - k_e \tag{26}$$

Persamaan (26) identik dengan Persamaan (12) untuk sistem tanpa resirkulasi. Persamaan (26) dapat disusun kembali, sehingga:

$$S_1 = \frac{K_s(1 + k_e \theta_c)}{\theta_c(\mu_{max} - k_e) - 1} \tag{27}$$

Persamaan (27) identik dengan Persamaan (13) untuk sistem tanpa resirkulasi.

Untuk menentukan nilai Y dan k_e , Persamaan (23) dan (19) dapat digunakan, sehingga persamaan berubah menjadi:

$$\frac{S_t - S_1}{X_1 \theta_t} = \frac{k_e}{Y} + \frac{1}{Y \theta_c} \tag{28}$$

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 $(S_t - S)/X_1 \theta_t$ 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 . Untuk menentukan K_s dan μ_{max} , Persamaan (19) dan (2) dapat disusun kembali untuk membentuk persamaan:

$$\left(\frac{\theta_c}{1 + k_e \theta_c} \right) S_t = \frac{K_s}{\mu_{max}} + \frac{1}{\mu_{max}} S_1 \tag{29}$$

Persamaan ini membentuk persamaan linear, $y = b + mx$, sehingga nilai $[\theta_c / (1 + k_e \theta_c)] S_t$ diplotkan pada sumbu y , nilai S_1 pada sumbu x , kemiringan garis yaitu $1/\mu_{max}$ dan perpotongan pada sumbu y yaitu K_s/μ_{max} .

Kelebihan penggunaan reaktor CMAS dengan resirkulasi adalah mudah dioperasikan, mudah diinstalasi atau dibangun, bebas dari bau, membutuhkan lahan yang kecil, dan menghasilkan limbah lumpur yang rendah. Selain itu, sistem ini menghasilkan efluen yang berkualitas tinggi untuk kemudahan operasional dan biaya perawatan, biaya konstruksi yang rendah dan membutuhkan lahan relatif kecil. Adapun kekurangan penggunaan reaktor jenis ini adalah tidak dapat menghilangkan fosfor atau melakukan denitrifikasi, fleksibilitas terbatas dalam mengubah kebutuhan efluen dan membutuhkan energi yang besar (Hogy *et al.*, 2003).

3.3 Hubungan Koefisien Biokinetik dan Volume Reaktor

Secara umum, konsentrasi substrat di efluen, S_t , diketahui dan μ_{max} , K_s , Y , dan k_e ditentukan dari studi kinetik. Waktu tinggal sel rata-rata yang dibutuhkan, θ_c , dapat ditentukan dari Persamaan (12) atau (26). Dengan mengetahui S_t dan mengasumsikan nilai X_1 , waktu detensi reaktor, θ_t , dapat ditentukan dari Persamaan (25). Volume reaktor yang dibutuhkan yaitu $V = Q\theta_t$. Kajian lapangan maupun laboratorium telah menunjukkan parameter Monod yang khusus untuk air limbah perkotaan dapat dilihat pada Tabel 2.

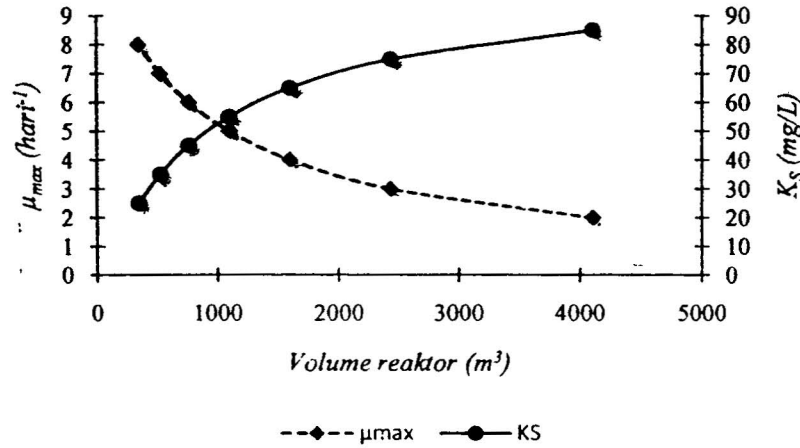
Tabel 2. Koefisien biokinetik dan pertumbuhan Monod untuk proses lumpur aktif

Koefisien	Satuan	Rentang Nilai	Tipikal
μ_{max}	day ⁻¹	2 - 10	5
K_s	mg/l BOD ₅ mg/l COD	25 - 100 15 - 70	60 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).

Dari data primer pada Tabel 1 dan Persamaan (25) dan (26), volume reaktor yang kecil dapat diperoleh dalam rangka efisiensi penggunaan lahan tersedia. Koefisien biokinetik pertumbuhan mikroorganisme berupa koefisien μ_{max} dan K_s , dibuat bervariasi pada rentang nilai yang tersaji pada Tabel 2. Kedua koefisien merupakan parameter yang esensial di dalam proses biodegradasi air limbah pada unit lumpur aktif. Untuk koefisien Y dan k_t merupakan nilai tipikal sesuai dengan Tabel 2. Sesuai dengan kurva pada Gambar 3, nilai μ_{max} dan K_s berbanding terbalik. Semakin kecil nilai K_s , nilai μ_{max} semakin besar. Kondisi tersebut sesuai dengan Persamaan (1) Monod, sehingga waktu detensi θ diperoleh semakin kecil. Nilai θ berbanding lurus dengan volume reaktor.



Gambar 3. Hubungan volume reaktor, μ_{max} dan K_s

Nilai K_s merupakan elemen yang sangat esensial di dalam proses biodegradasi, karena K_s menunjukkan hubungan nilai afinitas dan laju pertumbuhan sel bakteri. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, nilai K_s yang rendah mengindikasikan bahwa mikroorganisme yang digunakan memiliki afinitas yang tinggi terhadap substrat yang diberikan, sehingga laju pertumbuhan bakteri tidak akan terpengaruh pada besar kecilnya konsentrasi substrat. Nilai K_s juga mempengaruhi laju pertumbuhan spesifik bakteri. Karena konsentrasi substrat jauh lebih besar daripada nilai K_s maka laju pertumbuhan spesifik hampir mendekati atau sama dengan laju pertumbuhan spesifik maksimum ($\mu \approx \mu_{max}$). Menurut Grady (1999), proses ini diperkirakan akan mendekati orde nol karena apabila koefisien μ berada di bawah kondisi tersebut, maka μ tidak akan dipengaruhi oleh konsentrasi substrat.

4. KESIMPULAN

Nilai koefisien biokinetik yaitu nilai konstanta saturasi (K_s), kecepatan pertumbuhan spesifik maksimum bakteri (μ_{max}), *microbial yield* (Y) dan koefisien kematian mikroba (k_d) selalu identik antara CMAS resirkulasi dan tanpa resirkulasi. Semakin kecil waktu tinggal air limbah dan volume bak, semakin kecil nilai K_s dan nilai μ_{max} semakin besar, sehingga mikroorganisme memiliki afinitas yang tinggi terhadap substrat yang diberikan.

5. REFERENSI

Environmental Protection Agency, 1999. *Wastewater Technology FactSheet: Sequencing Bath Reactors*, Washington D.C.

Grady Jr., C. P. L., Glen T. Daigger, Henry C. Liu, 1999. *Biological Wastewater Treatment*, Marcel Dekker, New York.

Hammami A. F. Gonzalez, A. Ballester, M. L. Blazquez, J. A. Munoz, 2007. "Biosorption of Heavy Metals by Activated Sludge and Their Desorption Characteristics", *Journal of Environmental Management* 84, p. 419-426.

Hogye, S., Jennifer Hause, Ed Winant PE, Chris Metzgar, 2003. "Explaining the Activated Sludge Process". *Pipeline* Vol. 14(2), p.1-8.

Metcalf and Eddy, 2003. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*, McGraw-Hill, New York.

Reynolds, T. D., Paul A. Richards, 1996. *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, PWS Publishing Company, Boston.