

363.7394

SAB

P

21

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK
MENGUNAKAN MEDIUM TANAH
DALAM SISTEM LAHAN BASAH**



Tesis

Magister Ilmu Lingkungan

**T. Edy Sabli
L4k. 000019**

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

**Juni
2002**

TESIS

**PENGOLAHAN AIR LIMBAH DOMESTIK
MENGUNAKAN MEDIUM TANAH
DALAM SISTEM LAHAN BASAH**

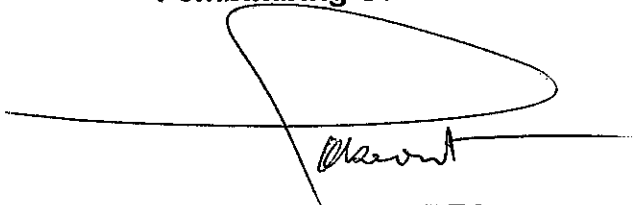
disusun oleh

**T. Edy Sabli
L4K. 000019**

telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 29 Juni 2002
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

**Menyetujui,
Komisi Pembimbing**

Pembimbing Utama



DR. Ir. Purwanto, DEA

Pembimbing Kedua



Ir. Sumarno, M.Si



**Ketua Program Studi
Magister Ilmu Lingkungan**

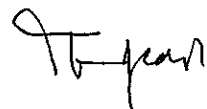

Prof. Dr. Sudharto P Hadi, MES

NIP 130 810 134

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan didalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan lembaga pendidikan lainnya. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penerbitan maupun yang belum/tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, 19 Juni 2002



T. Edy Sabli

*Dari Abu Hurairah r.a bersabda Rasulullah SAW;
Untuk mensucikan bejana yang dijilat anjing
hendaklah dicuci dengan air sebanyak tujuh kali
salah satunya dengan menggunakan tanah
(Hadist Riwayat Muslim)*

*Mengenang
Ayahanda Haji T. Nahar Alwy
yang suhada di tanah suci
buat Istriku Rita, Ananda Yola
dan sanak keluarga tercinta
yang senantiasa memberi semangat*

RIWAYAT HIDUP



Tengku Edy Sabli lahir di Pelalawan - Riau, pada tanggal 21 September 1966. Putra pertama dari tiga bersaudara keluarga Haji T. Nahar Alwy (alm) dan Hajjah T. Ramsimar. Menamatkan pendidikan di SD Sorek Satu (1979), SMP Negeri Pelalawan (1982) dan SMA Negeri Simpangtiga - Pekanbaru (1985).

Memasuki pendidikan tinggi di Institut Pertanian Bogor (1987), meraih gelar sarjana pertanian dari Universitas Islam Riau - Pekanbaru (1991), judul penelitian "Percobaan Teknik Kultur Jaringan Dengan Medium Knudson Plus Bagi Pertumbuhan Plantlet Tomat (*Lycopersicum esculentum* Mill)".

Memperoleh penghargaan dari Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I., sebagai peserta terbaik Lomba Penelitian Ilmiah Remaja (LPIR) tingkat nasional tahun 1985 dengan judul penelitian "Buah Lombo Sebagai Bahan Pengganti Gula". Pemenang pertama Lomba Karya Tulis Ilmiah Populer Tingkat Perguruan Tinggi se- Riau yang diselenggarakan oleh PT. Caltex Pacific Indonesia - Duri (1990), dengan judul "Teknik Kultur Jaringan Serumpun Tanaman Berjuta Anakan".

Penulis adalah staf edukatif tetap pada Fakultas Pertanian Universitas Islam Riau (UIR) sejak tahun 1993. Jabatan yang pernah dipercayakan adalah sekretaris eksekutif Pusat Kajian Pembangunan Pedesaan (*Center for Rural Development Studies*) UIR (1993 - 1997) dan sekretaris Lembaga Penelitian UIR (1997 - 2000). Sebagai dewan redaksi Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Penelitian "Alam" (1995 - 2000) yang diterbitkan berkala oleh Lembaga Penelitian Universitas Islam Riau, Pekanbaru. Disamping itu aktif menulis di surat kabar harian "Riau Pos" dan menghadiri berbagai pertemuan ilmiah baik ditingkat daerah maupun nasional.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah, tesis ini dapat terwujud sesuai rencana. Kritik dan saran masih diharapkan untuk kesempurnaan. Penulis menghaturkan rasa terima kasih kepada DR. Ir. Purwanto, DEA dan Ir. Sumarno, M.Si sebagai pembimbing utama dan pembimbing anggota. Ucapan yang sama kepada DR. Ir. Azis Nur Bambang, M.S dan Ir. Syafrudin, CES, MT sebagai Tim Penguji.

Kepada staf dosen pengampu, pengelola dan tata usaha Program Studi Magister Ilmu Lingkungan serta Ketua Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro yang telah mengizinkan menggunakan fasilitas Laboratorium Penelitian dan Lingkungan, demikian juga kepada staf laboratorium tersebut serta rekan-rekan dan semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian disampaikan juga ucapan terima kasih.

Patut pula diingat budi baik Pemerintah Daerah Propinsi Riau yang memberi bantuan dana, kepada Prof. DR. Ir. H. T. Dahril, M.Sc, Rektor Universitas Islam Riau, DR. Ir. Hasan Basri Jumin, M.S, M.Sc, Pembantu Rektor I (waktu itu) serta Ir. T. Iskandar Johan, Dekan Fakultas Pertanian UIR, yang telah memberi rekomendasi dan izin studi kepada penulis, kiranya mendapat imbalan amal shaleh.

Semoga Allah SWT meridhoi setiap aktivitas kita.

Semarang, 19 Juni 2002

T. E. S

DAFTAR ISI

Isi	Halaman
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR TABEL	Viii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
INTISARI / ABSTRAK	xi
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	6
1.3.Originalitas Penelitian	6
1.4. Tujuan	6
1.5. Manfaat	7
II. TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Prinsip Sistem Lahan Basah	8
2.2. Tumbuhan Air Pada Lahan Basah	11
2.3. Medium Tanah Lahan Basah	12
2.4. Pengolahan Biologis Pada Lahan Basah	18
2.5. Air Limbah Domestik	23
2.6. Definisi Operasional Variabel-variabel	25
III. METODA PENELITIAN	27
3.1. Rancangan Tahap Pertama	27
3.2. Rancangan tahap Kedua	30
3.3. Prosedur Pengoperasian Reaktor	30
3.4. Asumsi Penelitian	32
3.5. Cara Pengukuran	32
3.6. Analisis Data	33
3.7. Permodelan	34
3.8. Tempat dan Waktu Penelitian	34
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1. Hasil Tahap Pertama	58
4.2. Hasil Tahap Kedua	58
V. PERMODELAN	63
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	70
6.1. Kesimpulan	70
6.2. Saran	71
VII. RINGKASAN	72
VIII. DAFTAR PUSATAKA	83
IX. LAMPIRAN	88

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Bakteria dan Aktinomisetes Pada Berbagai Kedalaman Tanah .	13
2.2. Susunan Kimia Tanah Podzolik Merah Kuning	14
2.3. Susunan Kimia Gambut	16
2.4. Komposisi Hara Kompos	17
2.5. Pengaruh Pupuk Organik Terhadap Populasi Mikroorganisme .	19
2.6. Beberapa Jenis Mikroorganisme Proses Biodegradasi	21
3.1. Taraf Perlakuan Untuk Proses Parameter	28
3.2. Perlakuan Untuk Taraf Kondisi Parameter Pada Medium	29
4.1. Rerata Persentase Penurunan COD Dan Pengaruh Faktor	35
4.2. Perbandingan Kondisi Medium Pmk dan Gambut	59
5.1. laju penurunan COD Pada berbagai Faktor Kondisi	67
5.2. Laju Biodegradasi Pada Tanah Pmk Tahap Kedua	68
5.3. Laju Biodegradasi Pada tanah Gambut	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Proses Mikroorganisme Dalam Penguraian Senyawa Organik .	22
3.1. Diagram Alir Proses Penelitian	31
4.1. Efisiensi Penurunan COD Pada Kondisi Operasional	37
4.2. Efisiensi Penurunan COD Pada Medium Pmk dan Gambut	58

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. DESAIN DAN GAMBAR ALAT	88
L1. Desain Sistem Konstruksi Lahan Basah Buatan	88
L1.1. Prototipe Sistem Lahan Basah yang Digunakan	89
L1.2. Salah Satu Kondisi Operasional Medium Tanah	90
L1.3. Konstruksi Sistem Lahan Basah Tampak Depan	90
L1.1. Beberapa Penelitian Sistem Lahan Basah	91
2. TABEL-TABEL PERHITUNGAN	92
L2.1. Pengaruh Kondisi Operasional Metoda Taguchi	92
L2.2. Pengaruh Kadar Lempung	93
L2.3. Pengaruh Kondisi Aerob-anaerob	93
L2.4. Interaksi Kadar Lempung dan Kondisi Aerob-anaerob	94
L2.5. Pengaruh Bahan Organik tanah	94
L2.6. Interaksi Kadar Lempung dan Bahan Organik Tanah	95
L2.7. Interaksi Aerob-anaerob dan Bahan Organik Tanah	95
L2.8. Pengaruh Konsentrasi COD Awal Air Limbah Domestik	96
L2.9. Pengaruh Waktu Detensi	96
L2.10. Interaksi Bahan Organik tanah dan COD Awal	97
L2.11. Interaksi COD Awal dan Waktu Detensi	97
L2.12. Pengaruh Keasaman Tanah	98
L2.13. Interaksi waktu Detensi dan Keasaman Tanah	98
L2.14. Pengaruh Porositas	99
L2.15. Pengaruh Ketebalan Medium Tanah	99
L2.16. Interaksi Porositas dan Ketebalan Medium Tanah	100
L2.17. Parameter Faktor Kondisi Operasional Tanah Gambut	100
3. CARA PENGUKURAN	101
L3.1. Konsentrasi COD Air Limbah	101
L3.2. Kadar Lempung	102
L3.3. Bahan Organik Tanah	104
L3.4. Porositas	105
L3.5. Keasaman Tanah	106
Gambar L3.1. Segitiga Kelas Tekstur Tanah	107

INTISARI

Penelitian tentang pengolahan air limbah domestik menggunakan medium tanah dalam sistem lahan basah telah dilakukan. Sistem lahan basah dimodifikasi tanpa menggunakan tumbuhan air. Penelitian ini bertujuan sebagai studi tentang berbagai kondisi medium tanah dalam sistem lahan basah yang berpengaruh terhadap penurunan COD air limbah domestik. Laju biodegradasi pada reaktor dipelajari dan dilakukan modelisasi. Pemanfaatan hasil penelitian ditekankan pada lahan kritis untuk mengolah air limbah dan sanitasi lingkungan permukiman.

Air limbah domestik yang mengandung bahan organik tinggi telah menyebabkan masalah pencemaran lingkungan. Buangan domestik menyebabkan pencemaran air sekitar 75% di Indonesia. Untuk mengatasi hal tersebut perlu dikembangkan teknologi proses yang lebih baik dan murah. Salah satu alternatif adalah pengembangan sistem lahan basah. Sistem ini memanfaatkan simbiosis mikroorganisme tanah dengan bagian akar tumbuhan air yang mengeluarkan oksigen dan energi matahari. Indonesia sebagai negara tropis yang memiliki keanekaragaman hayati dan lahan yang relatif luas sangat potensial untuk mengembangkan teknologi ini.

Menggunakan metoda Taguchi dengan 16 percobaan, 8 variabel dan 7 faktor interaksi, masing masing terdiri dari dua level yaitu taraf tinggi dan taraf rendah. Adapun faktor variabel adalah kadar lempung, kandungan oksigen tanah, bahan organik tanah, konsentrasi COD awal, waktu detensi, pH tanah dan porositas serta ketebalan medium. Penelitian dibagi menjadi dua tahap, tahap pertama menggunakan tanah podzolik merah kuning (pmk) sedang tahap kedua menggunakan hasil tahap pertama yang berpengaruh dan dibandingkan dengan medium tanah gambut.

Hasil penelitian terhadap faktor kondisi operasional yang berpengaruh penting adalah waktu detensi, kandungan oksigen tanah, kandungan bahan organik tanah dan keasaman tanah, untuk hasil terbaik masing-masing diatur pada taraf tinggi. Efisiensi penurunan COD pada medium tanah pmk adalah 68%-87% sedangkan gambut 74%. Proses biodegradasi lebih cepat dicapai pada medium pmk dibanding gambut.

Beberapa asumsi penyederhanaan dibuat untuk mengembangkan model teori karena tidak mungkin meninjau semua fenomena yang terjadi. Persamaan diferensial disederhanakan dengan asumsi pada biofilter terjadi kondisi *steady-state*, penghilangan cemaran sebagai hasil proses biodegradasi saja. Permodelan merupakan modifikasi persamaan Monod dan Michaelis-Menten. Nilai k percobaan tahap pertama dan kedua pada medium pmk adalah 1,2 dan 1,1. Sementara pada medium gambut diperoleh nilai konstanta laju biodegradasi 0,4.

ABSTRACT

The research for treating domestic wastewater using soil medium in a wetland system has been done, with modified the system without using the aquatic plants. This research has a purpose in studying many condition of soil medium in wetland system which influences for the removal of COD domestic wastewater. Rate of biodegradation in reactor can be learn and make the modelitation, and the result from this research are for the sanitation of the settlement and wasted manufactures.

Domestic wastewater have caused the environment to be polluted by high organic content of the wastewater. Domestic wastewater which causes water pollution were around 75% in Indonesia. According to this this reason, it is important to develop appropriate low cost technology to solve this problem such as developing wetland system. The system tries to take the advantage of mutual activities between the soil microorganism and the aquatic plant roots which releases oxygen and energy from the sun. Indonesia as tropical country has biociversity and extended lands which is potential to develop this technology.

Using the Taguchi Methods with 16 experiment, 8 variabels, and 7 interaction factors. Each consists in two level, high and low level. And this variabel are lempung concentrate, aerob and anaerob condition, soil organic materials, COD concentrate, detention time, soil acidity and medium thickness.

This research divide in two parts, first step using yellow red podzolic ground, and second using the result of the first step wich influences and to peer with medium gambut ground.

The result in operation factor wich has important influences are detention time, soil oxygen concentrate, soil organic material concentrate, and acidity. For the best result, each programs setting in high level. Biodegradation process in yellow red podzolic medium more than in gambut.

Many simple assumption has been follow with the theory which in considered the fenomena happened and this differential can be more simpler with biofilter in wich consist a result steady-state condition, loss the wasted as a process of the biodegradation only. The modeling have used a modification of the Monod and the Michaelis-Menten. Rate constant in first and second examination of yellow red podzolic are 1,2 and 1,1 while in gambut medium consist a rate constant in biodegradation 0,4.

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Masalah utama yang harus dihadapi dunia berkaitan dengan masalah air adalah kecenderungan dimasa mendatang, dunia akan menghadapi krisis air yang berkepanjangan, meningkatnya masalah pencemaran yang memasuki badan air dan jumlah kebutuhan air akan semakin tinggi seiring pertumbuhan penduduk. Terjadinya pencemaran beberapa sumber air, penggundulan hutan yang mengakibatkan erosi tanah, terganggunya fungsi peresapan air, kegiatan pertanian yang mengabaikan kelestarian lingkungan, berubahnya fungsi daerah tangkapan air, serta distribusi air yang tidak merata menunjukkan bahwa perhatian terhadap kelestarian sumberdaya ini perlu secara total ditingkatkan.

Untuk mencegah terjadinya penurunan kualitas sumberdaya air terutama diakibatkan oleh limbah domestik yang dibuang ke badan air, perlu dilakukan strategi untuk mengurangi limbah melalui berbagai cara, diantaranya dengan penerapan konsep pemanfaatan kembali (*reuse*), pendaurulangan (*recycle*) dan ambil-olah (*recovery*).

Air limbah domestik adalah cairan buangan dari rumah tangga, maupun tempat-tempat umum lain yang mengandung bahan-bahan yang dapat membahayakan kehidupan manusia serta mengganggu kelestarian lingkungan (Metcalf dan Eddy, 1993).

Air limbah yang berasal yang berasal dari buangan domestik, apalagi yang mengandung beban organik tinggi, memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air meskipun karakteristik limbah secara mikrobiologis tergolong mudah diuraikan. Bahan organik dan unsur hara lainnya di dalam perairan akan mempercepat perkembangan populasi tumbuhan air. Pertumbuhan tumbuhan air yang tidak terkendali akan menghabiskan oksigen yang terlarut di dalam air. Kondisi demikian lambat laun akan menyebabkan kematian biota dalam badan air (Alaerts dan Santika, 1987).

Kandungan unsur hara yang sangat berlebihan justru akan membahayakan kehidupan di perairan. Kondisi lewat subur seperti ini disebut yutrofikasi. Pada siang hari, produksi oksigen terlarut sangat tinggi, bahkan sering terjadi kondisi lewat jenuh. Sedangkan pada malam hari, sering terjadi kondisi kehabisan oksigen, akibat penggunaan untuk respirasi dan perombakan bahan-bahan organik (Supriharyono, 2000).

Hasil penelitian di wilayah Jakarta dilihat dari segi jumlah, air limbah domestik memberi kontribusi terbesar terhadap pencemaran air yaitu sekitar 75%, air limbah perkantoran dan daerah komersial 15% dan air limbah industri hanya sekitar 10% (Said dan Wahyono, 1999).

Untuk mengakomodasikan pertumbuhan penduduk sampai dengan tahun 2020, diperkirakan 1,75 juta unit rumah dan sekitar 30.000 hektar lahan untuk permukiman tiap tahun harus diadakan.

Bila pengelolaan air limbah domestik tidak dilakukan, dapat dipastikan pencemaran badan air akan terus meningkat pula.

Indikator pencemaran air dapat diketahui dengan uji coba kebutuhan oksigen kimiawi, *Chemical Oxygen Demand* (COD) merupakan salah satu uji coba yang paling penting untuk menentukan kekuatan atau daya cemar air limbah. Uji coba tersebut mengukur oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik pada air limbah. Secara khusus uji coba ini berarti apabila nilai *Biological Oxygen Demand* (BOD) tidak dapat ditentukan karena terdapatnya bahan-bahan beracun. Manfaat lain dari uji coba ini ialah waktunya singkat, hanya sekitar tiga jam dibandingkan untuk uji coba BOD yang memerlukan waktu lima hari (Wardhana, 1995).

Di era otonomi daerah, baku mutu limbah cair khususnya dari kegiatan domestik bervariasi tergantung kebijakan masing-masing daerah tersebut. Namun sebagai gambaran bagi kegiatan hotel berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep-52/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995, kadar maksimum baku mutu ditetapkan COD 50 mg/liter dan 100 mg/liter.

Pengolahan air limbah domestik jarang sekali dilakukan. Sementara unit instalasi pengolahan air limbah yang ada di sebagian industri, juga tidak beroperasi sebagaimana mestinya karena kendala biaya operasional.

Para birokrat, pakar ekonomi dan bahkan juga pakar lingkungan khawatir bahwa pembangunan berwawasan lingkungan berpegangan pada asumsi bahwa pembangunan berwawasan lingkungan memerlukan biaya tambahan sehingga menjadi mahal. Argumentasi ini didukung oleh apa yang disebut Kurva Kuznets. Kurva ini, menunjukkan hubungan antara tingkat pendapatan, *Gross Domestic Product* (GDP) dan kerusakan lingkungan hidup, berbentuk huruf U terbalik. Pada tingkat pendapatan yang rendah, yaitu pada masyarakat yang melarat, kenaikan pendapatan disertai oleh kenaikan kerusakan lingkungan hidup. Baru pada tingkat pendapatan menengah masyarakat mampu untuk menginvestasikan sebagian dari pendapatannya untuk melindungi hidupnya sehingga kenaikan pendapatan disertai penurunan kerusakan lingkungan hidup (Soemarwoto, 2001).

Agar biaya lingkungan dapat ditekan maka perlu dikaji dan ditemukan teknologi pengolahan air limbah yang dapat diterapkan oleh masyarakat. Diantara metoda yang banyak mendapat perhatian saat ini adalah pengolahan air limbah menggunakan teknologi sistem lahan basah (*technology of wetland system*). Sistem ini dianjurkan karena dapat mengolah air limbah domestik, pertanian dan sebagian limbah industri. Pengolahannya tidak berbau, biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan keterampilan yang tinggi (Tanggahu dan Warmadewanthi, 2001).

Pengolahan air limbah secara alami, menggunakan lahan basah diantaranya telah dilakukan di Kota Arcata, Amerika Serikat. Menurut laporan Gearheart (1996), di kota tersebut dibuat tempat pembuangan air limbah tampak seperti sebuah taman. Sekitar sebelas juta liter limbah cair yang dihasilkan kota itu, setiap hari dikumpulkan dan dibersihkan. Sistem penjernihan limbah ini terdiri 750.000 meter persegi di tepi Hudson Bay, merupakan lahan rawa-rawa yang ditumbuhi tanaman rawa seperti cattail dan bulrush.

Pengembangan teknologi sistem lahan basah dimasa yang akan datang, perlu diarahkan agar lahan kritis yang ada dapat dipergunakan untuk mengolah air limbah. Potensi lahan rawa di Indonesia adalah 27,7 juta hektar atau 14,6 % dari luas daratan secara keseluruhan namun karena sulit dikelola, baru dimanfaatkan sekitar 1,5 juta hektar (Sabli, 1985).

Salah satu lingkungan abiotik yang berperan dalam ekosistem lahan basah adalah medium tanah. Belum diketahui kondisi tanah yang berpengaruh terhadap kinerja sistem lahan basah tersebut, karenanya penelitian secara khusus tentang fungsi dan peranan medium tanah dalam sistem lahan basah perlu dilakukan.

1.2. Perumusan Masalah

- a). Faktor kondisi operasional apa saja yang berpengaruh terhadap penurunan COD air limbah domestik pada medium tanah dalam sistem lahan basah ?
- b). Bagaimana permodelan laju penurunan COD air limbah domestik pada tanah podzolik merah kuning dan gambut serta berapa nilai konstanta laju biodegradasinya ?

1.3. Originalitas Penelitian

Inovasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sistem lahan basah (*wetland system*) hanya menggunakan medium tanah saja, tanpa tumbuhan air. Mengkaji secara khusus pengaruh berbagai kondisi operasional medium tanah podzolik merah kuning dan gambut terhadap penurunan COD air limbah domestik. Selanjutnya laju biodegradasi pada reaktor tersebut dipelajari dan dilakukan permodelan.

Penelitian tentang sistem lahan basah sejauh ini masih terkonsentrasi pada kemampuan tanaman sebagai pengolah limbah (fitoremediasi) sementara kajian secara khusus tentang fungsi dan peranan tanah dalam ekosistem lahan basah tersebut belum mendapat perhatian. Lingkungan biotik dan abiotik saling bersimbiose satu sama lainnya, karena itu fungsi dan peranan tanah sebagai medium tidak dapat diabaikan. Sebagai perbandingan dapat dilihat beberapa penelitian sistem lahan basah pada Tabel L1.1 (Lampiran 1).

1.4. Tujuan

- a). Mengkaji tentang berbagai kondisi medium tanah dalam sistem lahan basah yang berpengaruh terhadap penurunan COD air limbah domestik.
- b). Permodelan laju penurunan COD air limbah domestik, mengetahui konstanta laju biodegradasi pada medium tanah podzolik merah kuning dan gambut dalam sistem lahan basah.

1.5. Manfaat

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat :

- a). Pengembangan teknologi rekayasa lingkungan
- b). Instalasi pengolahan air limbah yang ekonomis, efektif dan aplikatif
- c). Memanfaatkan lahan kritis untuk mengolah air limbah
- d). Sanitasi lingkungan permukiman, baik secara komunal maupun individu.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Prinsip Sistem Lahan Basah

Ekosistem lahan basah memiliki kemampuan alamiah untuk menghilangkan berbagai jenis limbah dengan tingkat efisiensi yang bervariasi akibat adanya pengolahan secara biologis (Nichols, 1993). Menurut Hammer dan Bastian (1989), lahan basah adalah habitat peralihan antara lahan darat dan air, jadi bukan merupakan habitat darat ataupun habitat air. Bagian utama dari sistem lahan basah terdiri sebidang tanah yang menyerupai kolam dangkal dan ditanami tumbuhan air. Sistem tersebut memanfaatkan simbiosis mikroorganisme tanah dengan akar tanaman yang mengeluarkan oksigen. Metoda ini berasal dari hasil penelitian Seidel dan Kickuth di Jerman Barat tahun 1960-an. Sejak itu banyak sistem telah dibuat di beberapa negara, seperti di Australia, Inggris, Cina, India dan Mesir. Sistem-sistem ini memakai berbagai konfigurasi yang berbeda jenis media dan tumbuhan airnya (Kurniadi, 2000).

Sistem lahan pencuci limbah teknologi lahan basah ini, merupakan sistem yang pasif, karena itu tidak perlu dilakukan perawatan dan tidak memerlukan energi, kecuali energi sinar matahari untuk proses fotosintesa. Sistem ini dapat menghemat biaya peralatan dan biaya operasional dibanding dengan teknologi mutakhir yang ada.

Konfigurasi dasar dalam mendesain sistem lahan basah buatan umumnya terdiri dari satu atau beberapa unit yang disebut sel. Untuk limbah pertanian atau peternakan, jumlah sel sebanyak 3-4 buah disusun secara seri menghasilkan reduksi efluen paling banyak (Surrency, 1993). Sedangkan untuk limbah lindi, Martin *et al* (1993), menggunakan 10 sel yang disusun seri dan limbah dialirkan ke tiap sel pada permukaan secara gravitasi. Untuk limbah septik tank, Steiner *et al* (1993), mengajukan beberapa alternatif jumlah sel dalam sistem lahan basah yang bisa berupa sel tunggal, dua sel disusun seri, atau multi sel yang disusun seri ataupun paralel. Sistem sel tunggal biasanya digunakan pada lokasi dimana limbah tidak dapat dibuang dengan cara perkolasi karena aliran terlalu deras, pada permukaan air tanah yang dangkal, tanah dangkal di atas batuan cadas, atau pada tanah lempung yang impermeabel.

Tipe aliran air dalam sistem lahan basah bisa menggunakan aliran air dalam ataupun aliran air permukaan. Sistem aliran air dalam biasanya mengandung substrat berpori, karena sistem ini didesain dan dioperasikan untuk menghindari air diam. Shutes *et al* (1993), menganjurkan agar efluen dialirkan ke sistem secara aliran air dalam, agar terjadi kontak yang maksimal antara limbah dengan substrat, sehingga didapat hasil pengolahan yang maksimal. Steiner *et al* (1993), merekomendasikan ketinggian air sekitar 30 cm. Sel yang dangkal dipercaya memiliki aerasi limbah yang lebih baik dari sel yang dalam. Pengontrolan ketinggian air juga diperlukan untuk menghindari air diam.

Penelitian yang dilakukan Setyowati dan Trihadiningrum (2000), untuk air limbah pabrik tahu menyimpulkan bahwa kedalaman media tanam yang optimum adalah 6 cm.

Tangahu dan Warmadewanthi (2001), melaporkan efisiensi penurunan konsentrasi bahan organik air limbah domestik secara optimum terjadi dengan waktu detensi selama 3 hari.

Muatan bahan organik secara berlebihan dapat menyebabkan terjadinya penyumbatan substrat, karena adanya lapisan lendir anaerobik. Pada sistem lahan basah yang tidak menginginkan perkolasi air, permukaan dasar sistem bisa terdiri dari tanah lempung padat. Sistem ini menjaga agar ketinggian permukaan air tetap pada level yang diinginkan (Martin *et al*, 1993).

Konsentrasi bahan organik tersuspended solid dapat dihilangkan dengan proses sedimentasi, sedangkan untuk bahan organik terlarut dihilangkan dengan aktifitas mikroorganisme dan tanaman (Wood, 1993). Nutrien dalam air limbah dimanfaatkan oleh mikroorganisme, sehingga kualitas air limbah meningkat (Gopal, 1999). Sedangkan transformasi nutrien tergantung konsentrasi nutrien di dalam influen, nutrien yang tersedia dari dalam sistem, sedimen, mineral atau bahan organik, dan biota-biota lain (Mitsch dan Gosselink, 1993).

Berdasarkan hasil beberapa penelitian menunjukkan bahwa efisiensi sistem pengolahan air limbah domestik dengan menggunakan sistem lahan basah ini cukup tinggi. Kurniadie (2000) diantaranya,

melaporkan sistem ini mempunyai efisiensi penurunan kadar BOD sebesar 90-97%, $\text{NH}_4\text{-N}$ sebesar 80-96%, COD sebesar 86-97%, total-N sebesar 30-80% dan patogen parasit sebesar 93%.

2.2. Tumbuhan Air Pada Lahan Basah

Perinsip dasar pengolahan air limbah secara biologis adalah pada proses respirasi tanaman hidropita. Tanaman ini mampu mengisap oksigen dari udara melalui daun, batang, akar dan rizomanya yang kemudian dilepaskan kembali pada daerah sekitar perakaran. Kondisi ini memungkinkan aktifitas bakteri pengurai bahan organik pencemar dan unsur hara pencemar meningkat. Fungsi dari tumbuhan air yang lain adalah menjaga konduktivitas hidrolis dari substrat supaya stabil, dan sumber karbon bagi bakteri.

Berbagai jenis tumbuhan air yang biasa ditanam dalam sistem ini diantaranya seperti *Phragmites australis*, *Juncus effusus*, *Typha latifolia* dan *Schoenoplectus lacustris*. Berbagai golongan tumbuhan hidropita dan helopita tumbuh dengan suburnya di Indonesia, namun studi pemanfaatannya sebagai pengolah air limbah masih sangat terbatas.

2.3. Medium Tanah Lahan Basah

Tanah yang umumnya dipakai dalam sistem lahan basah adalah *gravelly sand* dengan angka konduktivitas hidraulik (ks) 499,872 m^3/m^2 .hari, tanah ini mempunyai permeabilitas yang rendah (Novotny dan Olem, 1993).

Chaney *et al* (1997), menyatakan bahwa keadaan tanah yang meliputi permeabilitas, konduktivitas hidrolis sangat berpengaruh pada waktu detensi air limbah. Waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dan air limbah.

Profil tanah yang mencirikan diantaranya, tekstur geluh lempung pasiran, struktur kersai, konsistensi gembur (Wood, 1993 dan Baker, 1999). Sistem klasifikasi taksonomi tanah mengelompokkan seluruh tanah yang ada di muka bumi ini ke dalam 10 ordo, yaitu entisol, aridisol, oxisol, ultisol, alfisol, mollisol, spodosol, vertisol, inceptisol dan histosol. Ordo tanah entisol sampai inceptisol adalah tanah-tanah pelikan, sedangkan ordo histosol adalah tanah organik (Olson, 1981).

Konfigurasi sistem konstruksi lahan basah dapat menggunakan berbagai jenis medium tanah, pasir atau kerikil. Tanah berfungsi sebagai tempat berkembangbiaknya mikroorganisme, terjadinya proses sedimentasi serta berfungsi sebagai medium transformasi kimiawi, tempat penyimpanan bahan-bahan mineral dan nutrien (Hammer, 1992).

Hasil penelitian Surface *et al* (1993), menunjukkan bahwa sel yang berisi media campuran pasir dan kerikil, dengan diameter pasir 0,05 cm dan diameter kerikil 0,5-1 cm, paling efektif menurunkan BOD dan NH_4^+ hingga 70%.

Mikroorganisme yang diharapkan berkembang pada medium tanah adalah heterotropik aerobik, pengolahan ini berlangsung lebih cepat dibandingkan secara anaerobik (Vymazal, 1999).

Tabel 2.1. Bakteria dan Aktinomisetes Pada Berbagai Kedalaman Tanah (Sutedjo dkk., 1996).

Kedalaman (Inci)	Jumlah dalam ribuan/gram, Ditentukan dengan Metoda Piringan			
	<u>Bakteria</u>		<u>Aktinomisetes</u>	
	Jumlah	(%)	Jumlah	(%)
1	7.340	91	743	9
4	5.300	85	935	15
8	2.710	82	612	18
12	950	80	239	20
20	259	51	246	49
30	124	35	240	65

Belum diperoleh data tentang berbagai kondisi tanah yang paling berpengaruh dalam sistem lahan basah, karena itu perlu dilakukan kajian yang lebih intensif.

Salah satu jenis tanah kritis yang potensial untuk digunakan dalam sistem lahan basah adalah tanah podzolik merah kuning (PMK). Tanah PMK ini tergolong tanah yang miskin unsur hara, biasanya ditumbuhi alang-alang dan semak belukar. Tanah ini mempunyai lapisan

permukaan yang sangat terlindi, berwarna kelabu cerah sampai kekuningan di atas horizon akumulasi yang berstekstur relatif berat berwarna merah atau kuning dengan struktur gumpal, agregat kurang stabil dan permeabilitas rendah. Kandungan bahan organik penenuhan basa dan pH rendah (pH 4,2-4,8).

Tabel 2.2. Susunan Kimia Tanah Podzolik Merah Kuning (Darmawijaya, 1992).

Kadar hara tanaman	Profil 1
Dalam 25% HCL	
P ₂ O ₅	0,080
K ₂ O	0,040
CaO	0,300
MgO	0,150
Dalam 2% asam sitrat	
P ₂ O ₅	0,005
K ₂ O	0,015

Jenis tanah kritis lain yang potensial terdapat di lahan rawa merupakan tanah organik (organosol) secara umum dinamakan tanah gambut. Jenis tanah ini mengandung bahan organik sedemikian banyaknya, sehingga tidak mengalami perkembangan profil ke arah terbentuknya horison-horison yang berbeda, berwarna coklat kelam sampai hitam, berkadar air tinggi dan bereaksi asam. Selanjutnya Tan (1982), membagi gambut atas tiga golongan utama, yaitu gambut tinggi (pH 3,5-4,5), gambut peralihan (7,0-7,5) dan gambut rendah (pH 5,0-6,0).

Gambut merupakan timbunan residu tanaman atau bahan organik yang telah terdekomposisi secara tidak sempurna. Gambut yang terjadi di daerah hutan rawa, kandungan haranya rendah, pH rendah sekali, sedangkan daya menahan air dari gambut sangat besar, umumnya dua sampai empat kali lebih besar dari bobot keringnya. Jenis tanah ini kaya akan cendawan dan rhizopoda.

Bahan organik tanah dapat dibedakan atas tiga macam ialah :

- a) *Fibric* yang dekomposisinya paling sedikit, sehingga masih banyak mengandung serabut, C/N >30, berat jenis sangat rendah (BJ kurang dari 0,1), kadar air tinggi berwarna coklat.
- b) *Hemic* merupakan peralihan dengan dekomposisi separuhnya, C/N 15-30, masih banyak mengandung serabut dengan BJ antara 0,07-0,18, kadar air tinggi dan berwarna lebih kelam.
- c) *Sapric* yang dekomposisinya paling lanjut, C/N < 15, kurang mengandung serabut, BJ 0,2 atau lebih, kadar air tidak terlalu tinggi dengan warna hitam dan coklat kelam.

Tabel 2.3. Susunan Kimia Gambut (Darmawijaya, 1992)

Tempat pengambilan contoh gambut	PH (H ₂ O)	Bahan abu	Kadar dalam %				C/N
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	
Bantardawa	-	17,0	17,9	0,2	0,1	2,5	12,4
Rawa Lakbok							
Atas	6,3	45,1	-	0,5	0,2	-	
bawah	5,8	37,4	1,6	0,4	0,1	2,3	
Pangandaran	-	15,8	2,4	0,2	0,1	3,6	
Rawa Mangun							23,6
Atas	4,0	48,4	-	0,3	0,2	1,5	-
Bawah	4,2	41,4	-	0,3	0,1	2,2	-
Barabai	-	16,5	2,5	0,1	0,1	3,3	-
							19,3

Terjadinya berbagai proses kimia, fisika dan biologis, terutama dari aktifitas mikroorganisme dalam tanah diharapkan akan memberi pengaruh baik untuk pengolahan air limbah.

Struktur tanah memang bermacam-macam, akan tetapi yang baik adalah berstruktur gembur, sehingga terdapat ruang berpori-pori. Keadaan tersebut sangat memacu pertumbuhan mikroorganisme (Suin, 1997).

Untuk memperbaiki struktur tanah dianjurkan diberi pupuk organik (pupuk kandang, kompos atau pupuk hijau). Kompos merupakan hasil dari pelapukan bahan-bahan berupa dedaunan, jerami, alang-alang, rumput, kotoran hewan, sampah kota, dan sebagainya. Pengomposan adalah dekomposisi bahan organik segar menjadi bahan yang menyerupai

humus (C/N mendekati 10). Penggunaan kompos sebagai pupuk sekitar 20 ton/hektar tergantung keadaan tanah (Sutejo, 1987).

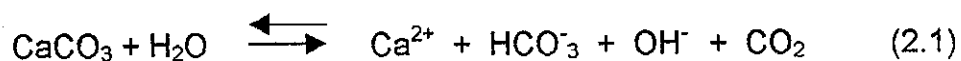
Tabel 2.4. Komposisi Hara Kompos (Marsono dan Lingga, 2000).

Kandungan kompos	Komposisi (%)
Cairan	41
Bahan kering	59
Karbon	8,2
Hara :	
- Nitrogen	0,09
- Fosfor	0,36
- Kalium	0,81
C/N ratio	23

Menurut Tan (1995), dengan memberikan humus pada tanah asam, sebagian hara mikro yang berlebih tersebut terambil dari larutan melalui pembentukan kompleks dengan senyawa-senyawa humat, fraksi yang larut dalam basa, dapat mengurangi bahaya keracunan.

Tanah-tanah tropika biasanya asam dengan pH dibawah 6 (Sutejo, 1987). Selain pemberian pupuk, cara untuk memperbaiki tanah asam adalah dengan pemberian kapur, selain menaikkan pH ada beberapa keuntungan lain yaitu struktur tanahnya menjadi lebih baik dan kehidupan mikroorganisme dalam tanah lebih giat (Uehara dan Gillman, 1981).

Pengapuran berpengaruh baik terhadap agregasi partikel tanah, juga pada aerasi dan perkolasi. Humus yang berinteraksi dengan kapur lebih meningkatkan granulasi dan memperkuat ikatan partikel tanah dengan partikel tanah yang lainnya. Reaksi pengapuran secara sederhana dapat digambarkan dalam persamaan berikut :



Ion OH^- yang dihasilkan segera menetralkan H^+ dan Al^{3+} , sehingga pH tanah dapat meningkat dan aluminium mengendap sebagai aluminium hidroksida. Kompleks jerapan yang bebas dari aluminium dapat diisi oleh kation-kation Ca dari kapur atau kation-kation lain yang berasal dari pupuk atau mineral. Dosis pupuk tergantung kondisi tanah setempat.

2.4. Pengolahan Biologis Pada Lahan Basah

Proses pengolahan air limbah domestik pada sistem lahan basah dominan merupakan pengolahan secara biologis. Jenis-jenis mikroba yang berperan, tergolong kedalam bakteri, mikroalge dan protozoa. Selain mikroba tersebut ada juga jasad lain yang ikut aktif walaupun tidak merupakan jasad utama seperti jamur, serangga air dan hewan kecil lainnya.

Menurut Poerwowidodo (1992), keragaman macam bahan organik yang tinggi, dapat memicu keragaman yang tinggi macam jasad hidup tanah yang berada di loka itu.

Tabel 2.5. Pengaruh Pupuk Organik Terhadap Populasi Mikroorganisme (Sutejo, 1987).

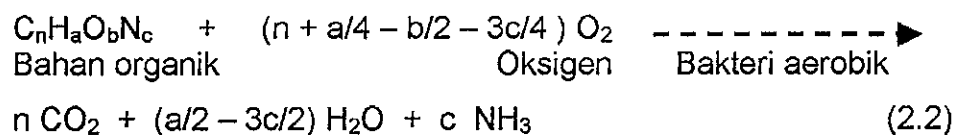
Perlakuan Terhadap Tanah Dalam Beberapa Tahun	PH Tanah	Kadar Zat N (%)	Bakteri (Juta)	Actinomyces (Juta)	Cendawan (Juta)
Tidak dipupuk	4,6	0,07	3,00	1,15	0,06
Dipupuk mineral & organik	5,4	0,11	8,80	2,92	0,07
Dikapur tanpa mineral	6,4	0,08	5,21	2,41	0,02
Pupuk mineral dan ZA	4,1	0,09	2,69	0,37	0,11

Menurut Hadioetomo (1985), keasaman (pH) amat penting bagi pertumbuhan organisme, terutama kerja enzim amat dipengaruhi oleh pH. Sebagian bakteri tumbuh paling baik pada sekitar pH 7. Di pihak lain, patogen biasanya menghendaki pH yang lebih alkalin.

Menurut Darmawijaya (1992), bakteri anaerob dalam tanah gambut, menyelenggarakan proses pembusukan dan penguraian, sehingga terjadi dekomposisi membentuk humus. Proses ini berupa pelarutan bahan yang terlarut, penguraian selulosa dan hemiselulosa yang lambat, akumulasi bagian tanaman yang resisten, seperti liknin, sehingga kadar C relatif menjadi tinggi dan pembentukan protein oleh jasad renik yang memecah selulosa dan hemiselulosa, hidup atas bantuan hasil-hasil penguraian. Dengan demikian bakteri bertambah banyak sehingga kadar N-nya lebih besar dari pada kadar N dalam tanaman hidup.

Apabila kandungan organik di dalam air meningkat dan bakteri mendapatkan sumber nutrisi maka jumlah amoniak bertambah. Proses selanjutnya amoniak dioksidasi menjadi nitrat, sehingga akhirnya senyawa organik bersama-sama dengan nitrat, pospat dan sulfat jumlah bertambah sehingga jumlah bakteri juga akan bertambah pesat sampai mencapai titik maksimum. Bersama dengan penambahan jumlah bakteri, protozoa akan berkembang karena bakteri merupakan sumber makanan protozoa (Mahida, 1984).

Proses penguraian bahan buangan organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme atau oleh bakteri adalah sebagai berikut:



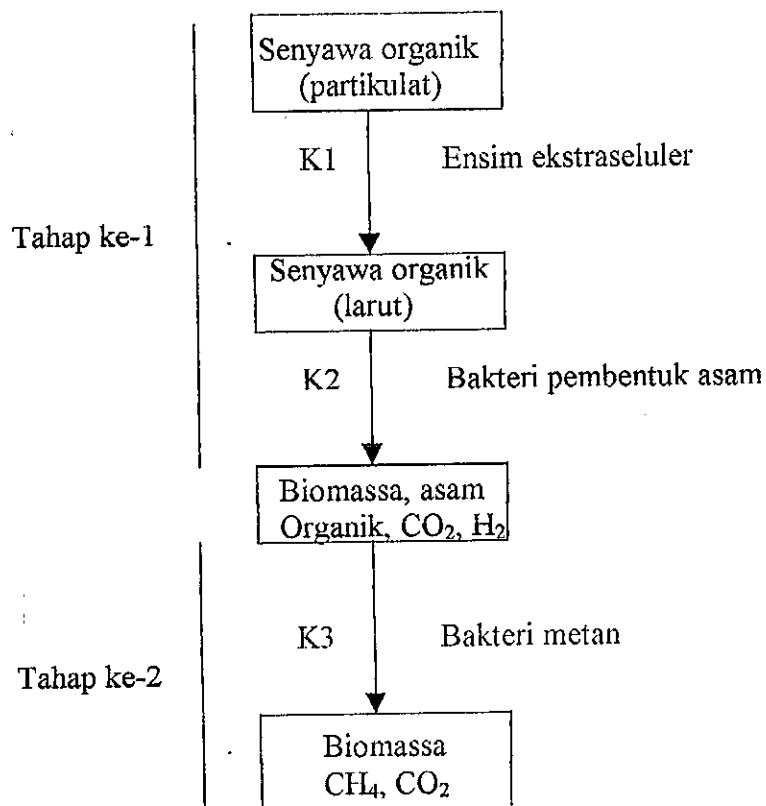
Reaksi tersebut di atas memerlukan waktu yang cukup lama, kira-kira 10 hari. Dalam waktu 2 hari mungkin reaksinya telah mencapai 50%, dan dalam waktu 5 hari mencapai sekitar 75% (Wardhana, 1995).

Tabel 2.6. Beberapa Jenis Mikroorganisme Yang Berperan Dalam Proses Biodegradasi, Penguraian Selulosa (Suriawiria, 1993).

Fungi	Bakteria	Actinomycetes
<i>Alternaria sp.</i>	<i>Bacillus sp.</i>	<i>Micromonospora sp.</i>
<i>Aspergillus sp.</i>	<i>Cellulomonas sp.</i>	<i>Nocardia sp.</i>
<i>Chaetomium sp.</i>	<i>Clostridium sp.</i>	<i>Streptomyces sp.</i>
<i>Coprinus sp.</i>	<i>Corynebacterium sp.</i>	<i>Streptosporangium sp.</i>
<i>Fomes sp.</i>	<i>Cytophaga sp.</i>	
<i>Fusarium sp.</i>	<i>Polyangium sp.</i>	
<i>Myrothecium sp.</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>	
<i>Panicillium sp.</i>	<i>Sporocytophaga sp.</i>	
<i>Polyporus sp.</i>	<i>Vibrio sp.</i>	
<i>Rhizoctonia sp.</i>		
<i>Rhizopus sp.</i>		
<i>Trametes sp.</i>		
<i>Trichoderma sp.</i>		
<i>Trichothecium sp.</i>		
<i>Verticillium sp.</i>		
<i>Zygorhynchus sp.</i>		

Hasil pemecahan bahan buangan oleh mikroorganisme yang memerlukan oksigen (kondisi aerob) dan tanpa oksigen (kondisi anaerob) hasilnya akan berbeda. Kondisi aerob unsur C, N, S dan P masing-masing menjadi CO_2 , $\text{NH}_3 + \text{HNO}_3$, H_2SO_4 dan H_3PO_4 sementara kondisi anaerob menjadi CH_4 , $\text{NH}_3 + \text{amin}$, H_2S dan $\text{PH}_3 + \text{komponen Posfor}$. Hasil pemecahan pada kondisi anaerob pada umumnya berbau tidak enak. Seperti amin berbau amis dan anyir, sedangkan H_2S dan komponen posfor akan berbau busuk. Mengingat hal ini air lingkungan kondisi aerob jangan sampai berubah menjadi kondisi anaerob (Brix, 1993).

Pada umumnya, air di alam juga mengandung mikroorganisme yang dapat memecahkan dan mendegradasi bahan buangan organik. Jumlah mikroorganisme tergantung pada tingkat kebersihan air. Air yang jernih biasanya mengandung mikroorganisme yang relatif sedikit dibandingkan dengan air yang tercemar oleh bahan buangan (Wardhana, 1995).



Gambar 2.1. Proses Mikroorganisme Dalam Penguraian Senyawa Organik (Suriawiria, 1993).

2.5. Air Limbah Domestik

Menurut Mara dan Cairncross (1994), laju penghasil air limbah biasanya antara 80 dan 200 liter per orang per hari atau sekitar 30-70 m³ per orang per tahun. Bila dalam rumah tangga rata-rata terdiri dari 5 orang akan dihasilkan 400 sampai 1000 liter per hari.

Air limbah dari buangan domestik di Jakarta, rata-rata per orang per hari adalah 118 liter dan tahun 2010 nanti diperkirakan akan meningkat menjadi 147 liter. Sedang dari jumlah air limbah secara keseluruhan, buangan yang berasal dari permukiman penduduk memberi kontribusi utama terjadinya pencemaran badan air, yaitu sekitar 60% sampai 75% (Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup RI, 1997; Said dan Wahyono, 1999).

Nilai COD air limbah kasar sangat berbeda-beda, berkisar antara 200 mg/liter untuk air limbah yang sangat encer sampai 1200 mg/liter atau lebih untuk limbah terpadu, seperti air limbah kota yang belum diolah. Air limbah rumah tangga misalnya, memiliki karakteristik banyak mengandung bahan organik dengan COD 220-800 mg/liter (Veenstra, 1995; Sastrawijaya, 2000).

Suriawiria (1993), mengemukakan kalau kadar organik dari buangan bernilai rendah, maka konsentrasi nutrien akan rendah pula, sehingga mikroalga akan lebih baik tumbuhnya daripada bakteri. Dalam kondisi air masih jernih mikroba belum melakukan aktifitasnya, maka keadaan jasad akan konstan. Tetapi begitu ada buangan masuk ke

dalamnya bakteri merupakan jasad yang pertama aktif. Dengan bantuan oksigen dari hasil fotosintesa mikroalga atau oksigen terlarut, elemen-elemen anorganik di dalam aliran air sebagai sumber nutrisi akan berkurang sehingga mikroalga jumlahnya mulai berkurang.

Menurut Mara dan Cairncross (1994), bahan padat terambang, koloid dan terlarut yang terdapat dalam air limbah domestik mengandung unsur hara utama seperti nitrogen, fosfor dan kalium dan juga unsur runtu seperti tembaga, besi dan seng. Jumlah kandungan nitrogen dan fosfor dalam air limbah tak-terolah biasanya berkisar berturut-turut antara 10-100 mg/liter dan 5-25 mg/liter dan kalium berkisar antara 10-40 mg/liter.

Pemanfaatan air limbah dalam bidang pertanian bahkan telah dilakukan sejak pertengahan abad 19. Dikebanyakan negara tersebut, dorongan untuk melakukan pertanian limbah riol lebih dimaksudkan untuk mencegah pencemaran sungai. Di Inggris semenjak tahun 1865, di Amerika Serikat tahun 1871, di Perancis tahun 1872, di Jerman tahun 1876, di India tahun 1877, di Australia tahun 1893 dan di Meksiko tahun 1904 (Mahida, 1984).

2.6. Definisi Operasional Variabel-variabel

Air limbah domestik adalah semua buangan yang berasal dari kamar mandi, kakus, dapur, tempat cuci pakaian, cuci peralatan rumah tangga, hotel, restoran, kompleks permukiman, air limbah kota, jalan dan terminal.

Kadar lempung (*loam*) merupakan salah satu klasifikasi tekstur tanah menurut Sistem Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA), secara kuantitatif menggambarkan susunan relatif berat fraksi-fraksi tanah, yaitu pasir (0,05-2,0 mm), debu (0,002-0,05) dan liat (<0,002 mm) ditentukan berdasarkan segitiga kelas tekstur tanah (Lampiran 3, Gambar L3.1).

Kondisi aerob-anaerob berkaitan dengan reaksi yang memerlukan oksigen (O_2) dan tanpa oksigen.

Bahan organik tanah merupakan hasil perombakan dan penyusunan yang dilakukan oleh mikroorganisme tanah terdiri dari senyawa karbohidrat, protein, lignin serta sejumlah kecil minyak dan lilin.

Kebutuhan oksigen kimia atau *Chemical Oxygen Demand* disingkat COD, adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada di dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia.

Waktu detensi adalah lamanya waktu kontak antara medium tanah dengan air limbah.

Keasaman tanah secara umum dinyatakan dengan pH tanah dari 0 – 14.

Reaksi tanah paling asam < 4, sangat asam 4,0-4,5, asam 4,5-5,5 dan agak asam 5,5-6,5. Netral 6,5-7,5, agak basa 7,5-8,5, basa 8,5-9,0 dan sangat basa 9,0.

Porositas tanah atau volume ruang pori total adalah perbandingan volume pori dengan volume total yang dinyatakan dengan indeks volume pori relatif (f). Nilai f biasanya berkisar antara 0,3-0,6.

Ketebalan medium yaitu ketebalan tanah yang dipergunakan dalam reaktor sistem lahan basah buatan.

BAB III. METODA PENELITIAN

3.1. Rancangan Tahap Pertama

Merupakan percobaan pendahuluan, bertujuan untuk menentukan pengaruh berbagai kondisi medium tanah dalam sistem lahan basah terhadap persentase penurunan COD air limbah domestik.

Tanah yang digunakan jenis podzolik merah kuning (PMK) yang berasal kawasan Kecamatan Sumowono, Kabupaten Semarang. Sebelum reaktor dioperasikan terlebih dahulu dilakukan proses perlakuan taraf parameter tersebut sesuai urutan percobaan dan dilakukan secara acak.

Percobaan ini dirancang menggunakan Metoda Taguchi (Bagchi, 1993; Semwal, 1997) terdiri dari 16 percobaan dengan 15 faktor kondisi operasi, masing-masing terdiri dari dua taraf, yaitu level tinggi dilambangkan dengan angka 1 dan level rendah yang dilambangkan dengan angka -1. Tabel lengkap matrik $L_{16} (2^{15})$ seperti tercantum pada Lampiran 2.

Adapun 8 variabel dan taraf perlakuan yang ditetapkan dalam penelitian ini dikemukakan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Taraf Perlakuan Untuk Proses Parameter

Parameter	Satuan	Taraf 1	Taraf 2
A Kadar lempung	%	54	31
B Kondisi aerob-anaerob	-	aerob	anaerob
C Bahan organik tanah	%	39	6
D Konsentrasi COD awal	mg/L	795	280
E Waktu detensi	hari	4	2
F Keasaman tanah	-	8,4	5,9
G Porositas	%	50	28
H Ketebalan medium	cm	10	5

Sumber : Hasil analisa (2002)

Peningkatan taraf kadar lempung dilakukan dengan pemberian tanah ukuran diameter jarah 0,002 mm. Bahan organik tanah ditambah dengan pemberian kompos, sedang kondisi aerob-anaerob dalam kondisi rendah, dilakukan dengan perendaman medium terlebih dahulu agar pori-pori tanah dominan terisi oleh air. Sementara konsentrasi COD air limbah domestik taraf tinggi berasal dari air limbah kota, diambil dari Polder Tawang, Kota Lama, Semarang. Untuk konsentrasi COD air limbah level rendah berasal dari air buangan rumah tangga di sekitar kampus Universitas Diponegoro, Tembalang. Upaya peningkatan keasaman tanah dilakukan dengan pengapuran, sedangkan agar porositas meningkat dilakukan dengan cara pengemburan medium tersebut. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Perlakuan Untuk Taraf Kondisi Parameter Pada Medium Tanah Podzolik Merah Kuning

Parameter	Taraf Tinggi	Taraf Rendah
Kadar lempung	Ditambah tanah ukuran diameter jarah 0,002 mm, setelah tanah diaerasi selama 28 jam	Tanpa perlakuan
Aerob-anaerob	Tanpa perlakuan	Tanah direndam air selama satu minggu
Bahan organik	Penambahan kompos	Tanpa perlakuan
Keasaman	Penambahan kapur	Tanpa perlakuan
Porositas	Tanah digemburkan	Tanpa perlakuan

Diperlukan sebanyak 16 medium tanah podzolik merah kuning dengan kondisi parameter yang berbeda. Level tinggi dan level rendah ditetapkan berdasarkan hasil analisa laboratorium. Untuk keperluan analisa tersebut diperlukan masing-masing 1 kg tanah.

3.2. Rancangan Tahap Kedua

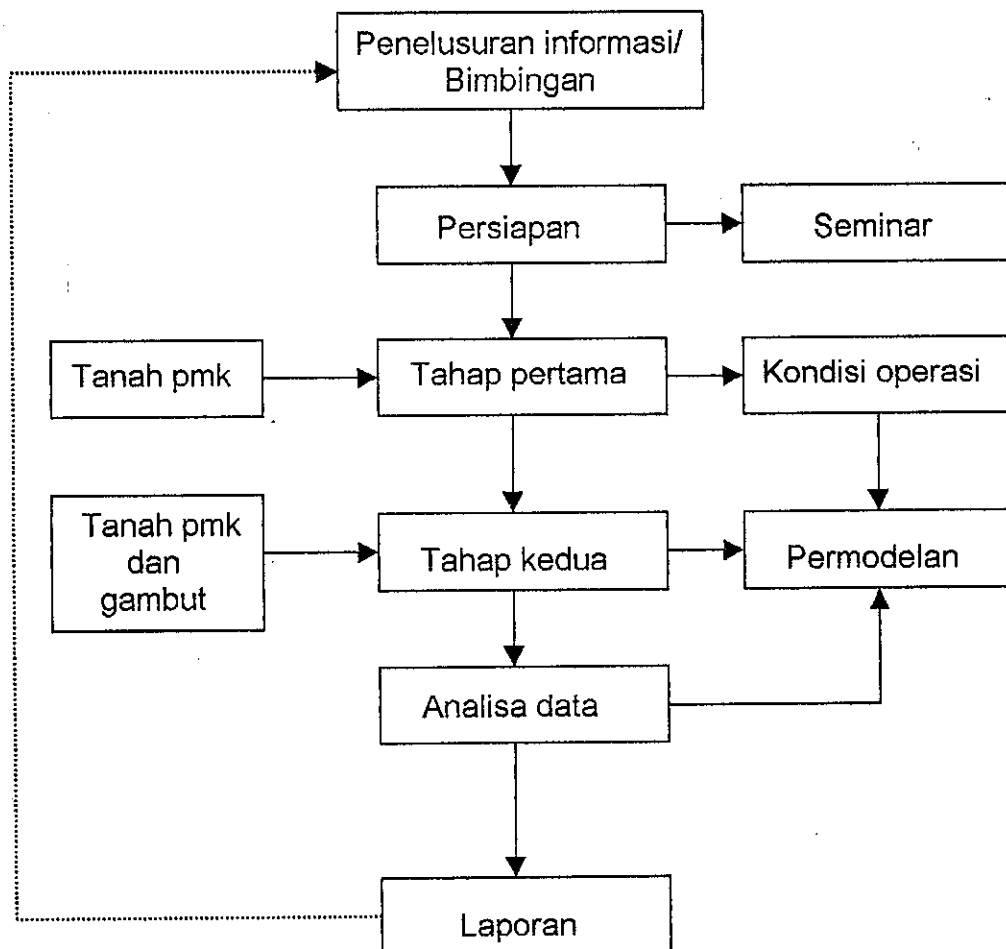
Merupakan penelitian intensif terhadap hasil percobaan satu yang berpengaruh dan memberi hasil efisiensi laju penurunan COD air limbah domestik yang tertinggi. Pengamatan laju penurunan COD dilakukan secara periodik dua hari sekali selama 10 hari. Reaktor menggunakan medium yang terdiri dari dua jenis tanah berbeda yaitu podzolik merah kuning dan tanah gambut. Tanah gambut diambil dari Rawapening, Kabupaten Semarang. Gambut tersebut tidak diberikan faktor perlakuan sebagaimana tanah podzolik merah kuning, hanya untuk pembanding dan dianggap menggambarkan kondisi tanah dalam sistem lahan basah alami.

3.3. Prosedur Pengoperasian Reaktor

Sistem konstruksi lahan basah buatan ini terdiri dari dua unit. Masing-masing memiliki satu reaktor, dilengkapi dengan tiga sel lainnya, satu sel berfungsi untuk tempat cadangan air limbah, satu sel dengan level tinggi air konstan dan satu sel penjernih (Lampiran 1). Sel terbuat dari konteiner plastik berdiameter 30 cm dan tinggi 30 cm. Sel disusun secara seri seperti anak tangga. Lantai bagian bawah reaktor dibuat berlubang. Medium tanah dipersiapkan sesuai perlakuan.

Saluran influen menggunakan saringan agar distribusi air merata, sedang saluran efluen terletak di bagian bawah lantai berlubang. Laju alir influen dan efluen dapat diatur sedemikian rupa.

Prosedur pengoperasian reaktor; pertama air limbah dimasukkan ke dalam sel pertama, kemudian dialirkan secara perlahan ke sel kedua dengan tinggi permukaan dijaga agar tetap konstan, selanjutnya ke sel reaktor dan sel penjernih. Aliran air berdasarkan gerak gravitasi, dengan laju alir yang ditentukan 1,2 liter/jam.



Gambar 3.1. Diagram Alir Proses Penelitian

3.4. Asumsi Penelitian

Asumsi yang dipakai dalam penelitian ini adalah :

1. Tidak terjadi aliran turbulen dalam biofilter, turbulensi diabaikan karena aliran pada operasi biofilter adalah laminar.
2. Komposisi material tanah homogen.
3. Kepadatan dan distribusi biomasa mikroba homogen.
4. Adsorpsi reversibel.
5. Adveksi dan difusi adsorbat pada air atau biofilm diabaikan.
6. Reaksi biodegradasi dianggap optimum pada pengukuran COD akhir.
7. Perbandingan BOD dan COD adalah 1 : 2 (Biodegradabel).
8. Faktor kondisi taraf tinggi dan taraf rendah, ditetapkan berdasarkan hasil analisa.

3.5. Cara Pengukuran

Sampel air limbah domestik dianalisis kandungan bahan organik, dinyatakan dengan parameter COD sesuai dengan standard prosedur analisis yang terdapat dalam Standard Methods (APHA, 1995) dan Metoda Penelitian Air (Alaerts dan Santika, 1987). Pengamatan akhir masing-masing percobaan dilakukan pada hari ke enam. Analisa tanah untuk menentukan nilai kadar lempung, kandungan oksigen, bahan organik, keasaman dan porositas dilakukan sebelum reaktor dioperasikan. Cara pengukuran lebih rinci tercantum pada Lampiran 3.

3.6. Analisis Data

Data yang diperoleh dari percobaan satu, dianalisis untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variabel dan interaksinya.

Perhitungan persentase laju penurunan COD air limbah domestik adalah sebagai berikut :

$$\% \text{ Laju penurunan COD} = \frac{(\text{COD awal} - \text{COD akhir})}{\text{COD awal}} \times 100$$

Untuk mengetahui pengaruh masing-masing faktor variabel dilakukan perhitungan dengan cara :

$$1. \text{ Pengaruh Faktor A} = A_{\text{taraf 1}} - A_{\text{taraf 2}}$$

$$= \frac{y_1+y_2+y_3+y_4+y_5+y_6+y_7+y_8}{8} - \frac{y_9+y_{10}+y_{11}+y_{12}+y_{13}+y_{14}+y_{15}+y_{16}}{8}$$

$$2. \text{ Pengaruh Faktor B} = B_{\text{taraf 1}} - B_{\text{taraf 2}}$$

$$= \frac{y_1+y_2+y_3+y_4+y_9+y_{10}+y_{11}+y_{12}}{8} - \frac{y_5+y_6+y_7+y_8+y_{13}+y_{14}+y_{15}+y_{16}}{8}$$

$$3. \text{ Pengaruh Faktor AB} = AB_{\text{taraf 1}} - AB_{\text{taraf 2}}$$

$$= \frac{y_1+y_2+y_3+y_4+y_{13}+y_{14}+y_{15}+y_{16}}{8} - \frac{y_5+y_6+y_7+y_8+y_9+y_{10}+y_{11}+y_{12}}{8}$$

Demikian seterusnya dilakukan sesuai jumlah faktor kondisi, yaitu sebanyak 15 faktor.

3.7. Permodelan

Untuk mendapatkan model laju penurunan COD air limbah domestik pada medium tanah dalam sistem lahan basah dilakukan perhitungan secara matematis berdasarkan hasil percobaan.

3.8. Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Lingkungan, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, selama 4 bulan dimulai sejak Bulan Maret sampai Juni Tahun 2002.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Tahap Pertama

Dari berbagai kondisi operasional yang dilakukan pada medium tanah dalam sistem lahan basah, diperoleh hasil persentase penurunan COD air limbah domestik dan nilai pengaruh masing-masing faktor perlakuan seperti dikemukakan pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1. Rerata Persentase Penurunan COD dan Pengaruh Berbagai Faktor Kondisi Operasional Tahap Pertama

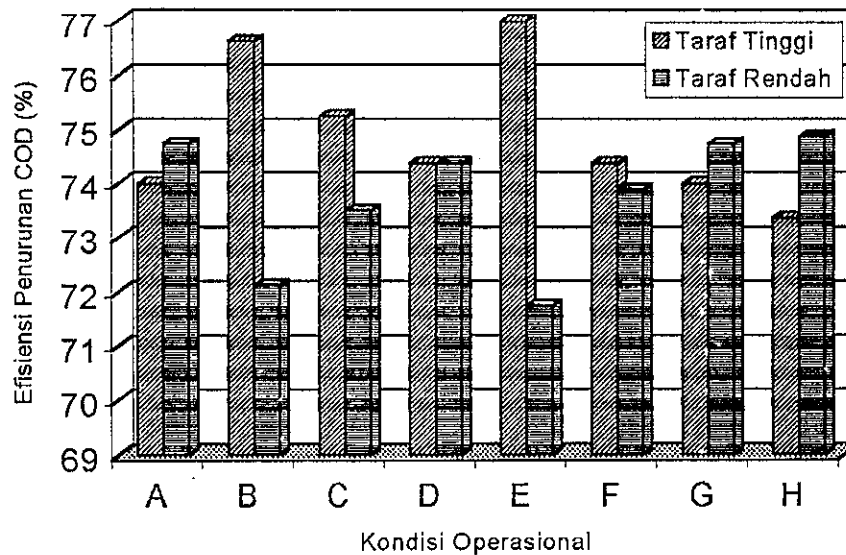
Faktor Percobaan	Taraf 1	Taraf 2	Efek
Kadar lempung (A)	74.00	74.75	-0.75
Kondisi aerob-anaerob (B)	76.63	72.13	4.50
Interaksi kadar lempung dan kandungan oksigen (AB)	73.63	75.13	-1.50
Bahan organik tanah (C)	75.25	73.50	1.75
Interaksi kadar lempung dan bahan organik tanah (AC)	73.25	75.50	-2.25
Interaksi kondisi aerob-anaerob dan bahan organik (BC)	74.63	74.13	0.50
Konsentrasi COD awal air limbah (D)	74.38	74.38	0.00
Waktu detensi (E)	77.00	71.75	5.25
Interaksi bahan organik tanah dan COD awal (CD)	73.25	75.50	-2.25
Interaksi COD awal dan waktu detensi (DE)	75.38	73.38	2.00
Keasaman tanah (F)	74.88	74.88	1.00
Interaksi waktu detensi dan keasaman tanah (EF)	74.50	74.25	0.25
Porositas (G)	74.00	74.75	-0.75
Ketebalan medium (H)	73.88	74.88	-1.00
Interaksi porositas dan ketebalan medium (GH)	75.63	73.13	2.50

Sumber : Hasil Perhitungan (2002)

Dari tabel di atas diperoleh gambaran faktor kondisi dan interaksi yang memberi pengaruh utama terhadap efisiensi laju penurunan COD air limbah domestik. Dari delapan faktor kondisi tersebut, terdapat empat faktor yang bernilai positif, bila diurutkan berdasar nilai yang tertinggi

masing-masing adalah waktu detensi (5,25), kondisi aerob-anaerob (4,50) dan bahan organik tanah (1,75), selanjutnya diikuti oleh faktor keasaman tanah (1,00). Satu faktor tidak menunjukkan pengaruh yaitu konsentrasi COD awal air limbah domestik (0,00). Tiga faktor kondisi yang lain memberi nilai pengaruh negatif, masing-masing ketebalan medium (-1,00), kadar lempung (-0,75) dan porositas (-0,75).

Perhitungan terhadap interaksi faktor kondisi memberi indikasi keterkaitan masing-masing faktor yang diamati. Dari tujuh interaksi, empat faktor bernilai positif, bila diurut dari yang tertinggi adalah interaksi porositas dan ketebalan medium (2,50), COD awal dan waktu detensi (2,00), kondisi aerob-anaerob dan bahan organik tanah (0,50) serta interaksi waktu detensi dan keasaman tanah (0,25). Sementara terdapat tiga interaksi yang bernilai negatif yaitu interaksi kadar lempung dan bahan organik tanah (-2,25), bahan organik tanah dan COD awal (-2,25) serta kadar lempung dan kondisi aerob-anaerob (-1,50). Efisiensi penurunan COD air limbah domestik pada masing-masing kondisi operasional dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut :



Gambar 4.1. Efisiensi Penurunan COD Pada Kondisi Operasional Taraf Tinggi dan Taraf Rendah

Efisiensi penurunan COD air limbah tertinggi yaitu 77% diperoleh pada saat kondisi operasional dengan waktu detensi (E) selama 4 hari, sebaliknya dengan waktu detensi 2 hari memiliki nilai terendah yaitu 71,75%.

4.1.a. Variabel Dan Interaksi Yang Berpengaruh Positif

a.1. Waktu Detensi

Pengaruh berbagai faktor kondisi operasional terhadap efisiensi penurunan COD air limbah domestik yang paling penting adalah waktu detensi, kandungan oksigen tanah dan bahan organik tanah. Kemudian diikuti faktor keasaman tanah, ketebalan medium dan porositas serta

kadar lempung. Sementara konsentrasi COD awal air limbah ternyata tidak memberi pengaruh.

Untuk mendapatkan nilai efisiensi penurunan COD yang tinggi waktu detensi diatur dengan taraf tinggi. Waktu detensi 4 hari menunjukkan hasil lebih baik, yaitu sebesar 77% dibandingkan dengan waktu detensi 2 hari hanya 71,75%. Waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dan air limbah. Tangahu dan Warmadewanthi (2001) melaporkan hasil penelitiannya mengolah air limbah domestik menggunakan sistem lahan basah, ternyata efisiensi penurunan bahan organik (COD) optimum terjadi dengan waktu detensi 3 hari, dibandingkan dengan 2 hari dan 1 hari.

Menurut Chaney *et al* (1997), keadaan tanah yang meliputi permeabilitas sangat berpengaruh pada waktu detensi air limbah. Waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dan air limbah.

Selama awal operasi reaktor, kapasitas adsorptif dari biofilter tanah merupakan proses dominan penghilangan cemaran. Setelah material biofilter jenuh dengan cemaran, proses dominan penghilangan cemaran adalah proses biologis. Waktu detensi yang singkat menyebabkan proses penghilangan cemaran dalam reaktor masih pada tahap adsorpsi dan belum mencapai titik jenuh sehingga proses biologis belum terjadi dengan sempurna.

Adsorpsi tanah adalah proses dimana atom, partikel atau molekul suatu zat terikat pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik menarik dari atom atau molekul pada lapisan bagian luar atau permukaan padat. Partikel, atom atau molekul yang ditarik disebut adsorbat (fase teradsorpsi), sedangkan zat yang menariknya disebut adsorben. Gaya-gaya yang bertanggungjawab atas reaksi adsorpsi (jerapan) mencakup gaya fisik, ikatan hidrogen, ikatan elektrostatik dan reaksi koordinasi.

Bila suatu kation dalam larutan mengadakan kontak dengan suatu medium penyerap (tanah), maka timbul reaksi adsorpsi-adsorpsi antara fase larutan dengan fase padat. Pada umumnya reaksi ini bisa berlangsung sesaat dimana konsentrasi keseimbangan segera tercapai dan sesudah itu timbul adsorpsi kinetik yang tergantung pada waktu dimana konsentrasi dalam tanah dan larutan berubah hingga mendekati keadaan seimbang (Tan, 1995).

Menurut Wood (1993), kadar lumpur dalam sistem lahan basah diturunkan dengan proses sedimentasi. Saat air limbah mengalir melewati partikel tanah dalam waktu detensi tertentu, kedalaman media dan kecepatan tertentu, memberi kesempatan partikel solid mengendap (Gopal, 1999). Dengan adanya proses pengendapan ini, maka akan mengurangi kebutuhan oksigen pada pengolahan biologis berikutnya.

Seperti yang dikemukakan Wardhana (1995), proses penguraian bahan organik melalui proses oksidasi oleh mikroorganisme memerlukan waktu yang cukup lama, kira-kira 10 hari. Dalam waktu 2 hari mungkin

reaksinya telah mencapai 50% dan dalam waktu 5 hari mencapai sekitar 75%.

a.2. Pengaruh Kondisi Aerob-anaerob

Fenomena lain yang memberi pengaruh penting untuk diamati dalam penelitian ini adalah kondisi aerob-anaerob. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi aerob memberikan pengaruh terhadap efisiensi penurunan COD air limbah rerata sebesar 76,63% lebih besar dibandingkan kondisi anaerob hanya mampu menurunkan COD air limbah rerata sebesar 72,13%.

Dari hasil penelitian ini dapat direkomendasikan agar pada sistem lahan basah sebaiknya ditanami tumbuhan air terutama jenis tumbuhan yang mempunyai ruang antar sel atau lubang saluran udara (*aerenchyma*) sebagai alat transportasi oksigen dari atmosfer ke bagian perakaran (*rhizosphere*) di dalam tanah.

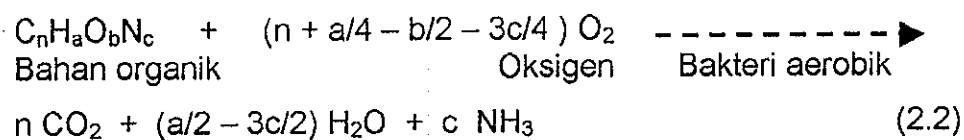
Sistem lahan basah didefinisikan oleh Hammer (1991) sebagai sistem pengolahan yang memasukan tiga faktor utama yaitu area yang tergenangi air dan mendukung hidup tumbuhan air sejenis hidrofita, media tempat tumbuh berupa tanah yang selalu digenangi air (basah) dan media bisa juga bukan tanah, tetapi media jenuh dengan air.

Berdasarkan penelitian Armstrong (1990), jumlah oksigen yang dilepaskan dari 150 batang tanaman/m², dimana tiap batang terdiri dari 10 akar adventif, tiap akar adventif berisi 600 akar lateral adalah berkisar

5-12 g O₂/m²/hari. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Brix dan Schierup (1990), setiap akar lateral tanaman cattail (*Typha angustifolis*) melepaskan oksigen 0,02 g O₂/m²/hari.

Udara tanah menempati bagian ruang pori-pori makro antara agregat-agregat sekunder tanah. Udara tanah tersebut sangat penting artinya bagi pernafasan akar tanaman dan kegiatan jasad hidup dalam tanah. Terutama jasad hidup tanah yang aerobik sangat membutuhkan oksigen untuk menunjang aktivitasnya menguraikan bahan organik.

Seperti yang dikemukakan Wardhana (1995) proses oksidasi oleh mikroorganisme adalah sebagai berikut :



Udara tanah merupakan fase gas dalam sistem tanah yang kompleks, yang komposisinya berbeda dari satu tempat ke tempat lain atau dari waktu ke waktu, terutama dalam hubungan yang timbal-balik dengan kandungan air tanah (Islamie, 1995). Udara tanah ini berbeda dengan keadaan udara atmosfer dalam beberapa hal, yaitu udara tanah itu pada umumnya mengandung uap air yang lebih banyak daripada udara di atmosfer. Udara tanah tidak selalu menempati pori-pori makro tertentu, tetapi berubah atau berganti dengan lengas atau air tanah yang berasal dari atmosfer maupun dari proses kimia serta biologi yang terjadi dalam tanah. Kadar oksigen (O₂) dalam udara tanah lebih sedikit (20,3%) bila

dibandingkan dengan susunan udara di atmosfer 21% sedangkan kadar karbon dioksida (CO_2) lebih banyak (0,15-0,65%) dari CO_2 atmosfer yang hanya 0,03%.

Pertukaran gas antara tanah dengan atmosfer tergantung pada dua faktor yaitu kecepatan reaksi biokimia dan kecepatan tiap gas masuk ke dalam tanah atau keluar dari tanah. Makin cepat penggunaan oksigen dan diikuti dengan makin cepatnya pelepasan karbon dioksida, pertukaran gas akan makin besar. Faktor yang mempengaruhi reaksi biologi seperti suhu, sisa bahan organik jelas sangat penting artinya dalam menentukan keadaan kandungan oksigen dalam tanah.

a.3. Pengaruh Bahan Organik Tanah

Tanah atau dengan istilah lain adalah pedosfera (*pedosphere*) yang berada di atas permukaan bumi adalah merupakan hasil perpaduan dari beberapa bagian penyusun kerak bumi, yaitu litosfera (*lithosphere*), biosfera (*biosphere*), hidrosfera (*hydrosphere*) dan atmosfera (*atmosphere*). Menurut Sarief (1986) bagian-bagian penyusun tanah tersebut rerata atas dasar volume bagian yang dianggap optimal pada lapisan atas tanah (top soil) kedalaman 0 – 30 cm dan bertekstur lempung berdebu, masing-masing terdiri dari mineral (anorganik) 45%, bahan-bahan organik atau sisa tanaman dan hewan sebanyak 5%, air tanah 25% dan udara tanah sekitar 25%.

Jenis tanah podzolik merah kuning (ultisol) yang digunakan sebagai medium reaktor, tergolong jenis tanah yang memiliki produktivitas tanah rendah sampai sedang. Konsistensinya adalah gembur di bagian atas (top soil) dan teguh di lapisan bawah (sub soil). Kandungan bahan organik rendah, kandungan unsur hara seperti N, P, K dan Ca umumnya terbatas dan reaksi tanahnya juga rendah (pH 5,9). Tingkat permeabilitas, dalam hal ini infiltrasi dan perkolasinya adalah sedang hingga lambat. Tanah ini memiliki sifat kimia kurang baik sedangkan sifat fisiknya tidak mantap dengan stabilitas agregat kurang.

Kandungan bahan organik tanah merupakan faktor utama ketiga yang memberi nilai positif dalam penelitian ini (1,75). Upaya pemberian kompos untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah yang semula hanya 6% sampai mencapai 39%, ternyata mampu meningkatkan efisiensi rerata efisiensi penurunan COD air limbah dari 73,5% menjadi 75,25%.

Sutedjo dan Kartasapoetra (1988) menegaskan bahwa kandungan bahan organik tanah sangat mempengaruhi sifat fisika dan kimia tanah, antara lain menyangkut kemantapan agregat tanah, penyedia unsur hara, sumber energi maupun sebagai komponen pembentuk tubuh mikroorganisme dalam tanah. Selanjutnya dikemukakan bahwa bahan organik tanah berdasarkan segi kimiawi tanah dapat meliputi senyawa karbohidrat, protein dan lignin, serta sejumlah kecil senyawa lain seperti

minyak dan lilin. Kenyataannya kadar bahan organik tanah di alam sangat bervariasi.

a.4. Pengaruh Keasaman Tanah

Faktor lain yang memberi nilai positif adalah keasaman tanah (1,00). Hal ini memberi indikasi bahwa reaksi tanah (pH) penting sekali dipertimbangkan dalam pemupukan, pengapuran dan perbaikan keadaan kimia dan fisik tanah.

Hadioetomo (1985) menegaskan bahwa keasaman amat penting peranannya bagi pertumbuhan organisme, terutama kerja enzim amat dipengaruhi oleh pH. Selanjutnya ditegaskan Trihadiningrum (1995) bahwa sebagian bakteri tumbuh paling baik pada sekitar pH netral. Dalam penelitian ini, medium tanah taraf rendah pH 5,9 rerata efisiensi penurunan COD air limbah hanya 73,88% sedangkan pada taraf tinggi pH 8,4 mampu menurunkan lebih besar yaitu 74,38%. Dengan demikian, pemberian kapur untuk menaikkan pH dari reaksi tanah yang tergolong agak asam menjadi agak basa ternyata memberi pengaruh.

Seperti yang dikemukakan Uehara dan Gillman (1981), bahwa pemberian kapur selain menaikkan pH, struktur tanahnya menjadi lebih baik dan kehidupan mikroorganisme dalam tanah menjadi lebih giat.

Terdapat dua jenis reaksi tanah atau keasaman tanah, yaitu keasaman tanah aktif dan potensial. Reaksi tanah aktif ialah yang diukurinya konsentrasi ion hidrogen yang terdapat bebas dalam larutan

tanah. Biasanya reaksi ini yang diukur pada pemakaian sehari-hari. Reaksi tanah potensial ialah banyaknya kadar hidrogen-dapat-tukar baik yang dijerap oleh kompleks koloid tanah maupun yang terdapat dalam larutan. Jumlah atau konsentrasi kedua ion hidrogen (H^+) dan hidroksil (OH^-) ini sangat dipengaruhi oleh jenis dan jumlah kation-kation yang dijerap oleh kompleks liat. Keasaman tanah dapat berakibat terbebasnya ion Al dan penghancuran kompleks absorpsi anorganik sehingga daya simpan hara, daya sangga kimiawi dan daya simpan lengas tanah menurun sekali (Sutedjo dan Kartasapoetra, 1988).

a.5. Pengaruh Interaksi Porositas dan Ketebalan Medium

Ini adalah salah satu fenomena kondisi yang menarik untuk diteliti lebih lanjut dari hasil penelitian yang telah diperoleh. Berdasarkan Tabel 4.1, porositas tanah (secara tunggal) memberikan pengaruh negatif (-0,75) demikian juga ketebalan medium (-1,00). Namun ternyata hasil perhitungan interaksi antara keduanya justru memberikan pengaruh positif (2,50). Hal ini dapat dijelaskan bahwa secara tunggal porositas dan ketebalan medium masing-masing yang memberi pengaruh baik terhadap efisiensi penurunan COD air limbah pada kondisi taraf rendah (porositas 28% dan ketebalan medium 5 cm), namun ada interaksi yang bermakna antara kedua faktor tersebut.

Porositas adalah perbandingan volume pori dengan volume total, sementara ketebalan medium adalah tinggi tanah dalam reaktor. Dalam penelitian ini, porositas tanah ditingkatkan dengan melakukan pengolahan tanah sehingga tanah menjadi lebih gembur. Pada lapisan tanah yang tebal (10 cm) diperkirakan persentase porositas lebih tinggi dibandingkan pada tanah yang tipis (5 cm). Hal inilah yang memberi berpengaruh positif terhadap rerata efisiensi penurunan COD air limbah domestik, paling tidak terhadap dua hal, pertama jarak tempuh yang dilalui cecair secara gravitasi semakin jauh (dua kali lipat), waktu kontak air limbah dan medium tanah relatif lebih lama. Kedua, air limbah mengalir melalui media pori, yaitu ruang antar butir (intergranular) dimana ukuran pori dan jumlah pori dinyatakan dengan tingginya angka porositas.

Menurut Sarief (1986) tanah bertekstur halus akan mempunyai persentase ruang pori total lebih tinggi daripada tanah bertekstur kasar, walaupun ukuran pori dari tanah bertekstur halus kebanyakan sangat kecil-kecil. Porositas total sama sekali tidak menunjukkan distribusi ukuran pori dalam tanah, padahal distribusi ukuran pori merupakan suatu sifat yang penting. Kecepatan aliran air tanah ditentukan oleh gradien hidrolis dan permeabilitas. Permeabilitas adalah suatu ukuran yang menyatakan kemampuan tanah untuk menghantarkan air pada suatu gradien tekanan yang ditentukan dengan percobaan di laboratorium dan pengukuran di lapangan. Angka permeabilitas tersebut tergantung pada porositas butir,

sifat-sifat aliran yang melalui pori dan konstanta transmisi atau konduktivitas hidrolis.

Interaksi antara porositas dan ketebalan medium tanah memang ada, namun mekanisme penurunan COD air limbah oleh kedua faktor tersebut tidaklah sederhana.

a.6. Pengaruh Interaksi COD Awal Dan Waktu Detensi

Interaksi COD awal dan waktu detensi menunjukkan nilai positif (2,00). Hal ini berarti bahwa konsentrasi air limbah domestik yang tinggi (COD 795 mg/liter) dan waktu detensi yang lama (4 hari) memberi pengaruh penting terhadap rerata efisiensi penurunan air limbah yaitu 75,38%.

Kandungan bahan organik dalam air limbah yang dinyatakan sebagai COD taraf tinggi merupakan sumber makanan bagi mikroorganisme. Sementara waktu detensi taraf tinggi memberi kesempatan yang cukup bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan berkembang biak dengan sempurna.

Hal ini senada dengan pendapat Sugiharto (1987), bahwa banyaknya kandungan zat organik di dalam air limbah berarti bahwa jumlah makanan yang tersedia cukup banyak bagi mikroorganisme. Pada kondisi seperti ini, jenis binatang yang dapat tumbuh dengan baik adalah sarkodina yang kemudian diikuti oleh jenis paramesium dan apabila

keadaan sudah banyak mengandung oksigen, baru tampak pertumbuhan rotifera.

Air limbah domestik mempunyai komposisi yang sangat bervariasi dari setiap saat dan setiap tempat. Secara garis besar terdiri dari 99,9% air dan 0,1% bahan padat yang terdiri dari bahan organik, berupa protein 65%, karbohidrat 25% dan lemak 10%. Selain itu juga mengandung bahan anorganik seperti butiran, garam dan metal.

Mahida (1984), menegaskan bahwa uji coba COD tidak mengadakan perbedaan antara zat organik yang stabil dan yang tidak stabil, tidak memberikan petunjuk tentang tingkat dimana bahan-bahan yang aktif secara biologis dapat diseimbangkan. Namun dengan cepat dapat memberikan perkiraan yang teliti tentang zat-zat arang yang dapat dioksidasi dengan sempurna secara kimiawi. Hasil penelitian ini merekomendasikan untuk konsentrasi COD awal yang tinggi harus diimbangi dengan waktu detensi yang cukup lama.

a.7. Pengaruh Interaksi Aerob-anaerob Dan Organik Tanah

Interaksi berikutnya yang memberi nilai positif dalam penelitian ini adalah kondisi aerob-anaerob dan bahan organik tanah (0,50). Hubungan ini dapat dipahami dengan mudah, karena kandungan bahan organik tanah merupakan kebutuhan pangan bagi mikroorganisme terutama bakteri heterotrop. Bakteri heterotrop jumlahnya sangat besar, merupakan penghuni tanah yang paling dominan. Sementara oksigen

tidak diragukan lagi fungsi dan peranannya bagi kehidupan mikroorganisme tanah. Peningkatan kandungan bahan organik tanah menjadi taraf tinggi (39%) dengan pemberian pupuk kompos dan penambahan kandungan oksigen tanah dari 1,2 ppm menjadi 6,7 ppm telah memberi pengaruh yang penting bagi rerata efisiensi penurunan COD air limbah domestik dari taraf rendah hanya 74,13% menjadi 74,63%.

a.8. Pengaruh Interaksi Waktu Detensi Dan Keasaman Tanah

Interaksi terakhir yang memberi nilai positif adalah waktu detensi dan keasaman tanah yaitu 0,25. Hal ini memberi indikasi bahwa ada hubungan antara waktu detensi dan reaksi keasaman tanah.

Setyowati dan Trihadiningrum (2000) melaporkan hasil penelitiannya bahwa terjadi kenaikan pH yang cukup besar pada air limbah pabrik tahu dari nilai pH awal sekitar 5,4 kemudian pada hari ke-6 nilai pH naik menjadi sekitar 8. Terjadinya kenaikan pH disebabkan oleh adalah proses fotosintesis *Azolla pinnata* yang digunakan dan penguraian nitrogen organik oleh bakteri.

Menurut Tan (1995), reaksi tanah berkaitan erat dengan kondisi tanah berdrainase baik atau berdrainase buruk. Keasaman tanah bervariasi dengan kondisi reduksi dan oksidasi dalam tanah. Keasaman tanah juga dipengaruhi oleh lamanya penggenangan air, pada kondisi ini biasanya pH menjadi asam. Di dalam larutan tanah pada sebagian dari

molekul air akan terjadi ionisasi menjadi ion hidrogen (H^+) dan ion hidroksil (OH^-). Reaksi larutan tanah banyak ditentukan oleh kadar hidrogen dan hidroksil ini. Jika kadar hidrogen lebih besar dari hidroksil maka tanah tersebut akan bereaksi asam, sebaliknya maka tanah akan bereaksi basa.

Selanjutnya ditegaskan oleh Sarief (1986), peningkatan keasaman tanah selain disebabkan oleh proses ionisasi air, dalam keadaan tertentu apabila tercapai kejenuhan ion Al-hidroksida dapat juga menimbulkan keasaman tanah.

Waktu pengenangan yang lama atau drainase yang tidak baik ternyata memang berpengaruh nyata terhadap perubahan keasaman tanah. Endapan dari bahan organik yang mengandung senyawa sulfida (kebanyakan berupa pirit) juga akan menyebabkan proses penurunan pH.

Dalam penelitian ini, waktu detensi yang lama (4 hari) dan keasaman tanah tinggi (pH 8,4) berinteraksi positif dan memberi pengaruh yang lebih baik terhadap rerata persentase penurunan COD air limbah yaitu sebesar 74,50% dibandingkan dengan kondisi rendah hanya 74,25%. Menunjukkan bahwa upaya menaikkan keasaman tanah dengan pemberian kapur dan waktu detensi yang lebih lama ternyata memberi pengaruh yang baik.

4.1.b. Variabel Yang Tidak Memberi Pengaruh

b.1. Konsentrasi COD Awal Air Limbah Domestik

Dua taraf kandungan beban organik yang dinyatakan sebagai COD taraf tinggi (795 mg/liter) dan taraf rendah (280 mg/liter), masing berasal dari sumber yang berbeda, yaitu air limbah kota Polder Tawang dan air limbah rumah tangga dari saluran pembuangan pemukiman penduduk di sekitar kampus Universitas Diponegoro, Tembalang, Semarang ternyata tidak memberi pengaruh terhadap rerata efisiensi penurunan COD air limbah.

Secara umum hal ini menunjukkan kemampuan kinerja reaktor medium tanah podzolik merah kuning dalam mengolah air limbah khususnya air limbah domestik.

Menurut Sugiharto (1987), air limbah mempunyai sifat yang dapat dibedakan menjadi tiga bagian besar, yaitu sifat fisik, kimiawi dan biologi. Air limbah rumah tangga terdiri dari air buangan manusia yaitu tinja dan urine (*black water*) serta buangan dapur dan kamar mandi (*grey water*). Air limbah *grey water* memiliki karakteristik banyak mengandung bahan organik dengan BOD 110-400 mg/liter, COD 150-600 mg/liter, konsentrasi total solid 350-750 mg/liter, serta tidak mengandung bahan berbahaya seperti logam berat dan bahan kimia toksik (Veenstra, 1995).

Tangahu dan Warmadewanthi (2001) melaporkan hasil analisisnya terhadap air limbah rumah tangga yang berasal dari saluran pembuangan perumahan dengan karakteristik parameter COD 290 mg/liter, BOD 195 mg/liter, total solid 480 mg/liter, pH 6,95 dan suhu 29°C.

Baku mutu limbah cair bagi kegiatan yang telah beroperasi menurut Surat Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup Nomor Kep-03/MENKLH/III/1991 bulan Pebruari 1991 untuk parameter COD golongan baku mutu air limbah I, II, III dan IV masing-masing 40, 100, 300 dan 600 mg/liter. Sedangkan secara khusus untuk air limbah rumah tangga atau air limbah domestik belum ada ketentuan yang mengatur. Bagi kegiatan hotel berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor Kep-52/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995, kadar maksimum baku mutu ditetapkan COD 50 mg/liter dan 100 mg/liter.

Bila dicermati nilai COD akhir selama penelitian tahap pertama dari 16 reaktor, ternyata 8 reaktor angka COD berada di bawah 100 mg/liter, berkisar antara COD 48-87 mg/liter. Sedangkan 8 reaktor yang lain berkisar antara COD 151-254 mg/liter.

Pengolahan air limbah domestik dengan beban bahan organik COD 795 mg/liter dan COD 280 mg/liter, menggunakan medium tanah jenis podzolik merah kuning telah memenuhi standar kadar maksimum baku mutu yang ditetapkan, sehingga aman untuk dibuang ke badan air.

4.1.c. Variabel Dan Interaksi Yang Berpengaruh Negatif

c.1. Pengaruh Kadar Lempung

Kadar lempung dalam penelitian ini memberikan pengaruh negatif (-0,75). Kadar lempung adalah salah satu kelas tekstur tanah (mineral). Proses biodegradasi air limbah ternyata lebih baik dalam kondisi kadar lempung taraf rendah (31%) dibandingkan dengan taraf tinggi (54%). Menurut Tan (1995), kadar lempung mempengaruhi kapasitas adsorpsi tanah, selain itu harga koefisien permeabilitas tanah menjadi relatif rendah.

Dalam penelitian ini, proses adsorpsi dan permeabilitas tanah diabaikan. Hasil penelitian menunjukkan gejala bahwa peningkatan kadar lempung justru menyebabkan penurunan kemampuan reaktor untuk mengolah air limbah domestik.

Fraksi pasir, debu dan liat adalah partikel-partikel tanah yang dapat digolongkan berdasarkan atas ukuran, bentuk, kerapatan dan komposisi kimia (Das, 1991). Dengan pemipetan pada waktu dan kedalaman tertentu atau dapat juga dengan mengukur berat jenis suspensi dapatlah dihitung persen berat kadarnya, adapun kelas teksturnya dapat dicari antara lain dengan memanfaatkan segitiga tekstur menurut *United States Department of Agriculture (USDA)*.

Berdasarkan segitiga kelas tekstur tanah menurut USDA, dapat diartikan bahwa dalam alam terbuka tidak ada tanah yang mengandung fraksi pasir tulen atau fraksi liat belaka, akan tetapi ketiga fraksi tersebut akan bercampur-baur dalam satu massa, yang disebut sebagai tanah.

Tanah pasir bilamana fraksi pasirnya sekitar 85%, tanah lempung-liat berpasir, bilamana fraksi liatnya sekitar 7-27%, debu sekitar 28-50% dan pasir sekitar 52%, sedangkan tanah berdebu, bilamana fraksi debunya sekitar 80% dan fraksi liatnya kurang dari 12%. Tanah liat bila perbandingan antara ketiga fraksinya hampir seimbang (Sutedjo dan Kartasapoetra, 1988).

c.2. Pengaruh Porositas

Porositas tanah memberi pengaruh negatif (-0,75). Artinya reaktor menghendaki porositas tanah dibuat dalam kondisi taraf rendah (28%) memberi pengaruh lebih baik dibandingkan dengan taraf tinggi (50%).

Fenomena ini sesuai dengan pendapat Novotny dan Olem (1993), yang mengemukakan bahwa tanah yang umumnya dipakai dalam konstruksi lahan basah adalah jenis tanah yang mempunyai permeabilitas rendah. Porositas adalah salah satu faktor penting yang menentukan nilai permeabilitas tersebut. Porositas yang tinggi menyebabkan proses biodegradasi dan transportasi cemaran di dalam medium menjadi terhambat.

c.3. Pengaruh Ketebalan Medium Tanah

Media tanah dalam sistem lahan basah berperan sebagai tempat hidup tanaman, tempat berkembangbiaknya mikroorganisme dan tempat terjadinya proses sedimentasi. Dalam penelitian ini sistem lahan basah dimodifikasi tanpa menggunakan tumbuhan air, dengan demikian peran tanah sebagai tempat hidup tanaman tidak diperlukan. Namun bila menggunakan tumbuhan air, maka ketebalan medium tentunya dapat disesuaikan dengan kebutuhan akar tanaman tersebut.

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa ketebalan medium tanah berpengaruh negatif (-1,00). Dengan demikian, tanah yang tipis (5 cm) sudah memadai sebagai medium. Menurut sutedjo dkk., (1996) jumlah bakteri yang paling banyak justru berada pada kedalaman tanah satu inci (seperti tercantum dalam Tabel 2.1).

c.4. Pengaruh Interaksi Kadar Lempung dan Aerob-anaerob

Interaksi kadar lempung dan kondisi aerob-anaerob berpengaruh negatif (-1,50). Dengan demikian tidak hubungan yang berarti antara kadar lempung dan kondisi aerob-anaerob. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk mendapatkan hasil terbaik justru kadar lempung diatur dalam konsentrasi rendah sementara kandungan oksigen tanah dibuat dalam taraf tinggi.

Menurut Henry (1995), kandungan oksigen tanah akan berpengaruh baik pada kegiatan mikroorganisme dan bahan organik tanah. Penurunan kandungan oksigen tanah justru akan mengurangi kegiatan mikroorganisme tanah sehingga penguraian bahan organik tidak berlangsung dengan baik, pelapukan yang berlangsung hanya akan membebaskan asam-asam organik, karbondioksida, gas hidrogen, metana dan senyawa sulfida.

Kadar lempung merupakan bentuk fisik tanah. Sebagai benda alam, tanah merupakan sistem dispersi tiga fase yang selalu seimbang dan dinamis. Ketiga fase tersebut adalah fase padat, fase gas dan fase cair yang merupakan suatu sistem yang selalu berubah namun selalu dalam keadaan seimbang (Buckman, 1982 dan Andani, 1988).

c.5. Pengaruh Interaksi Kadar Lempung Dan Organik Tanah

Sama halnya dengan interaksi kadar lempung dan kandungan oksigen tanah, ternyata interaksi dengan bahan organik tanah juga menunjukkan pengaruh negatif (-2,25). Tidak ada hubungan yang berarti antara kadar lempung dan kandungan bahan organik tanah.

Pada tanah yang bertekstur halus, biasanya kegiatan mikroorganisme dalam perombakan bahan organik akan mengalami kesulitan karena tanah tersebut berkemampuan menimbun bahan organik lebih tinggi yang kemudian terjerap pada kisi-kisi mineral dan dalam keadaan demikian mikroorganisme akan sulit merombaknya (Suin, 1997).

c.6. Pengaruh Interaksi Bahan Organik Tanah dan COD Awal

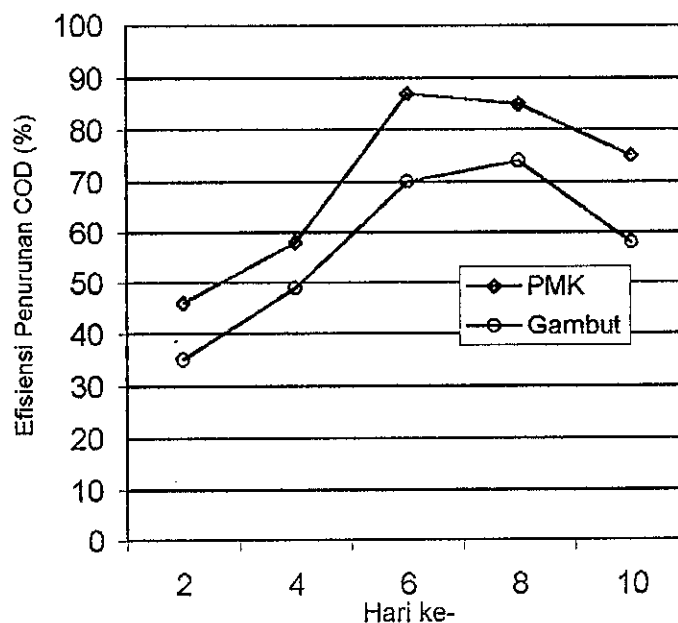
Sumber utama bahan organik tanah adalah jaringan tanaman baik yang berupa serasah atau sisa-sisa tanaman. Dapat pula berasal dari kotoran atau bangkai hewan. Tegasnya bahan organik tanah merupakan hasil perombakan dan penyusunan yang dilakukan oleh mikroorganisme tanah. Sementara beban bahan organik yang dinyatakan sebagai COD awal air limbah merupakan banyaknya oksigen dalam miligram per liter yang dibutuhkan dalam kondisi khusus untuk menguraikan bahan organik secara kimiawi (Sarief, 1986 dan Sugiharto, 1987).

Hasil perhitungan terhadap interaksi antara bahan organik tanah dan COD awal air limbah memberi nilai negatif (-2,25), dengan demikian tidak ada hubungan yang bermakna antara keduanya.

4.2. Hasil Tahap Kedua

Hasil penelitian intensif terhadap reaktor yang menggunakan medium tanah podzolik merah kuning dengan kondisi operasional utama yang berpengaruh dari percobaan sebelumnya, ternyata memberikan hasil peningkatan efisiensi penurunan COD air limbah domestik sebesar 5% yaitu dari 83% menjadi 87% yang dicapai pada pengamatan hari ke enam. Rerata penurunan COD dari 16 reaktor percobaan tahap sebelumnya hanya 74,38%.

Reaktor yang menggunakan medium tanah gambut, terjadi efisiensi penurunan COD air limbah domestik tertinggi sebesar 74% yang terjadi pada hari ke delapan. Kemudian menurun pada hari ke sepuluh. Untuk jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.



Gambar 4.2. Efisiensi Penurunan COD Pada Medium Tanah Podzolik Merah Kuning dan Gambut

Fenomena yang terjadi seperti pada Gambar 4.2 di atas secara umum menggambarkan perbedaan kondisi proses reaksi aerob dan anaerob. Pada tanah podzolik merah kuning, dapat dikategorikan sebagai kondisi aerob, sementara tanah gambut lebih didominasi oleh kondisi anaerob.

Vymazal (1999) menegaskan bahwa mikroorganisme yang diharapkan berkembang pada medium tanah adalah heterotropik aerob, pengolahan ini berlangsung lebih cepat dibandingkan secara anaerob. Sistem lahan basah pada prinsipnya mengandalkan aktivitas mikroorganisme untuk mengolah air limbah. Diperlukan jumlah bakteri yang cukup menguraikan bahan-bahan organik tersebut.

Jenis tanah yang berbeda jelas memiliki karakteristik yang berbeda pula. Tanah yang sejenis saja, karakteristiknya dapat bervariasi sedemikian rupa. Perkembangan tanah merupakan hasil perpaduan pengaruh dari lima faktor, yaitu bahan induk, iklim, organisme hidup, topografi dan waktu. Bila ditelusuri lebih cermat perbedaan kondisi operasional kedua jenis medium tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Kondisi Operasional Medium Tanah Podzolik Merah Kuning Dan Tanah Gambut

	Faktor	A	B	C	D	E	F	G	H
	Kolom	1	2	3	4	5	6	7	8
Percobaan	Taraf 1	54%	aerob	39%	795	4	8,4	50%	10
	Taraf 2	31%	anae	6%	280	2	5,9	28%	5
Tahap satu		A2	B1	C1	D2	E1	F2	G2	H1
Tahap dua		A2	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1

Keterangan :

- A = kadar lempung, %
- B = kondisi aerob-anaerob
- C = bahan organik tanah, %
- D = konsentrasi COD awal air limbah, mg/liter
- E = waktu detensi, hari
- F = keasaman tanah
- G = porositas, %
- H = ketebalan medium, cm

Dari Tabel 4.2 ternyata semua faktor variabel memiliki perbedaan yang cukup berarti. Terutama kandungan oksigen tanah, yang menjadi indikasi kondisi aerob dan anaerob. Variabel lain yang menonjol adalah keasaman tanah, dimana pada tanah gambut umumnya reaksi tanah berada pada kondisi pH rendah.

Rekayasa terhadap medium tanah jenis podzolik merah kuning dengan memberi berbagai perlakuan, seperti pengemburan dengan pengolahan tanah, pemberian kapur untuk menaikkan pH dan penambahan bahan organik tanah dengan penambahan pupuk kompos, ternyata memberi efek yang baik, sehingga dapat meningkatkan kemampuan medium tersebut dalam menurunkan COD air limbah domestik.

Kondisi operasional yang tercipta sedemikian rupa dimaksudkan untuk mendukung perkembangan mikroorganisme tanah agar lebih meningkat aktivitasnya. Seperti yang dikemukakan Sutejo (1987), perlakuan pemberian pupuk mineral dan organik dapat meningkatkan populasi mikroorganisme, terutama jenis bakteri dan aktinomisetes sebanyak dua sampai tiga kali lipat dari keadaan tanpa diberi pupuk.

Pengembangan sistem lahan basah di masa yang akan datang dapat diarahkan untuk memanfaatkan lahan kritis dan lahan tidur, seperti tanah jenis podzolik merah kuning ini, yang tergolong tingkat produktivitasnya di bidang pertanian tergolong rendah, namun ternyata cukup potensial untuk dimanfaatkan sebagai medium pada sistem pengolah air limbah domestik.

Di Indonesia jenis tanah podzolik merah kuning mendominasi areal terluas, yang mempunyai sifat tanah asam, berfisik jelek sampai agak jelek, miskin unsur hara dan sangat rentan bagi berlangsungnya kerusakan dan erosi apalagi bila tanpa vegetasi. Bila dibiarkan terlantar, maka tanah jenis ini justru akan mengalami kerusakan yang lebih berat.

Selain jenis tanah podzolik merah kuning, jenis tanah gambut ternyata juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai medium pengolah air limbah. Hasil percobaan menunjukkan bahwa pada medium ini terjadi penurunan COD air limbah mencapai 74% pada hari ke delapan. Kemampuan ini tidak berbeda jauh dari kemampuan medium jenis tanah podzolik merah kuning, rerata adalah 74,38%.

Pemanfaatan lahan rawa untuk mengolah air limbah telah sejak lama dilakukan di berbagai negara. Diantaranya adalah sistem pengolahan air limbah kota di Arcata, Amerika Serikat yang dibuat menjadi sebuah taman (Gearheart, 1996).

Secara alami ekosistem rawa tanah gambut ditumbuhi oleh vegetasi yang spesifik atau mempunyai ciri khas. Kondisi reaksi tanah

dengan pH yang rendah merupakan salah satu penyebab jumlah keekaragaman flora dan fauna in situ menjadi terbatas. Mikroorganisme yang berkembang biak didominasi oleh cendawan dan rhizopoda. Tipe tanah gambut mempunyai kandungan bahan organik tinggi. Keistimewaan tanah gambut adalah kemampuannya menahan air sangat besar, sampai empat kali lebih besar dari bobot keringnya.

BAB V. PERMODELAN

5.1. Deskripsi Model

Deskripsi model menggambarkan proses biofilter, transpor dasar dan proses biofilter pada medium tanah. Bila air limbah dialirkan lewat filter, konsentrasi cemarannya dipengaruhi oleh adveksi, dispersi, adsorpsi, absorpsi dan proses biologis. Model biofisika dari biofilter mengasumsikan media berpori-pori sebagai sistem 2 fase, yaitu fase cair dan fase padat. Dengan menganggap padatan dan cairan sebagai fase tunggal dapat menyederhanakan fenomena seperti difusi pada lapisan air-biofilm dan proses adsorpsi pada interface cairan-padatan.

Pada model juga digambarkan timbulnya gas CO_2 oleh mikroorganisme dan prediksi profil konsentrasi pada biofilter. Harga kapasitas buffer untuk media tertentu digunakan bersama dengan konsentrasi CO_2 untuk mengevaluasi pH. Model ini memisahkan efek adsorpsi cemaran dan proses biodegradasi. Selama awal operasi biofilter, kapasitas adsorptif dari biofilter merupakan proses dominan penghilangan pencemaran. Setelah material biofilter jenuh dengan cemaran, proses dominan penghilangan cemaran adalah proses biologis.

5.2. Laju Biodegradasi

Kinerja biofilter dipengaruhi oleh karakteristik material biofilter yang meliputi kapasitas adsorptif, porositas dan kapasitas buffer. Beberapa asumsi penyederhanaan dibuat untuk mengembangkan model teori karena tidak mungkin meninjau seluruh fenomena yang terjadi pada biofilter.

Persamaan pokok yang mengatur transpor substrat dan CO₂ adalah dispersi, adveksi dan perpindahan fase cairan atau padatan. Didalam fase cair cemaran akan terakumulasi dan secara biologis akan terdegradasi yaitu digunakan sebagai substrat dan dihasilkan CO₂.

Laju terjadinya proses tersebut sebanding dengan konsentrasi cemaran pada fase padat, sebagai kinetika reaksi orde satu. Persamaan diferensial dapat disederhanakan dengan asumsi pada biofilter terjadi kondisi *steady-state* (konsentrasi input dan kesetimbangan adsorpsi tetap), penghilangan cemaran terjadi sebagai hasil proses biodegradasi saja dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_t = C_0 \exp (-b_1 k_m x/V) \quad (5.1)$$

Keterangan :

- C₀ = konsentrasi COD awal air limbah, mg/liter
- C_t = konsentrasi COD akhir air limbah, mg/liter
- b₁ = konstanta laju biodegradasi orde satu
- x = jarak tempuh pada filter, cm
- V = kecepatan axial cairan interstitial, cm/jam

Persamaan reaktor adalah :

$$\text{Input} = \text{Output} + \text{Akumulasi} + \text{Transformasi} \quad (5.2)$$

Bila akumulasi = 0 maka diperoleh persamaan :

$$\text{Input} = \text{Output} + \text{Transformasi} \quad (5.3)$$

Laju reaksi disederhanakan pada orde satu maka persamaan menjadi :

$$-\frac{dC}{dt} = kC = -r \quad (5.4)$$

Keterangan :

- dC/dt = laju reaksi, mg/liter. hari
 k = konstanta reaksi, hari⁻¹
 C = konsentrasi COD, mg/liter
 $-r$ = laju reaksi, mg/liter. hari

$$QC = Q(C - dC) + rdV \quad (5.5)$$

$$QdC = rdV \quad (5.6)$$

$$QdC = -kCdV \quad (5.7)$$

$$\int_{C_0}^{C_t} \frac{dC}{C} = -\frac{k}{Q} \int_0^V dV \quad (5.8)$$

Keterangan :

- C_0 = konsentrasi COD awal, mg/liter
 C_t = konsentrasi COD akhir, mg/liter
 V = volume reaktor

$$\ln C_t - \ln C_0 = -k \frac{V}{Q} \quad (5.9)$$

Maka bila digabung dengan persamaan (5.1) konstanta, $(-b_1km) = k$

waktu detensi, $\frac{V_R}{Q} = \frac{x}{V} = t$ dimana V_R volume reaktor

diperoleh persamaan :

$$\ln C_t - \ln C_0 = (-b_1km)(x/V) \quad (5.10)$$

Bila $(-b_1km)(x/V)$ tidak dapat dihitung maka :

$$\ln C_t - \ln C_0 = -kt \quad (5.11)$$

Disederhanakan sesuai menurut persamaan (Reynolds, 1982) :

$$\frac{C_t}{C_0} = e^{-kt} \quad (5.12)$$

Konstanta laju biodegradasi modifikasi konsep Monod dan Michaelis-Menten :

$$k = k_{maks} \frac{S}{K_s + S} \quad (5.13)$$

Keterangan :

- k = konstanta reaksi, hari⁻¹
- S = konsentrasi substrat, mg/liter
- k_{maks} = laju pertumbuhan maksimum, hari⁻¹
- K_s = konsentrasi substrat, dimana $k = \frac{1}{2} k_{maks}$

Berdasarkan formula (5.13) tersebut diperoleh konstanta laju biodegradasi COD air limbah domestik pada medium tanah podzolik merah kuning dalam sistem lahan basah pada percobaan tahap pertama rerata adalah 1,2. Lebih rinci seperti pada Tabel 5.1 berikut :

Tabel 5.1. Laju Penurunan COD Air Limbah Domestik Pada Berbagai Faktor Kondisi Operasional

No Acak	Percb	Persen hasil	COD awal		COD akhir		Waktu Detensi	Laju (hari)	k
			Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah			
8	1	79	795		167		4	0.94	1.2
16	2	72	795		222		2	1.29	1.2
7	3	78		280		62	4	0.88	1.2
12	4	73		280		76	2	1.34	1.2
2	5	71		280		81	4	0.61	1.2
3	6	73		280		76	2	1.34	1.2
15	7	74	795		207		4	0.71	1.2
5	8	72	795		223		2	1.28	1.2
13	9	83		280		48	4	1.21	1.2
1	10	77		280		64	2	1.69	1.2
6	11	81	795		151		4	1.07	1.2
14	12	70	795		239		2	1.16	1.2
9	13	79	795		167		4	0.94	1.2
10	14	68	795		254		2	1.06	1.2
4	15	71		280		81	4	0.61	1.2
11	16	69		280		87	2	1.11	1.2
Jumlah	total	1190	6360	2240	1630	575	48	17.25	19.2
	data	16	8	8	8	8	16	16	16
	Rerata	74.38	795	280	203.75	71.88	3	1.08	1.2

Sumber : Hasil penelitian (2002)

Selanjutnya pada percobaan tahap kedua dengan menggunakan medium jenis tanah yang sama namun menggunakan kondisi operasional yang berbeda, sesuai hasil rekomendasi faktor utama yang berpengaruh

dari percobaan satu menunjukkan nilai laju biodegradasi yang berbeda yaitu 1,1. Untuk jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.2 di bawah ini.

Tabel 5.2. Laju Biodegradasi Air Limbah Domestik Pada Tanah Podzolik Merah Kuning Tahap Kedua

Nomor	Co	Ct	k	Ct/Co	t
1	795	429	1.1	0.54	2
2	795	334	1.1	0.42	4
3	795	103	1.1	0.13	6
4	795	119	1.1	0.15	8
5	795	199	1.1	0.25	10
Jumlah	3975	1184	5.28	1.49	
Rerata	795	236.8	1.1	0.30	

Sumber : Hasil penelitian (2002)

Saat pengamatan hari ke enam, air limbah domestik dengan beban awal COD 795 mg/liter telah terjadi penurunan tertinggi mencapai COD sebesar 103 mg/liter. Angka tersebut mendekati kadar maksimum baku mutu yang ditetapkan berdasarkan keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor: Kep/52/MENLH/10/1995 tanggal 23 Oktober 1995, yaitu 100 mg/liter.

Konstanta laju biodegradasi air limbah pada tanah gambut adalah 0,4 untuk jelasnya dapat dilihat pada Tabel 5.3 di bawah ini.

Tabel 5.3. Laju Biodegradasi Air Limbah Domestik Pada Tanah Gambut

Nomor	Co	Ct	k	Ct/Co	t
1	795	517	0.4	0.65	2
2	795	405	0.4	0.51	4
3	795	239	0.4	0.30	6
4	795	207	0.4	0.26	8
5	795	334	0.4	0.42	10
Jumlah	3975	1702	1.80	2.14	
Rerata	795	340.4	0.4	0.43	

Sumber : Hasil Penelitian (2002)

Pada tanah gambut sebagai medium pembanding diperoleh laju biodegradasi tertinggi terjadi lebih lambat, yaitu pada hari kedelapan dengan konsentrasi terendah COD 207 mg/liter. Diperlukan perlakuan pengolahan lebih lanjut untuk menurunkan COD air limbah tersebut agar dapat memenuhi kadar baku mutu seperti yang ditetapkan di atas.

Terjadinya penurunan efisiensi COD pada pengamatan hari ke-sepuluh pada tanah pmk dan tanah gambut, disebabkan terjadinya perubahan reaksi dari kondisi aerob ke anaerob yang lebih lambat.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

1. Medium tanah podzolik merah kuning (pmk) dan gambut dapat dipergunakan untuk mengolah air limbah domestik dengan konsentrasi COD 280 mg/liter sampai 795 mg/liter.
2. Efisiensi penurunan COD pada medium pmk adalah 68-87% sedangkan gambut sebesar 74%. Proses biodegradasi lebih cepat pada medium pmk dibandingkan gambut.
3. Faktor kondisi operasional utama yang penting adalah waktu detensi, kondisi aerob, kandungan bahan organik tanah dan faktor pH tanah, untuk hasil terbaik masing-masing diatur taraf tinggi.
4. Konstanta laju biodegradasi medium pmk diperoleh 1,2 pada percobaan tahap pertama dan 1,1 pada tahap kedua sementara pada medium gambut diperoleh nilai konstanta laju biodegradasi 0,4.

6.2. Saran

1. Perlu kajian untuk mengaplikasikan sistem lahan basah menggunakan medium tanah jenis podzolik merah kuning dan tanah gambut di lapangan.
2. Sanitasi lingkungan permukiman dengan menerapkan teknologi sistem lahan basah, memanfaatkan lahan rawa dan lahan kritis.

R I N G K A S A N

1. PENDAHULUAN

Sejauh ini pengolahan air limbah domestik jarang sekali dilakukan, sementara unit instalasi pengolahan air limbah yang ada di sebagian industri juga tidak beroperasi sebagaimana mestinya, karena kendala biaya operasional.

Sistem lahan basah (*wetland system*) ini dianjurkan karena dapat mengolah air limbah domestik, pertanian dan sebagian limbah industri, tidak berbau, biaya perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan murah dan tidak membutuhkan keterampilan yang tinggi (Tanggahu dan Warmadewanthi, 2001).

Teknologi sistem lahan basah ini berpeluang untuk dikembangkan di Indonesia. Sebagai negara yang beriklim tropis, berbagai jenis tumbuhan air hidup dengan suburnya sepanjang tahun dan memiliki lahan basah yang relatif luas.

1.2. Perumusan Masalah

Kondisi operasional pada medium tanah dalam sistem lahan basah apa saja yang berpengaruh terhadap penurunan COD air limbah domestik, bagaimana permodelan laju penurunan COD pada tanah podzolik merah kuning dan gambut serta berapa nilai konstanta laju biodegradasinya belum diketahui.

1.3. Originalitas Penelitian

Inovasi yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sistem lahan basah (*wetland system*) hanya menggunakan medium tanah saja, tanpa tumbuhan air. Mengkaji secara khusus pengaruh berbagai kondisi operasional medium tanah podzolik merah kuning dan gambut terhadap penurunan COD air limbah domestik. Selanjutnya laju biodegradasi pada reaktor tersebut dipelajari dan dilakukan permodelan. Penelitian tentang sistem lahan basah sejauh ini lebih terkonsentrasi kepada fungsi dan peranan tumbuhan air untuk mengolah limbah (*fitoremediasi*).

1.4. Tujuan

Tujuan dalam penelitian ini adalah: a). Mengkaji berbagai kondisi medium tanah dalam sistem lahan basah yang berpengaruh terhadap penurunan COD air limbah domestik. b). Permodelan laju penurunan COD air limbah domestik, mengetahui konstanta laju biodegradasi pada medium tanah podzolik merah kuning dan gambut dalam sistem lahan basah.

1.5. Manfaat

a). Pengembangan teknologi rekayasa lingkungan. b). Instalasi pengolahan air limbah yang ekonomis, efektif dan aplikatif. c). Memanfaatkan lahan kritis untuk mengolah air limbah. d). Sanitasi lingkungan permukiman, baik secara komunal maupun individu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Ekosistem lahan basah memiliki kemampuan alamiah untuk menghilangkan berbagai jenis limbah dengan tingkat efisiensi yang bervariasi akibat adanya pengolahan secara biologis (Nichols, 1993). Menurut Hammer dan Bastian (1989) lahan basah adalah habitat peralihan antara lahan darat dan air. Bagian utama dari sistem lahan basah terdiri sebidang tanah yang menyerupai kolam dangkal dan ditanami tumbuhan air. Sistem-sistem ini memakai berbagai konfigurasi yang berbeda jenis media dan tumbuhan airnya (Kurniadie, 2000).

Pengolahan air limbah secara alami, menggunakan lahan basah diantaranya telah dilakukan di Kota Arcata, Amerika Serikat. Menurut laporan Gearheart (1996), di kota tersebut dibuat tempat pembuangan air limbah tampak seperti sebuah taman.

Di Indonesia, lahan rawa-rawa potensinya cukup luas, dan terdapat di hampir seluruh pelosok tanah air, yaitu lebih dari 17 juta hektar, namun karena tergolong lahan kritis, baru dimanfaatkan sekitar 1,5 juta hektar (Sabli, 1985). Pengembangan teknologi sistem lahan basah dimasa yang akan datang, perlu diarahkan agar lahan ini dapat dipergunakan untuk mengolah air limbah.

3. METODA PENELITIAN

3.1. Rancangan Tahap Pertama

Percobaan ini dirancang menggunakan Metoda Taguchi (Bagchi, 1993; Semwal, 1997) terdiri dari 16 percobaan dengan 15 faktor kondisi operasi, masing-masing terdiri dari dua taraf, yaitu level tinggi dilambangkan dengan angka 1 dan level rendah yang dilambangkan dengan angka -1. Tanah yang digunakan jenis podzolik merah kuning (pmk) yang berasal kawasan Kecamatan Sumowono, Kabupaten Semarang.

Adapun 8 variabel dalam penelitian ini adalah kadar lempung, kondisi aerob-anaerob, bahan organik tanah, konsentrasi COD awal air limbah, waktu detensi, keasaman tanah dan porositas serta ketebalan medium. COD air limbah domestik taraf tinggi berasal dari air limbah kota, diambil dari Polder Tawang, Kota Lama, Semarang. Untuk konsentrasi COD air limbah level rendah berasal dari air buangan rumah tangga di sekitar kampus Universitas Diponegoro, Tembalang.

3.2. Rancangan Tahap Kedua

Merupakan penelitian intensif terhadap hasil percobaan satu yang berpengaruh dan memberi hasil efisiensi laju penurunan COD air limbah domestik yang tertinggi. Reaktor menggunakan medium yang terdiri dari

dua jenis tanah berbeda yaitu podzolik merah kuning dan tanah gambut. Tanah gambut diambil dari Rawapening, Kabupaten Semarang.

3.3. Prosedur Pengoperasian Reaktor

Prosedur pengoperasian reaktor; pertama air limbah dimasukkan ke dalam sel pertama, kemudian dialirkan secara berlahan ke sel kedua dengan tinggi permukaan dijaga agar tetap konstan, selanjutnya ke sel reaktor dan sel penjernih. Aliran air berdasarkan gerak gravitasi, dengan laju alir yang ditentukan 1,2 liter/jam.

Sampel air limbah domestik dianalisis kandungan bahan organik, dinyatakan dengan parameter COD sesuai dengan standard prosedur analisis yang terdapat dalam Standard Methods (APHA, 1995) dan Metoda Penelitian Air (Alaerts dan Santika, 1987). Pengamatan akhir masing-masing percobaan dilakukan pada hari ke enam.

Data yang diperoleh dari percobaan satu, dianalisis untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing variabel dan interaksinya berdasarkan Metoda Taguchi. Untuk mendapatkan permodelan laju penurunan COD air limbah domestik pada medium tanah dalam sistem lahan basah dilakukan perhitungan secara matematis berdasarkan hasil percobaan.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Lingkungan, Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, sejak Bulan Maret sampai Juni Tahun 2002.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Tahap Pertama

Pengaruh berbagai faktor kondisi operasional terhadap efisiensi penurunan COD air limbah domestik yang paling penting adalah waktu detensi, kondisi aerob-anaerob dan bahan organik tanah. Kemudian diikuti faktor keasaman tanah, ketebalan medium dan porositas serta kadar lempung. Sementara konsentrasi COD awal air limbah ternyata tidak memberi pengaruh.

Untuk mendapatkan nilai efisiensi penurunan COD yang tinggi waktu detensi diatur dengan taraf tinggi. Waktu detensi 4 hari menunjukkan hasil lebih baik, yaitu sebesar 77% dibandingkan dengan waktu detensi 2 hari hanya 71,75%. Waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dan air limbah. Menurut Chaney *et al* (1997), keadaan tanah yang meliputi permeabilitas sangat berpengaruh pada waktu detensi air limbah. Waktu detensi yang cukup akan memberikan kesempatan kontak antara mikroorganisme dan air limbah.

Fenomena lain yang memberi pengaruh penting untuk diamati dalam penelitian ini adalah kondisi aerob. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kondisi aerob memberikan pengaruh terhadap efisiensi penurunan COD air limbah rerata sebesar 76,63% lebih besar dibandingkan kondisi

anaerob hanya mampu menurunkan COD air limbah rerata sebesar 72,13%.

Kandungan bahan organik tanah merupakan faktor utama ketiga yang memberi nilai positif dalam penelitian ini (1,75). Upaya pemberian kompos untuk meningkatkan kandungan bahan organik tanah yang semula hanya 6% sampai mencapai 39%, ternyata mampu meningkatkan efisiensi rerata efisiensi penurunan COD air limbah dari 73,5% menjadi 75,25%.

Sutedjo dan Kartasapoetra (1988) menegaskan bahwa kandungan bahan organik tanah sangat mempengaruhi sifat fisika dan kimia tanah, antara lain menyangkut kemantapan agregat tanah, penyedia unsur hara, sumber energi maupun sebagai komponen pembentuk tubuh mikroorganisme dalam tanah. Selanjutnya dikemukakan bahwa bahan organik tanah berdasarkan segi kimiawi tanah dapat meliputi senyawa karbohidrat, protein dan lignin, serta sejumlah kecil senyawa lain seperti minyak dan lilin. Kenyataannya kadar bahan organik tanah di alam sangat bervariasi.

Faktor lain yang memberi nilai positif adalah keasaman tanah (1,00). Hal ini memberi indikasi bahwa reaksi tanah (pH) penting sekali dipertimbangkan dalam pemupukan, pengapuran dan perbaikan keadaan kimia dan fisik tanah. Hadioetomo (1985) menegaskan bahwa keasaman amat penting peranannya bagi pertumbuhan organisme, terutama kerja enzim amat dipengaruhi oleh pH. Sebagian bakteri tumbuh paling baik

pada sekitar pH netral. Dalam penelitian ini, medium tanah taraf rendah pH 5,9 rerata efisiensi penurunan COD air limbah hanya 73,88% sedangkan pada taraf tinggi pH 8,4 mampu menurunkan lebih besar yaitu 74,38%. Dengan demikian, pemberian kapur untuk menaikkan pH dari reaksi tanah yang tergolong agak asam menjadi agak basa ternyata memberi pengaruh.

4.2. Tahap Kedua

Hasil penelitian intensif terhadap reaktor yang menggunakan medium tanah podzolik merah kuning dengan kondisi operasional utama yang berpengaruh dari percobaan sebelumnya, ternyata memberikan hasil peningkatan efisiensi penurunan COD air limbah domestik sebesar 5% yaitu dari 83% menjadi 87% yang dicapai pada pengamatan hari ke enam. Rerata penurunan COD dari 16 reaktor percobaan tahap sebelumnya hanya 74,38%. Reaktor yang menggunakan medium tanah gambut, terjadi efisiensi penurunan COD air limbah domestik tertinggi sebesar 74% yang terjadi pada hari ke delapan. Kemudian menurun pada hari ke sepuluh.

Vymazal (1999) menegaskan bahwa mikroorganisme yang diharapkan berkembang pada medium tanah adalah heterotropik aerob, pengolahan ini berlangsung lebih cepat dibandingkan secara anaerob. Sistem lahan basah pada prinsipnya mengandalkan aktivitas

mikroorganisme untuk mengolah air limbah. Diperlukan jumlah bakteri yang cukup menguraikan bahan-bahan organik tersebut.

5. PERMODELAN

5.1. Deskripsi Model

Deskripsi model menggambarkan proses biofilter, transpor dasar dan proses biofilter pada medium tanah. Bila air limbah dialirkan lewat filter, konsentrasi cemarannya dipengaruhi oleh adveksi, dispersi, adsorpsi, absorpsi dan proses biologis. Model biofisika dari biofilter mengasumsikan media berpori-pori sebagai sistem 2 fase, yaitu fase cair dan fase padat. Dengan menganggap padatan dan cairan sebagai fase tunggal dapat menyederhanakan fenomena seperti difusi pada lapisan air-biofilm dan proses adsorpsi pada *interface* cairan-padatan.

Model ini memisahkan efek adsorpsi cemaran dan proses biodegradasi. Selama awal operasi biofilter, kapasitas adsorptif dari biofilter merupakan proses dominan penghilangan pencemaran. Setelah material biofilter jenuh dengan cemaran, proses dominan penghilangan cemaran adalah proses biologis.

5.2. Laju Biodegradasi

Kinerja biofilter dipengaruhi oleh karakteristik material biofilter yang meliputi kapasitas adsorptif, porositas dan kapasitas buffer. Beberapa asumsi penyederhanaan dibuat untuk mengembangkan model

teori karena tidak mungkin meninjau seluruh fenomena yang terjadi pada biofilter.

Persamaan diferensial dapat disederhanakan dengan asumsi pada biofilter terjadi kondisi *steady-state* (konsentrasi input dan kesetimbangan adsorpsi tetap), penghilangan cemaran terjadi sebagai hasil proses biodegradasi saja.

Berdasarkan perhitungan diperoleh konstanta laju biodegradasi COD air limbah domestik pada medium tanah podzolik merah kuning dalam sistem lahan basah pada percobaan tahap pertama adalah 1,2.

Selanjutnya pada percobaan tahap kedua dengan menggunakan medium jenis tanah yang sama namun menggunakan kondisi operasional yang berbeda, sesuai hasil rekomendasi faktor utama yang berpengaruh dari percobaan satu menunjukkan nilai laju biodegradasi yang berbeda yaitu 1,1.

Reaksi proses biodegradasi COD air limbah domestik pada medium jenis tanah podzolik merah kuning lebih besar dan lebih cepat dibandingkan dengan jenis tanah gambut, dengan nilai rerata konstanta laju biodegradasi pada tanah gambut hanya 0,4. Pada hari kesepuluh, ternyata kedua jenis medium menunjukkan gejala yang sama, yaitu terjadi penurunan laju reaksi. Fenomena ini diduga berkaitan erat dengan aktivitas dan daur hidup mikroorganisme. Pada hari kesepuluh lebih dominan terjadi reaksi anaerob.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Medium tanah podzolik merah kuning (pmk) dan gambut dapat dipergunakan untuk mengolah air limbah domestik dengan konsentrasi COD 280 mg/liter sampai 795 mg/liter. Efisiensi penurunan COD pada medium pmk adalah 68% - 87% sedangkan gambut sebesar 74%. Proses biodegradasi lebih cepat pada medium pmk dibandingkan gambut. Faktor kondisi operasional utama yang penting adalah waktu detensi, kondisi aerob, kandungan bahan organik tanah dan faktor pH tanah, untuk hasil terbaik masing-masing diatur taraf tinggi.

Konstanta laju biodegradasi medium pmk diperoleh 1,2 pada percobaan tahap pertama dan 1,1 pada tahap kedua sementara pada medium gambut diperoleh nilai konstanta laju biodegradasi 0,4.

6.2. Saran

Disarankan untuk mengaplikasikan sistem lahan basah menggunakan medium tanah jenis podzolik merah kuning dan tanah gambut di lapangan. Sanitasi lingkungan permukiman dengan menerapkan teknologi sistem lahan basah, memanfaatkan lahan kritis.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G., dan S.S. Santika. 1987. *Metoda Penelitian Air*. Usaha Nasional. Surabaya.
- Andani, S. Foth HD. 1988. *Dasar-dasar Ilmu Tanah (Edisi Indonesia). Fundamental of Soil Sceince*. John Wiley & Sons. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- APHA, AWWA, Water Environment Federation. 1995. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. Eaton, E., Clash, L.s., Greenberg, A.,E. 19th. Am. Public Health Assoc., Washington, D.C.
- Armstrong, J., dan Armstrong W. 1990. *Pathway and Mechanisms of Oxygen Transport in *Phragmites australis**. Dalam : *Constructed Wetlans in Water Pollution Control*. Cooper, P.F. and Findlater, B.C. (ed). Pergamon Press, Oxford, U.K. Halaman 529-634.
- Bagchi, Tapan. P. 1993. *Taguchi Methods Explained : Practical Steps to Robust Design*. Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi.
- Baker, A.J.M. 1999. *Metal Hyperaccumulator Plants: a Biological Resource for Exploitation in the Phytoextraction of Metal-polluted Soils*. URL: http://lbewww.epfl.ch/COST837/WG2_abstracts.html (21 April 1999; diakses Oktober 2000).
- Brix, H., dan Hans-Hendrik Schierup. 1990. *Soil Oxigenation in Constructed Reed Beds: The Role of Microphyte and Soil Atmosfir Interface Oxygen Transport*.
- Brix, H. 1993. *Macrophyte Mediated Oxygen Transfer in Wetlands: Transport Mechanism and Rates*. Dalam : *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Moshiri, G.A. (ed). 391-398. Lewis Publishers, Boca Raton, FL, USA.
- Buckman, H.O. 1982. *Ilmu Tanah*. Penerbit Bhratara Karya Aksara, Jakarta.
- Chaney, R.L., M.Malik, Y.M.Li, S.L.Brown, E.P.Brewer, J.S.Angle dan A.J.M.Baker. 1997. *Phytoremediation of Soil Metals*. Publikasi di web site (Diakses September 2000).

- Darmawijaya, M.I. 1992. Klasifikasi Tanah. Dasar Teori Bagi Peneliti Tanah dan Pelaksana Pertanian di Indonesia. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Das, M.M. 1991. Mekanika Tanah, Air dan Tumbuhan. IKIP Semarang Press, Semarang.
- Gearheart, B. 1996. Taman Limbah Kota. Dalam Aubrey Wallace (ed). Langkah-langkah Hijau: Hidup Lembut Bersama Alam. Yayasan Obor Indonesia, Jakarta. Halaman 67-76.
- Gopal, B. 1999. Natural and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Potentials and Problems. J. Water Science Technology, Vol. XXXX : 3, 27-35.
- Hadioetomo, R.S. 1985. Mikrobiologi Dasar Dalam Praktek. Gramedia, Jakarta.
- Hammer, D.A., dan Bastian, R.K. 1989. Wetlands Ecosystems: Natural Water Purifiers?. Dalam Hammer, D.A. (ed) Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Minicipal, Industrial and Agricultural, Lewis Publishers, Michigan. Halaman 5-10.
- Hammer, D.A. 1992. Creating Freshwater Wetlands. Lewis Publishers, Boca Raton, Ann Arbor, London.
- Hendry, D.F. 1995. Dasar-dasar Ilmu Tanah. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Islamie, T. 1995. Hubungan Tanah, Air dan Tumbuhan. IKIP Semarang Press, Semarang.
- Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup. 1997. Ringkasan Agenda 21 Indonesia (Strategi Nasional Untuk Pembangunan Berkelanjutan). Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup dan United Nations Development Programme, Jakarta.
- Kurniadie, D. 2000. Akar Olah Limbah. Majalah Ozon, Edisi September. Vol.II : 1, 66-67.
- Mahida, U.N. 1984. Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri. Rajawali, Jakarta.
- Mara, D., S. Cairncross. 1994. Pemanfaatan Air Limbah dan Ekskreta. Penerbit ITB dan Penerbit Universitas Udayana, Bandung.

- Marsono dan P. Lingga. 2000. Petunjuk Penggunaan Pupuk. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Martin, C.D., Moshiri, G.A. dan Miller, C.C. 1993. Mitigation of Landfill Leachate Incorporating in Series Constructed Wetlands of a Closed-loop Design. Dalam Moshiri, G.A. (Ed.) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Metcalf dan Eddy. 1993. Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse. McGraw Hill Comp., London, New York.
- Michael, P. 1984. Ecological Methods for Field and Laboratory Investigations. McGraw-Hill Pub. Co., London, New York.
- Mitsch dan Gosselink, J.G. 1993. Wetlands. Second Edition. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Nicols, D.S. 1993. Capacity of Natural Wetlands to Remove Nutrients from Wastewater. Journal Water Pollution. Control Fed. 55: 495-505.
- Olson, G.W. 1981. Soil and Environment. A Guide to Soil Surveys and Their Application. Chapman and Hall, New York.
- Poerwowidodo. 1992. Metode Selidik Tanah. Usaha Nasional, Surabaya.
- Reynolds, T. D. 1982. Unit Operations and Processes in Environmental Engineering. Brooks/Cole Engineering Division Monterey, California.
- Sabli, T.E. 1985. Buah Lombo Sebagai Bahan Pengganti Gula. Karya Ilmiah Pada Lomba Penelitian Ilmiah Remaja Tingkat Nasional, LPIR-Depdikbud RI, Jakarta (Tidak Dipublikasikan).
- Said, N. I. 1996. Penguraian Deterjen Dalam Air Minum Dengan Karbon Aktif Biologis. Analisis Sistem No.5 Tahun III, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Said, Nusa Idaman dan Heru Dwi Wahjono. 1999. Alat Pengolah Air Limbah Rumah Tangga Semi Komunal Kombinasi Biofilter Anaerob dan Aerob. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta.
- Sarief, S. 1993. Ilmu Tanah Pertanian. Pustaka Buana, Bandung.

- Sastrawijaya, A.T. 2000. Pencemaran Lingkungan. Rineka Cipta, Jakarta.
- Semwal, P.B. 1997. Procedure and Usefulness of Statistical Design of Experiments in Chemical Processes and Evaluations With Two Case Studies. Chemical Engineering World, Exhibition & Communication Enterprises Pvt. Ltd. Mumbai, India. Vol XXXII : 9, 1-10.
- Setyowati, D. U. dan Y. Trihadiningrum. 2000. Studi Pemanfaatan *Azolla pinnata* Untuk Menurunkan COD, N dan P Pada Air Limbah Pabrik Tahu. Jurnal Kimia Lingkungan, KSL, Fmipa, Unair, Surabaya. Vol.I : 2, 84-90.
- Vol.I : 2 Tahun 2000 Shutes, R.B., Ellis, J.B., Revitt, D.M. dan Zhang, T.T. 1993. The Use of *Thypha latifolia* for Heavy Metal Pollution Control in Urban Wetlands. Dalam Moshiri, G.A. (Ed.) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Soemarwoto, O. 2001. Atur Diri Sendiri. Paradigma Baru Pengelolaan Lingkungan Hidup. Gadjah Mada University Press.
- Steiner, G.R., Watson, J.T., dan Choate, K.D. 1993. General Design, Construction, and Operation Guidelines for Small Constructed Wetlands Wastewater Treatment System. Dalam Moshiri, G.A. (Ed.) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Suin, N.M. 1997. Ekologi Hewan Tanah. Bumi Aksara, Jakarta dan ITB, Bandung.
- Supriharyono. 2000. Pelestarian dan Pengelolaan Sumber Daya Alam di Wilayah Pesisir Tropis. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Surface, J.M., Peverly, J.H., Steenhuis, T.S., dan Sanford, W.E. 1993. Effect of Season, Substrate Composition, and Plant Growth on Landfill Leachate Treatment in a Constructed Wetland. Dalam Moshiri, G.A. (Ed.) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Suriawiria, U. 1993. Mikro Biologi Air dan Dasar-dasar Pengolahan Buangan Secara Biologis. Penerbit Alumni, Bandung.

- Surrency, D. 1993. Evaluation of Aquatic Plants for Constructed Wetlands. Dalam Moshiri, G.A. (Ed.) Constructed Wetlands for Water Quality Improvement. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida.
- Sutedjo, M., A.G. Kartasapoetra, RD.S.Sastroatmodjo. 1996. Mikro Biologi Tanah. Rineka Cipta, Jakarta.
- Sutedjo, M.M dan A.G. Kartasapoetra. 1988. Pengantar Ilmu Tanah. Bina Aksara, Jakarta.
- Sutejo, M.M. 1987. Pupuk dan Cara Pemupukan. Rineka Cipta, Jakarta.
- Tan, K.H. 1995. Principles of Soil Chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Tangahu, B.V dan I.D.A.A. Warmadewanthi. 2001. Treating Domestic Wastewater Using Cattail (*Typha angustifolia*) in a Constructed Wetland System. Jurnal Purifikasi, Vol.II : 3, 127-132.
- Trihadiningrum, Y. 1995. Mikrobiologi Lingkungan. Jurusan Teknik Lingkungan. Jurusan Teknik Lingkungan FTSP-ITS, Surabaya.
- Uehara, G. dan G. Gillman. 1981. The Mineralogy, Chemistry, and Physics of Tropical Soils with Variable Charge Clays. Westview Press, Colorado.
- Veenstra. 1995. Wastewater Treatment. IHE Delf.
- Vymazal, J. 1999. Removal of BOD5 in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-surface Flow: Czech experience. J. Water Science Technology, Vol: XXXX : 3, 133-138.
- Wardhana, W.A. 1995. Dampak Pencemaran Lingkungan. Andi Offset, Yogyakarta.
- Wood, A. 1993. Constructed Wetland for Wastewater Treatment Engineering and Design Consideration. South Africa.