ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga

DISERTASI

PENGEMBANGAN LUMPUR AKTIF YANG DIPERKAYA UNTUK PROSES BIODEGRADASI LIMBAH CAIR INDUSTRI TAPIOKA

Dis
M 01/04
Suw
P

SUWARSO

PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA
2003

PENGEMBANGAN LUMPUR AKTIF YANG DIPERKAYA UNTUK PROSES BIODEGRADASI LIMBAH CAIR INDUSTRI TAPIOKA

Dis
M 01/04
Suw
P

DISERTASI

Untuk memperoleh Gelar Doktor
dalam Program Studi Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Pada Program Pascasarjana Universitas Airlangga
Telah dipertahankan di hadapan
Panitia Ujian Doktor Terbuka
Pada hari : Selasa
Tanggal : 10 Pebruari 2003
Pukul 10.00 WIB

Oleh :

SUWARSO
NIM. 099612341 D

LEMBAR PENGESAHAN

DISERTASI INI TELAH DISETUJUI

TANGGAL :

Oleh :

Promotor,

Prof. H.A. Soeparmo, MSc

Kopromotor,

Prof. Dr. H. Eddy Pranowo Soedibyo, dr., MPH

Kopromotor,

Prof. Dr. Hj. Tatiek Hadijati Supadi, SU

Telah Diuji Pada Ujian Tertutup

Tanggal : 30 September 2002

Keputusan Rektor Universitas Airlangga

Nomor : 8418/J.03/PP/2002

Tim Penguji Disertasi :

Ketua : Prof. Dr. Hj. Kusriningrum R.S., Ir., MS.

Anggota :
1. Prof. H.A. Soeparmo, MSc
2. Prof. Dr. H. Eddy Pranowo Soedibyo, dr., MPH
3. Prof. Dr. Hj. Tatiek Hadijati Supadi, SU
4. Prof. Dr. Rokhiman Sasmita, Ir., MS
5. Prof. Dr. H. Sarmanu, MS

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya panjatkan puji syukur ke hadirat Allah Yang Maha Pengasih dan Penyayang, atas segala rakhmat dan karuniaNya sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Terima kasih yang tiada terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya saya sampaikan kepada Prof. H.A. Soeparmo, MSc. sebagai Promotor, yang telah dengan sungguh-sungguh dan penuh perhatian serta kesabaran, memberikan bimbingan, wawasan, arahan, ide-ide, saran, koreksi, dorongan semangat dan nasehat, yang sangat berguna dalam menyelesaikan disertasi ini.

Terima kasih yang tiada terhingga dan penghargaan yang setinggi-tingginya juga saya sampaikan kepada Prof. Dr. Eddy Pranowo Soedibyo, MPH. dan Prof. Dr. Hj. Tatiek Hadijati Supadi, SU. sebagai Kopromotor, yang telah dengan sungguh-sungguh dan penuh perhatian serta kesabaran, memberikan bimbingan, wawasan, arahan, saran, koreksi, dorongan semangat dan nasehat, yang sangat berguna dalam menyelesaikan disertasi ini.

Saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Pemerintah Republik Indonesia c.q. Menteri Pendidikan Nasional, melalui Tim Managemen Program Doktor, yang telah memberikan bantuan finansial, sehingga sangat membantu dalam penyelesaian disertasi ini.

Dengan selesainya disertasi ini, perkenankan saya menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

Rektor Universitas Airlangga Prof. Dr. Med. Puruhito, dr. dan mantan Rektor Universitas Airlangga Prof. H. Bambang Rahino Setokusumo, dr., atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan Program Doktor.

Direktur Program Pascasarjana Universitas Airlangga Prof. Dr. H. Muhammad Amin, dr. dan mantan Direktur Program Pascasarjana Universitas Airlangga Prof. Dr. Soedijono, dr. DSTHT., yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk mengikuti pendidikan Program Doktor.

Ketua Program Studi Program Doktor bidang MIPA Prof. Dr. Gde Nyoman Astika, Apt. dan mantan Ketua Program Studi Program Doktor bidang MIPA Prof. Dr. H.A. Aziz Hubeis, Apt., yang telah memberikan saran, kritik dan masukan yang sangat berguna dalam penyelesaikan disertasi ini.

Tim Penilai Usulan Penelitian sekaligus Tim Penilai Naskah Disertasi, Prof. Dr. H.A. Soeparmo, MSc., Prof. Dr. Eddy Pranowo Soedibyo, MPH., Prof. Dr. Hj. Tatiek Hadijati, SU., Prof. Dr. Ami Suwandi, Apt., Prof. Dr. Ir. Wahyono Hadi, MSc., Prof. Dr. Hj. Kusriningrum R.S., MS., Prof. Dr. Rokhiman Sasmita, MS., dan Prof. Dr. Sarmanu, MS., yang telah memberikan saran, kritik dan masukan yang sangat berharga guna penyempurnaan pelaksanaan penelitian dan penulisan disertasi ini.

Tim Ujian Doktor Terbuka, Prof. Dr. Gde Nyoman Astika, Apt., Prof. H.A. Soeparmo, MSc., Prof. Dr. Eddy Pranowo Soedibyo, MPH., Prof. Dr. Mustahdi S., drh., Prof. Dr. Ami Suwandi, Apt., Prof. Dr. Amirudin

Prawita, Apt., Dr. Sudjarwo, MS., Apt., Dr. Agus Soegianto, Ir., DEA., Win Darmanto, Msi., Ph.D. dan Prof. Dr. Hj. Kusriningsum R.S., MS.

Dekan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman Prof. Dr. Hj. Triani Hardiyati, SU. dan Rektor Universitas Jenderal Soedirman Prof. Drs. H. Rubijanto Misman, yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk mengikuti pendidikan Program Doktor, dan memberi kelonggaran tugas selama saya mengikuti pendidikan.

Rekan-rekan peserta Program Doktor Universitas Airlangga terutama Dr. Soedjarwo, MS., Apt., Dr. Tutuk Budiati, MS, Apt., dan Dra. Endang Kartini, MS., atas dorongan semangat sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Istri dan anak-anakku, yang telah banyak berkorban, memohonkan do'a dan memberikan semangat, sehingga saya berhasil menyelesaikan pendidikan Program Doktor.

Semoga Tuhan Yang Maha Pengasih memberikan balasan yang setimpal dengan semua kebaikan yang telah diberikan, dan semoga hasil penelitian ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan.

RINGKASAN

Industri tapioka menghasilkan tepung tapioka yang komponen utamanya adalah pati. Pada proses ekstraksi pati banyak menggunakan air menyebabkan produksi limbah cair (LCIT)nya banyak, dan mengandung 10 – 15 % partikel halus. Hal ini menyebabkan kadar BOD, COD, TSS dan TSS sangat tinggi dengan pH asam, berupa suspensi putih yang segera berubah kehitaman akibat biodegradasi. Pencemaran badan air oleh LCIT yang lain adalah menurunnya estetika, pelumpuran dan munculnya bau busuk yang disebabkan oleh munculnya H_2S dan NH_3.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan efektivitas biodegradasi melalui rekayasa bioteknologi meliputi peningkatan keanekaragaman dan jumlah mikro-organisme pendegradasi. Keanekaragaman ditingkatkan dengan cara lumpur aktif yang merupakan mikroorganisme indigen diperkaya dengan mikroorganisme eksogen tinja sapi yang kemudian diimobilisasi dalam substrat ijuk. Proses biodegradasi dilaksanakan pada kombinasi proses aerob dan anaerob.

Hipotesis yang perlu dibuktikan adalah (1) LCIT mengandung mikroorganisme indigen, (2) tinja sapi mengandung mikroorganisme eksogen, (3) kemampuan menurunkan parameter BOD, COD, TSS dan TDS tergantung komunitas lumpur aktif yang diperkaya, (4) imobilisasi pada ijuk lebih meningkatkan kemampuan biodegradasi, dan (5) kombinasi proses aerob dan anaerob meningkatkan kemampuan biodegradasi.

Penelitian dilakukan dalam lima tahap, yaitu (1) studi kualitas fisik-kimia dan biologi LCIT, (2) studi kualitas biologi tinja sapi, (3) studi efektivitas kemampuan biodegradasi lumpur aktif yang diperkaya, (4) imobilisasi lumpur aktif yang diperkaya, dan (5) uji pengaruh kombinasi proses anaerob dan aerob dalam biodegradasi.

Penelitian tahap pertama dilakukan di Laboratorium Biologi Perairan dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Biologi UNSOED Purwokerto dan di lapangan yaitu Pabrik Tapioka "X" Majenang, Cilacap. Menggunakan metode survai. Peubah yang diamati adalah suhu, pH, BOD, COD, TSS, TDS, CN dan bakteri indigen. Data yang diperoleh diuji secara deskripsi untuk mengetahui kandungan bakteri indigen yang dominan.

Penelitian tahap ke dua adalah isolasi dan identifikasi bakteri dalam tinja sapi. Data yang diperoleh diuji secara deskriptif untuk mengetahui kandungan bakteri eksogen tinja sapi.

Penelitian tahap ke tiga merupakan penelitian eksperimental di laboratorium. Tujuan tahap ini untuk menguji efektivitas penambahan tinja sapi dengan dosis 0 %, 10 %, dan 30 %. Peubah pengamatan adalah persentase penurunan kadar BOD, COD, TSS, TDS dan CN. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektivitas tertinggi dicapai pada pengayaan 30 % $^{V}/_{V}$ tinja sapi.

Penelitian tahap ke empat dilakukan di laboratorium. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui jumlah dan jenis lumpur aktif yang diperkaya dengan 30 % $^{V}/_{V}$ tinja sapi yang terimobilisasi dalam ijuk. Dilakukan aerasi selama 48 jam dan apabila terbentuk supernatan dihentikan. Peubah yang diamati

adalah jumlah dan jenis bakteri dalam ijuk. Hasil penelitian menunjukkan ijuk berperan sebagai imobilisator dan meningkatkan keanekaragaman jenis bakteri yang memunculkan komunitas biofilm.

Penelitian tahap ke lima adalah untuk menguji kemampuan kombinasi anaerob dengan aerob dalam menurunkan kadar BOD, COD, TDS dan CN LCIT. Peubah yang diamati adalah persentase penurunan kadar dengan waktu tinggal 24 jam, 48 jam dan 72 jam. Hasil penelitian menunjukkan waktu detensi 72 jam memberikan persentase penurunan yang paling besar.

DEVELOPMENT ACTIVATED SLUDGE ENRICHMENT TO BIODEGRADATION PROCESS WASTE WATER STARCH INDUSTRY

ABSTRACT

The aim of the research was to increase the effectivyness of biodegradation process waste water starch industry using microbiological engineering. The implementation was conducted if five steps : (1) to study the quality of waste water starch industry, (2) to identify and select bacteria in dairy catle waste, (3) to study effectivity of dairy catle enrichment, (4) imobilization process, and (5) to test and apply the biofilm ecosystem on increase waste water quality in combination anaerob and aerob process.

The all steps were conducted in the laboratory and in the field. The first step to find the physio-chemical and microbiological parameters of waste water. The second steps was isolation and identification exogenous bacteria in dairy catle waste. The thirth steps was enrichment activated sludge with variation dairy catle waste. The fourth steps was imobilization process. The five step was to test biofilm ecosystem to increasing quality waste water starch industry.

The result shower that waste water has high concentration of BOD, COD, TDS, CN and indigenous bacteria. The dairy catle waste has N, P nutrients and exogenous bacteria. Enrichment with 30 % $^{V}/_{V}$ faeces give highest impact. Imobilization on substrat give the biofilm ecosystem and its ecosystem give highest impact to increase waste water quality. From waste water found two genus indigenous bacteria and from faeces was found six genus exogenous bacteria. The dominant species are *Methano bacterium* and *Selenomonas ruminantion*.

Implementation of biofilm ecosystem showed a signifigant effect on decreasing waste water quality. The 72 hours was a time that given highest effecot.

Key words : activated sludge, enrichment, faeces and biodegradation.

DAFTAR ISI

	Halaman
SAMPUL DALAM	i
PRASYARAT GELAR	ii
PERSETUJUAN	iii
PENETAPAN PANITIA	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
RINGKASAN	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ISTILAH	xvi
BAB I. PENDAHULUAN	1
1. Latar Belakang Permasalahan	1
2. Rumusan Masalah	8
3. Tujuan Penelitian	9
4. Manfaat Penelitian	10
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	11
1. Landasan Teori	11
1.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka	11
1.2. Proses Degradasi	16
1.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Biodegradasi	19
1.4. Lumpur Aktif	21
1.5. Biodegradasi Aerob	33
1.6. Biodegradasi Anaerob	36
1.7. Nitrifikasi	42
1.8. Aspek-aspek Kesehatan Pada Penggunaan Ulang Limbah Cair	45
1.9. Model Matematika Lumpur Aktif	60

MILIK PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

Halaman

BAB III. KERANGKA KONSEPTUAL DAN KERANGKA OPERASIONAL PENELITIAN 66
3.1. Kerangka Konseptual Penelitian 66
3.2. Kerangka Operasional Penelitian 71
BAB IV. METODE PENELITIAN 74
1. Studi Kualitas LCIT 74
2. Studi Kualitas Tinja Sapi 77
3. Studi Efektivitas Konsentrasi Penambahan Tinja Sapi 78
4. Studi Imobilisasi Lumpur Aktif 80
5. Studi Kemampuan Kombinasi Anaerob dan Aerob 82
BAB V. HASIL PENELITIAN 84
5.1. Studi Kualitas Limbah Cair Industri Tapioka 84
5.2. Studi Kualitas Tinja Sapi 88
5.3. Studi Efektivitas Lumpur Aktif Yang Diperkaya 92
5.4. Studi Imobilisasi Sel Lumpur Aktif 94
5.5. Studi Kemampuan Kombinasi Anaerob dan Aerob 97
BAB VI. PEMBAHASAN 103
6.1. Kualitas LCIT 103
6.2. Kualitas Tinja Sapi Sebagai Pemacu 108
6.3. Perlakuan Biofilm Dalam Biodegradasi 111
6.4. Studi Imobilisasi Sel 115
6.5. Pengujian Efektivitas Model IPAL 121
BAB VII. KESIMPULAN DAN SARAN 125
7.1. Kesimpulan 125
7.2. Saran 126
DAFTAR PUSTAKA 127
LAMPIRAN 130

DAFTAR TABEL

Tabel Halaman

2.1. Sifat Fisika-Kimia LCIT dari Proses Pemisahan Pati dan Proses Pencucian Umbi 13

2.2. Beberapa Contoh Jenis Bakteri yang ada di Perairan 28

2.3. Kondisi Optimum Terbentuknya Gas Metan 39

2.4. Jenis dan Populasi Bakteri yang ada Pada Limbah Cair 47

5.1. Parameter Fisik-Kimia LCIT Baru dan Effluen Bak Penampung 84

5.2. Hasil Pengujian Identifikasi Bakteri LCIT Baru 87

5.3. Hasil Pengujian Identifikasi Bakteri Tinja Sapi Baru 88

5.4. Komunitas Mikroorganisme Tinja Sapi Umur 30 hari 91

5.5. Persentase Penurunan BOD, COD dan TSS LCIT Pada Penambahan Tinja Sapi 92

5.6. Persentase Penurunan BOD, COD dan TSS LCIT Pada Lama Waktu Detensi 93

5.7. Jumlah Bakteri Pada Pengayaan Tinja Sapi 95

5.8. Uji Identifikasi Bakteri Pada Substrat Ijuk 96

5.9. Kualitas LCIT Sesudah dan Sebelum Perlakuan Dalam Bioreaktor Anaerob 98

5.10. Kualitas LCIT Dengan Perlakuan Kombinasi Bioreaktor Anaerob dan Aerob 98

5.11. Karakteristik LCIT di Banyumas 98

6.1. Harga Jenis Koagulan per Kilogram 124

DAFTAR GAMBAR

Gambar Halaman

2.1. Piramida Trofik pada Ekosistem Lumpur Aktif dan Biofilm 23

2.2. Ilustrasi Diagram Alir Beberapa Lintasan Utama Untuk Degradasi Katagori Utama Senyawa Organik 29

2.3. Fase-fase dalam Sistem Biomethanisasi 40

2.4. Jalur Metabolisme Nitrogen Anorganik oleh Mikroorganisme ... 44

2.5. Diagram Lintasan Transmisi Penyakit yang Berada di Air 58

2.6. Skema Keterkaitan Antara Manusia dan Lingkungan 59

3.1. Diagram Alir Kerangka Konseptual Penelitian 71

3.2. Kerangka Operasional Penelitian 73

4.1. Rincian Operasional Studi Kualitas LCIT 74

4.2. Rincian Operasional Studi Kualitas Tinja Sapi 77

4.3. Rincian Operasional Efektivitas Konsentrasi Penambahan Tinja Sapi 79

4.4. Rincian Operasional Imobilisasi Sel Lumpur Aktif 81

4.5. Operasional Kemampuan Biofilm Terhadap Penurunan Parameter LCIT 82

6.1. Diagram Alir Proses Pengolahan Air Limbah Tapioka 123

DAFTAR LAMPIRAN

Halaman

1. Alat-alat, Spesifikasi, Kegunaan, Bahan dan Metode Pada Analisis BOD_5, COD, TSS dan HCN 130

2. Rancang Bangun IPAL LCIT dengan Bioreaktor Anaerob dan Aerob 132

DAFTAR ISTILAH

Bakteri indigen	: Bakteri yang hidup dan berasal dari habitat habitat aslinya
Bakteri eksogen	: Bakteri yang berasal dari luar habitat asli
BOD (Biochemical Oxygen Demand)	: Jumlah molekul oksigen untuk biooksidasi
COD (Chemical Oxygen Demand)	: Jumlah molekul O_2 yang dipergunakan untuk oksidasi kimiawi bahan organik
Biodegradasi	: Perombakan bahan organik yang dilakukan oleh organisme yang ditandai/dicirikan oleh perubahan bentuk fisik dan komposisi kimia-nya
CN (Cianida)	: Senyawa kimia hasil pemecahan glikosida sianogenik
Denitrifikasi	: Reduksi nitrat atau nitrat menjadi gas nitrogen
Identifikasi	: Pelacakan untuk menentukan nama suatu organisme sampai dengan nama jenisnya
Imobilisasi	: Proses pertumbuhan organisme pada substrat
Isolasi	: Proses pemisahan mikroorganisme dari ke-hidupannya di alam ke dalam suatu media buatan
Isolat	: Mikroorganisme hasil isolasi
Kotoran sapi	: Faeces sapi berbentuk padat yang berumur kurang dari 6 jam di lingkungan
LCIT (Limbah Cair Industri Tapioka)	: Effluen yang dihasilkan dari bak pengendap-an pati (flour table)
TDS (Total Disolved Solid)	: Jumlah padatan terlarut
TSS (Total Suspended Solid)	: Jumlah paatan tersuspensi
Nitrifikasi	: Oksidasi amonium menjadi nitrat atau nitrit
Rekayasa mikrobiologi	: Upaya mengatur kehidupan mikroorganisme untuk dapat mencapai suatu tujuan yang diinginkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1. Latar Belakang Permasalahan

Industri tapioka menghasilkan tepung tapioka yang komponen utamanya adalah pati. Tepung tapioka merupakan salah satu bahan untuk keperluan industri makanan, industri farmasi, industri kertas, industri tekstil dan lain-lain. Pada industri tapioka yang berupa industri rumah tangga, sebagian besar hasil produksinya untuk memenuhi kebutuhan pasar lokal. Konsumennya adalah industri rumah tangga pembuat makanan jajanan, kerupuk, kue-kue tradisional dan lain-lain yang banyak dikonsumsi masyarakat umum terutama kalangan menengah ke bawah.

Bahan baku utama industri tapioka adalah umbi ketela pohon (*Manihot utilissima* Pohl) yang banyak mengandung pati. Umbi diparut secara mekanis, pati di ekstraksi menggunakan air menjadi suspensi, kemudian pati dipisahkan dari suspensi dengan cara pengendapan. Proses ini banyak menggunakan air sehingga menghasilkan banyak limbah cair. Sumber Limbah Cair Industri Tapioka (LCIT) selain berasal dari proses pengendapan juga dari proses pencucian ketela pohon dan pencucian alat. Partikel pati halus yang terbawa limbah cair tidak dapat diendapkan secara gravitasi, disebabkan bersifat koloid hidrofilik, menyebabkan LCIT banyak mengandung padatan total terlarut (Total Dissolved Solid, TDS) dan padatan total tersuspensi (Total Suspended Solid, TSS). Selain mengandung pati yang merupakan karbohidrat, ketela pohon juga mengandung protein, lemak,

vitamin dan mineral, yang sebagian ikut terbawa dalam air limbah. Diperkirakan 10-15 % pati ikut terbawa limbah cair bersama-sama serat halus (Wiraatmaja, 1994). Dengan demikian LCIT mengandung banyak bahan organik terlarut dan tersuspensi, dengan sifatnya yang mudah dibiodegradasi.

Telah dipahami bahwa salah satu dampak bahan organik dalam air adalah menyebabkan terjadinya penurunan kandungan oksigen terlarut (deoksigenasi). Hal ini disebabkan karena oksigen tersebut digunakan oleh mikroorganisme untuk melakukan proses biodegradasi. Dengan demikian untuk menghilangkan bahan organik dari dalam limbah cair dapat memanfaatkan proses biodegradasi, dengan cara memanfaatkan aktivitas mikroorganisme yang sesuai dan dapat berlangsung dalam proses aerob maupun anaerob.

Untuk menentukan rancangan sistem biodegradasi perlu memperhatikan : 1) apakah akan diolah secara fermentasi (anaerob) atau secara degradasi (aerob); 2) komunitas mikroorganisme yang sesuai; dan 3) laju pertumbuhan mikroorganisme dan faktor lingkungan yang mempengaruhinya. Parameter yang digunakan untuk mengetahui kekuatan bahan organik dalam limbah cair adalah dengan mengukur beban limbah yang akan dibiodegradasi dan untuk mengevaluasi efisiensi dan efektivitas sistem adalah dengan mengukur perubahan nilai BOD dan COD.

Parameter BOD didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh komunitas mikroorganisme untuk oksidasi aerob terhadap bahan organik, sedangkan COD didefinisikan sebagai jumlah oksigen yang

dibutuhkan untuk oksidasi bahan organik secara kimiawi yang menghasilkan CO_2 dan H_2O. Nilai COD selalu lebih besar dari BOD karena mengandung bahan organik yang lambat atau sulit dibiodegradasi.

Kandungan LCIT yang spesifik adalah asam sianida (HCN). Berdasarkan hasil penelitian, senyawa tersebut bersifat toksis akut terhadap ikan tawes (*Puntius javanicus* Blkr) dan konsentrasi subletalnya dapat meningkatkan jumlah eritrosit, kadar hemoglobin dan hematokrit. Asam sianida berasal dari umbi ketela pohon dalam bentuk glikosida sianogenik. Kandungan senyawa ini dalam ketela pohon jenis pahit dapat mencapai 100 mg/kg, dan pada jenis manis sekitar 40 mg/kg. Selain bersifat toksis bagi ikan, juga bersifat toksis bagi kutu air (*Daphnia magna*) dengan konsentrasi $LC_{50,\ 24\ jam}$ = 34,99 mg/liter dan $LC_{50,\ 96\ jam}$ = 12,57 mg/liter.

Dampak negatif LCIT terhadap lingkungan yang lain adalah munculnya bau busuk yang disebabkan oleh gas H_2S dan NH_3, penurunan pH perairan menjadi asam dan terjadinya perubahan estetika dan pelumpuran. Berdasarkan uraian di atas proses biodegradasi terhadap LCIT harus mampu : 1) menurunkan BOD dan COD; 2) menurunkan TSS dan TDS; 3) menghilangkan asam sianida; 4) menghilangkan bau; dan 5) menaikan pH dan kandungan oksigen terlarut perairan.

Partikel halus bahan organik yang merupakan komponen terbesar dalam LCIT menyebabkan proses biodegradasi menggunakan aktivitas mikroorganisme dapat menjadi pilihan yang efektif dan efisien. Bakteri sebagai salah satu mikroorganisme yang berperan dapat mengkonsumsi hampir semua bahan organik, dengan cara mengeluarkan sejenis enzim

dalam jumlah tertentu. Bahan organik digunakan oleh bakteri sebagai sumber makanan. Hasil dari proses ini adalah bertambahnya jumlah bakteri. Sebagaimana diketahui bakteri tidak tumbuh tapi berkembang melipatgandakan dirinya dengan cara yang disebut pembelahan sel. Bakteri ada di lingkungan alami dan mudah untuk membuat satu milyar bakteri dalam waktu sekejap. Selain bakteri terdapat berbagai jenis fungi yang ikut berperan dalam proses biodegradasi.

Enzim yang diproduksi mikroorganisme mempunyai kemampuan katalitik yang spesifik yaitu hanya memecah satu jenis ikatan molekul saja, menyebabkan kemampuannya sangat beragam. Untuk itu diperlukan rekayasa bioteknologi yang dapat mengembangkan komunitas mikroorganisme sebagai inokulan dalam proses biodegradasi LCIT secara efektif dan efisien. Pengembangan inokulan tersebut didasari oleh kemampuan sinergisme beberapa jenis bakteri dan fungi yang dapat menghasilkan berbagai jenis reaksi sehingga dapat menghasilkan proses biodegradasi yang efektif dan efisien. Kultur campuran (mixed-culture) atau suatu komunitas mikroorganisme digunakan untuk tujuan tersebut.

Penggunaan kultur campuran bertujuan untuk meningkatkan keanekaan jenis (diversitas) mikroorganisme yang dapat menghasilkan keanekaan enzim pendegradasi, sehingga menghasilkan biodegradasi yang lebih sempurna. Hal ini disebabkan karena mikroorganisme seringkali tidak dapat melaksanakan proses biodegradasi secara mandiri, dan baru dapat melaksanakan apabila dalam substratnya tersedia senyawa tertentu yang berfungsi sebagai induser yang akan memacu pembentukan enzim.

ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga

Seringkali pula terjadi bahwa induser dihasilkan dari metabolisme yang dilaksanakan oleh mikroorganisme bukan pendegradasi (Wang, 1978). Sebagai contoh *Bacillus sp* membutuhkan pati sebagai induser, sementara *Pseudomonas* membutuhkan asam amino triptofan dan *Klebsiella* membutuhkan asam amino histidin. Telah diketahui bahwa kedua asam amino tersebut merupakan metabolit beberapa mikroorganisme bukan pendegradasi.

Biodegradasi LCIT menghasilkan gas-gas dan senyawa kimia sederhana yang dapat digunakan oleh mikroorganisme pada tingkat trofik yang lain. Bakteri berfungsi sebagai saprotrof menghasilkan N (nitrogen) dan P (fosfor) yang merupakan nutrisi penting dalam pertumbuhan organisme autotroph seperti fitoplankton. Berdasarkan konsep ekologi, bahwa dalam ekosistem harus terdapat rantai makanan (foodweb) dan rantai energi, maka untuk keberhasilan biodegradasi, harus berupa suatu ekosistem yang di dalamnya terdapat interaksi, interrelasi dan interdependensi antar komponen ekosistem yang diwujudkan antara lain dalam hubungan pemangsaan atau prey-predator relationship (Soerjani, 1994 dan Odum, 1971).

Dalam ekosistem harus terdapat tiga komponen yaitu saprotrof, autotrof dan heterotrof yang berinteraksi secara selaras dan berkelanjutan. Lumpur aktif (LA) memenuhi kriteria tersebut. Mikroorganisme pendegradasi dalam hal ini berfungsi sebagai saprotrof, sedangkan fitoplankton berfungsi sebagai autotrof, dan protozoa berfungsi sebagai heterotrof. Untuk memperoleh hasil biodegradasi yang optimal, salah satu caranya adalah dengan mengontrol pertumbuhan bakteri supaya perkembangannya tidak

segera mencapai fase stasioner dengan cara dimangsa oleh protozoa sebagai konsumer. Protozoa juga akan memangsa fitoplankton sehingga berfungsi mempercepat proses penjernihan air. Selanjutnya populasi protozoa dikontrol perkembangan-nya oleh organisme konsumer yang lain yaitu larva serangga air dan cacing-cacingan (helminthes). Komunitas yang mempresentasikan adanya rantai makanan dan rantai energi adalah lumpur aktif (activated sludge) dan biofilm (slime biologis).

Biofilm adalah komunitas mikroorganisme yang berkembang pada suatu media yang bertindak sebagai host (tempat aktivitas) atau dikenal dengan istilah komunitas dengan sistem pertumbuhan melekat (fixed growth). Lumpur aktif adalah komunitas organisme yang diperoleh dari pengudaraan (aerasi) limbah cair dengan sistem pertumbuhan tersuspensi (suspension growth). Komunitas lumpur aktif dapat diubah menjadi komunitas biofilm dengan cara memberi host yang selanjutnya melalui proses adsorbsi menyebabkan terjadinya penempelan dengan membentuk biopolimer sebagai alat untuk melekat. Perubahan komunitas tersuspensi menjadi komunitas yang menempel akan meningkatkan keanekaan dan jumlah jenis organisme sehingga dapat meningkatkan efisiensi biodegradasi (Viridians, 1999).

Komunitas lumpur aktif dan biofilm dapat berkembang dalam proses aerob maupun anaerob. Dengan beban BOD yang besar, biodegradasi LCIT secara aerob menjadi tidak efisien. Hal ini disebabkan oleh kebutuhan akan molekul oksigen yang berfungsi sebagai elektron akseptor sangat besar, oleh karena itu dipilih secara anaerob, yang kebutuhan elektron akseptornya

dapat menggunakan nitrat (NO_3^-) dan amonia (NH_3) (Tejo Baskoro, 1994). Dengan cara menggabungkan komunitas lumpur aktif dan biofilm serta proses aerob dan anaerob diasumsikan akan mempercepat waktu biodegradasi LCIT. Hal tersebut dapat memperkecil biaya pembuatan IPAL (Instalasi Pengolah Air Limbah) dan biaya operasionalnya sehingga dapat lebih efektif dan efisien. Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini akan mencoba menggabungkan komunitas lumpur aktif dan biofilm.

Asam sianida dalam LCIT dapat dibiodegradasi menggunakan bakteri penghasil enzim hidrolase yang mengkatalisis perombakan CN^- menjadi senyawa yang tidak toksis. Prosesnya dengan cara menggunakannya sebagai substrat perkembangan mikroorganisme (Syafila, 1997). Keanekaan dan jumlah jenis mikroorganisme dapat diperkaya dengan mikroorganisme tinja sapi. Umur lumpur yang menyatakan jumlah biomassa mikroorganisme yang ada dalam bioreaktor berpengaruh terhadap kinetika biodegradasi.

Penelitian ini bertujuan merekayasa proses biodegradasi dengan teknologi sederhana dan murah dengan cara memanfaatkan mikroorganisme alamiah (indigen) yang dikombinasi dengan mikroorganisme pendegradasi pencemar organik (eksogen). Sebagai mikroorganisme endogen adalah lumpur aktif, sedangkan tinja sapi sebagai sumber mikroorganisme eksogen. Menurut Tejo Baskoro (1994) dalam tinja sapi terdapat bakteri termofilik dan selulolitik sebanyak 10^3-10^{10} sel/cm^3, bersifat gram negatif dan menghasilkan enzim termostabil. Secara alamiah, dalam rumen sapi banyak terdapat mikroorganisme pendegradasi bahan organik serat dengan keanekaan jenis

yang tinggi. Selain itu, tinja sapi juga mengandung nutrisi N dan P, yang dapat memacu perkembangan mikroorganisme. Peran penambahan tinja sapi selain sebagai sumber mikroorganisme eksogen juga akan menaikan perbandingan BOD : N : P air limbah sehingga biodegradasi diharapkan berjalan lebih efisien dan efektif. Keberhasilan biodegradasi ditentukan juga oleh perbandingan jumlah bahan organik dengan jumlah mikroorganisme. Penambahan tinja sapi dimaksudkan untuk memenuhi hal tersebut.

2. Rumusan Masalah

Masalah yang menjadi bahan kajian dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

(1) Apakah terdapat mikroorganisme indigen dalam LCIT dan mikro-organisme eksogen dalam tinja sapi ?

(2) Bagaimanakah struktur komunitas mikroorganisme lumpur aktif dan biofilm pada variasi dengan penambahan tinja sapi ?

(3) Apakah penambahan tinja sapi berpengaruh terhadap biodegradasi LCIT ?

(4) Apakah penambahan tinja sapi dalam bioreaktor aerob dan anaerob berpengaruh nyata terhadap penurunan parameter BOD, COD, TSS, pH, dan HCN ?

(5) Apakah terdapat perbedaan kualitas hasil effluen kombinasi bioreaktor aerob dengan anaerob dengan tanpa kombinasi ?

(6) Apakah waktu detensi berpengaruh terhadap proses biodegradasi ?

3. Tujuan Penelitian

3.1. Tujuan Umum

(1) Didapatkannya teknologi daur ulang limbah cair industri melalui biodegradasi agar dapat dimanfaatkan kembali sebagai sumber air yang memenuhi hajat hidup orang banyak sehingga perlu dipelihara kualitasnya agar tetap bermanfaat bagi hidup dan kehidupan manusia serta mahkluk hidup lainnya.

(2) Meringankan beban pencemaran pada badan air penerima (sungai).

(3) Dapat menghilangkan kekhawatiran yang berlebihan bahwa program pengendalian pencemaran akan menyusahkan/ membebani industriawan dengan tingginya biaya.

3.2. Tujuan Khusus

(1) Mengetahui komunitas mikroorganisme indigen dan eksogen penyusun lumpur aktif dan biofilm.

(2) Mengetahui komunitas lumpur aktif dan biofilm yang diperkaya dengan penambahan tinja sapi.

(3) Mengkaji pengaruh pengayaan tinja sapi terhadap proses biodegradasi.

(4) Mengkaji kemampuan bioreaktor aerob dan anaerob dalam menurunkan parameter BOD, COD, TSS dan menaikan pH.

(5) Mengkaji perbedaan kemampuan menghasilkan effluen pada kombinasi bioreaktor aerob dengan anaerob dengan tanpa kombinasi.

(6) Mengkaji pengaruh waktu detensi dalam mendegradasi LCIT.

4. Manfaat Penelitian

(1) Mengetahui mikroorganisme indigen dan eksogen yang berpotensi dalam biodegradasi LCIT

(2) Mengetahui kemampuan lumpur aktif yang diperkaya dengan tinja sapi dalam biodegradasi LCIT.

(3) Memperoleh proses biodegradasi LCIT yang efektif dan efisien.

(4) Mendapatkan teknologi pengolahan limbah cair yang efektif dan efisien.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

1. Landasan Teori

1.1. Karakteristik Limbah Cair Industri Tapioka (LCIT)

Kemajuan industri tapioka di Indonesia telah memberikan dampak positif bagi penduduk setempat dan negara, yaitu dalam bentuk kesempatan kerja, peningkatan pendapatan petani, pendapatan pemerintah daerah, devisa negara dan dalam bentuk jasa lainnya. Di samping adanya dampak positif tersebut juga menimbulkan dampak negatif apabila peningkatan volume limbah sebagai efek samping peningkatan produksi tapioka tidak ditangani dengan baik.

Produksi LCIT cukup besar, yaitu antara 14-18 m^3/ton tapioka yang dihasilkan dengan kadar bahan organik sebesar 2000 mg/l BOD. Berdasarkan perhitungan, maka LCIT tersebut menimbulkan beban pencemaran sebesar 28-30 kg BOD/ton tapioka. Nilai tersebut lebih tinggi dari beban pencemaran maksimum baku mutu limbah cair tapioka sebesar 12 kg BOD/ton tapioka.

Industri tapioka sebagian besar masih bersifat padat karya, dengan teknologi proses tradisional sampai modern. Daerah produksi ketela pohon di Indonesia tersebar di beberapa pulau, terutama di Jawa, Madura, Sumatera, Bali dan Nusa Tenggara. Di Jawa dan Madura memiliki luas panen 72,98 % dari seluruh luas panen nasional pada tahun 1978; Sumatera 10,4 %, sedangkan Bali dan Nusa Tenggara 6,8 %. Kapasitas produksi tapioka skala

ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga

sedang dan besar meningkat dari 761.701 ton ketela pohon yang diolah pada tahun 1986 menjadi 1.206.895 ton ketela pohon untuk tahun 1989.

Jumlah industri tapioka di Indonesia pada tahun 1979 tidak kurang dari 480 buah. Dari sejumlah industri tersebut, di Lampung terdapat 60 buah dan 10 buah di antaranya termasuk industri tapioka besar yang mampu mengolah ketela pohon 20-40 ton setiap hari. Sementara itu industri tapioka yang paling banyak terdapat di Jawa Barat, yaitu sekitar 200 buah.

Cara memproduksi tepung tapioka pada umumnya dapat dikelompok-kan ke dalam dua tipe pengolahan. Tipe pertama bersifat padat modal dengan menggunakan peralatan modern. Biasanya tipe ini diterapkan pada industri skala besar. Tipe kedua dengan menggunakan metode pemisah sederhana, seperti penyaringan dengan kain, pengendapan dan penjemuran. Tipe ini biasanya diterapkan pada industri skala kecil atau industri rakyat.

Pengolahan tapioka dalam industri berskala kecil atau industri rakyat ini diawali dengan pengupasan kulit ketela pohon kemudian dicuci dan diparut secara sederhana dengan mesin parut serta disaring dengan kain penyaring berukuran 80-100 mesh. Dari penyaringan ini didapatkan endapan pati dan onggok. Endapan patinya dicuci sehingga didapatkan endapan pati yang bersih, kemudian dijemur dan disaring sehingga dihasilkan tepung tapioka.

Limbah cair dari pemisahan pati atau proses pengendapan sebagian besar mengandung pati terlarut, sianida, nitrogen, dan fosfor, sedangkan limbah cair dari pencucian ketela pohon mengandung sejumlah padatan terendapkan, seperti tanah, pasir, dan serpihan kulit. Limbah cair industri tapioka ini kaya akan bahan organik seperti pati, serat, protein, gula, dan

sebagainya yang berasal dari komponen pati yang tidak terekstrak dan komponen non pati yang terlarut dalam air. Sifat fisika-kimia limbah cair tapioka ini terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Sifat Fisika-Kimia LCIT dari Proses Pemisahan Pati dan Proses Pencucian Umbi

Karakteristik	Satuan	Limbah Cair Pemisahan Pati	Limbah Cair Pencucian Umbi
Suhu	°C	26,5	27,0
Kekeruhan	mg/l SiO_2	2744,4	15,24
pH	-	4,16	5,24
CO_2	mg/l	423,9	11,99
Kandungan organik	mg/l	1211,4	298,85
Padatan tersuspensi	mg/l	1707,8	21,8
BOD_5	mg/l	2313,54	61,6
HCN	mg/l	26,98	54
DO	mg/l	tt	tt

Keterangan : tt = tidak terdeteksi

Memahami sifat fisika-kimia LCIT adalah penting untuk mengetahui kualitasnya. Limbah cair yang masih baru berwarna putih kekuning-kuningan, dan bau khas ketela pohon, sedangkan yang sudah lama berwarna abu-abu gelap dan berbau busuk.

Karakteristik fisik-kimia LCIT mempunyai kandungan BOD, COD dan TSS yang tinggi; pH asam; dan kandungan senyawa beracun HCN yang kadarnya bervariasi tergantung pada jenis ketela pohon. Parameter biologi LCIT mempunyai kandungan mikroorganisme endogen.

Di dalam ketela pohon terkandung senyawa racun sianida, terdapat di dalam daging maupun kulit. Sianida terikat dalam molekul glikosida sianogenik yang dinamakan linamarin yang terdiri atas glukosa, aseton, dan HCN dengan rumus kimia $C_{10}H_{17}O_6N$.

Untuk menghilangkan racun HCN pada pembuatan tepung tapioka, ketela pohon diparut sehingga sel-sel jaringan mengalami kerusakan mekanis. Hal ini menyebabkan enzim linamarase akan aktif memisahkan antara glukosida dan HCN. Oleh karena dalam pembuatan tepung tapioka ini dibutuhkan banyak sekali air dan air tersebut sering diganti atau diperbaharui, maka baik glukosa maupun HCN tersebut akan turut terbuang dalam limbah cair. Asam sianida yang terbawa oleh limbah cair ini mencapai 80-90 % dari kadar semula.

Kadar sianida dalam LCIT cukup tinggi, karena pada ekstraksi pati hampir seluruh senyawa glukosida sianogenik akan terlarut atau tercuci dan turut terbuang sebagai limbah. Asam sianida merupakan satu-satunya zat racun dalam ketela pohon yang terdapat dalam bentuk glukosida sianogenik yang disertai oleh suatu enzim hidrolisis yaitu linamarase. Pada jaringan tanaman yang aktif dan sehat, enzim dan substrat tidak berhubungan, tetapi hubungan akan terjadi apabila jaringan-jaringan tersebut mengalami kerusakan secara mekanis sebagai akibat pembusukan setelah dipanen atau karena layunya daun-daun kemudian terjadilah hidrolisis yang melepaskan HCN.

Asam sianida ini merupakan zat yang dalam bentuk gas maupun cairnya tidak berwarna. Berat gas HCN ini lebih ringan dari udara dan mudah menguap, sehingga mudah menyebar ke mana-mana. Berat jenis sianida cair di bawah suhu 20,5 ^{o}C adalah 0,6970; sedangkan dalam bentuk gas, berat jenisnya 0,9348. Titik didihnya 26,5 ^{o}C dan gas sianida ini larut dalam air dan alkohol.

Perairan terbuka yang mendapat buangan LCIT akan ditandai dengan : (1) meningkatnya zat padat yang berupa senyawa organik, sehingga timbul peningkatan TDS dan TSS; (2) meningkatnya kebutuhan oksigen terlarut di dalam air bagi mikroorganisme pembusuk untuk menguraikan senyawa organik, sehingga BOD-nya meningkat; (3) meningkatnya kebutuhan oksigen terlarut dalam air untuk proses-proses kimiawi, sehingga COD-nya meningkat; (4) adanya senyawa racun dalam air dan adanya bau busuk yang menyebar ke luar dari ekosistem akuatik itu sendiri; (5) meningkatnya derajat keasaman yang dinyatakan dengan pH rendah dari air yang tercemar, sehingga merusak keseimbangan ekosistem akuatik.

Senyawa organik dalam LCIT adalah karbohidrat, protein, lemak, serat-serat, dan mineral. Di perairan, senyawa tersebut akan didegradasi oleh mikroorganisme baik secara aerob maupun anaerob. Degradasi senyawa organik secara aerob akan menghasilkan sel-sel baru dan air yang stabil, sedangkan pada degradasi secara anaerob akan menghasilkan sel-sel baru serta senyawa yang tidak stabil seperti asam organik, alkohol, keton, dan metan. Pada proses degradasi senyawa organik secara aerob, mikroorganisme banyak membutuhkan oksigen terlarut, menyebab-kan turunnya kandungan oksigen terlarut serta peningkatan BOD.

Asam sianida yang terkandung dalam LCIT sangat beracun terhadap ikan. Menurut Sugiharto (1987), pada kadar di bawah 1 ppm merupakan bahan beracun bagi ikan dan kehidupan akuatik lainnya. Toksisitasnya sangat tinggi dan sangat kuat dalam menghambat enzim yang bekerja pada rantai pernafasan.

1.2. Proses Degradasi

Tubuh organisme dan alam sekelilingnya tersusun oleh molekul senyawa. Terdapat interaksi antar molekul. Struktur kimia senyawa memberi informasi potensi perubahan atau reaksi kimia. Perubahan dari makromolekul menjadi yang lebih sederhana yang dilakukan oleh organisme disebut biodegradasi. Menurut Soetarto (1989) yang disebut biodegradasi adalah degradasi menggunakan daya mikroorganisme, di mana aktivitasnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan sistem yang dapat didaur-ulangkan, mengendalikan kualitas effluen air limbah, bahan kimia untuk obat, industri kimia, pelarut dan senyawa lain yang lebih berguna. Pengertian sistem di sini adalah sistem hayati yang meliputi sel, enzim dan organisme sebagai biokonversi, agen perubahan dan alat perubahan.

Pengertian biodegradasi yang lain adalah pemanfaatan kemampuan metabolik sel mikroorganisme sebagai sarana perubahan senyawa sehingga terjadi biokonversi (Tejo Baskoro, 1994). Proses ini dilaksanakan melalui proses biokimiawi sel, dapat merupakan rangkaian reaksi yang bersifat transformatif, degradatif atau biosintesis melalui penggunaan enzim. Rangkaian proses perubahan senyawa ini berperan penting bagi organisme untuk membentuk komponen selular yang diperlukan untuk melangsungkan proses hidup antara lain untuk perbanyakan sel, protektif dan adaptif terhadap lingkungan luar yang selalu ada dan berubah setiap saat, dan dapat pula berfungsi komunikatif antar sel sejenis maupun sel lainnya.

Berlangsungnya biodegradasi berdasarkan kenyataan bahwa suatu senyawa dapat merupakan nutrisi bagi mikroorganisme. Kemampuan

metabolik mikroorganisme dapat dipilih, diseleksi dan direkayasa disesuaikan dengan sifat senyawa. Kemampuan mendegradasi merupakan sumber daya yang dapat diperbaharui, artinya sistem hayati tersebut dapat didaur ulangkan, sehingga dapat dijaga kelestarian potensinya. Berdasarkan uraian tersebut, pemilihan sistem hayati untuk biodegradasi tergantung pada : sifat dan komposisi senyawa, jenis mikroorganisme yang berperan, kecepatan pertumbuhan, faktor lingkungan yang mempengaruhi kecepatan pertumbuhan dan pembentukan produk, sistem proses yang akan digunakan dan kondisi lokal di mana proses tersebut dilaksanakan. Sistem proses meliputi *batch* (sekali unduh), terus menerus (kontinyu), semi batch dan fermentasi.

Proses biodegradasi LCIT diawali dengan hidrolisis senyawa makro-molekul menjadi senyawa antara atau senyawa yang lebih sederhana. Pati dihidrolisis menjadi gula sederhana atau senyawa lain yang lebih sederhana dengan bantuan enzim amilase dan glukoamilase yang dipunyai oleh bakteri dan fungi. Terdapat dua tipe pati, yang pertama adalah amilosa, molekul yang terdiri atas rantai-rantai beberapa unit glukosa yang tidak bercabang, terikat pada atom karbon nomor 1 dan nomor 4. Tipe kedua adalah amilopektin yang berbeda dengan amilosa karena molekulnya bercabang banyak.

Selulosa merupakan makromolekul organik lain yang terdapat dalam LCIT dengan glukosa sebagai monomernya, tidak mempunyai rantai cabang. Hal ini yang menyebabkan perbedaan sifat yang sangat berbeda dengan sifat pati, yaitu sulit dibiodegradasi. Fungi dan bakteri adalah mikroorganisme

yang mempunyai enzim selulase yang dapat menghidrolisis selulosa. Penyebaran fungi penghasil enzim selulase sangat luas, yaitu pada Ascomycetes, Basidiomycetes dan Detereomycetes baik yang mesofilik maupun termofilik. Enzim ini dihasilkan secara ekstra selular.

Senyawa lain yang terdapat dalam LCIT adalah protein, lemak dan zat anorganik lainnya yang terdapat pada zat yang menggumpal dan terapung. Lemak adalah zat organik yang tidak larut dalam air terdiri dari gliserol dan asam lemak. Setelah mengalami biodegradasi, gliserol difosforilasi yang selanjutnya memasuki jalur glikolisis Embden-Meyerhaf (EM) menuju ke glukosa atau piruvat dan daur Tricarboxylic Acid (TCA). Asam lemak setelah menjadi lemak asil-koA berdifusi ke mitokondria untuk keperluan oksidasi. Proses ini berlangsung hingga semua karbon terbuang.

Struktur protein terdiri dari ikatan polipeptida berupa rantai panjang, tersusun atas banyak unit asam amino. Proses biodegradasi protein akan menghasilkan NH_3, H_2S dan CO_2 dan asam-asam lainnya. Di antara molekul organik, pati dan protein lebih mudah mengalami biodegradasi, sedangkan lemak lebih stabil.

Senyawa yang menjadi penciri LCIT adalah sianida. Senyawa ini dapat dibiodegradasi oleh bakteri yang mempunyai enzim hidrolase yang mengkatalisis perombakan gugus CN^-, yang terikat dalam senyawa linamarin yang terdapat dalam ketela pohon. Linamarin dihidrolisis oleh enzim linamarase menjadi D-glukosa, HCN dan aseton. Berdasarkan beberapa penelitian telah diketahui jalan metabolisme sianida, yaitu terjadinya ikatan kombinasi membentuk thiosianat dengan sulfat yang berasal dari thiosulfat.

Reaksinya dikatalisis oleh enzim rodanase. Penggunaan enzim ini digambarkan sebagai penggunaan sulfur transferase. Asam sianida dapat menghambat sifat oksidatif sitokrom-oksidase. Bersama-sama dengan pembentukan siano-Hb, sianida menyebabkan histotoksik anoksia dengan gejala antara lain pernafasan cepat dan dalam.

1.3. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Proses Biodegradasi

Pengertian proses biodegradasi adalah proses biologis di mana cemaran digunakan sebagai sumber makanan (sumber karbon, nitrogen dan fosfor) bagi mikroorganisme. Pengertian yang serupa adalah kometabolisme yaitu suatu proses biologis, di mana mikroorganisme tidak menggunakan cemaran sebagai bahan makanan, tapi mengubahnya menjadi ikatan kimia sederhana yang tidak bersifat berbahaya (Viridians, 1999). Proses biologis ini dilaksanakan dalam bioreaktor dengan sistem pertumbuhan melekat, sistem pertumbuhan tersuspensi atau kombinasi keduanya.

Dengan mengendalikan kondisi lingkungan pertumbuhan mikro-organisme, proses biodegradasi dapat dipercepat. Dengan demikian proses biologis adalah bagaimana cara mengendalikan kondisi lingkungan yang dibutuhkan untuk menumbuhkan mikroorganisme secara optimal. Kondisi lingkungan yang meliputi faktor biotik dan abiotik tersebut adalah suhu, pH, kadar oksigen terlarut, hara, konsentrasi biomassa atau jumlah mikroorganisme dan beban cemaran (Wisjnuprapto, 1992).

Kendala faktor biotik dan abiotik tersebut dapat diatasi dengan mengoptimalkan potensi mikroorganisme pendegradasi alamiah melalui

penerapan bioteknologi. Cara yang ditempuh adalah melipatgandakan jumlah sel pendegradasi alamiah itu dengan teknik isolasi dan pembiakan di laboratorium. Dengan teknik ini akan diperoleh inokulan yang dapat digunakan untuk meremediasi media yang tercemar dan pengolahan limbah industri. Beberapa inokulan mikroorganisme pendegradasi telah dipatenkan dan diperdagangkan. Komponen utama keberhasilan proses biologis adalah memperoleh katalisator biologi terbaik untuk proses dan menciptakan lingkungan terbaik bagi katalisator agar dapat bekerja sebaik mungkin.

Bentuk katalisator yang paling efektif, stabil dan menguntungkan bagi suatu proses biodegradasi adalah organisme yang utuh, dan karena alasan inilah maka begitu banyak proses yang menggunakan proses-proses mikrobiologis. Mikroorganisme berfungsi selain sebagai pengikat energi melalui berbagai proses, juga dapat menimbulkan perubahan-perubahan kimiawi pada hampir semua jenis molekul organik baik yang alami maupun sintetik. Secara kolektif, gen mikroorganisme yang memberikan potensi sintesis dan perombakan yang hampir tidak terbatas. Mikroorganisme mempunyai kecepatan pertumbuhan yang sangat tinggi, maka akan diperoleh hasil yang besar dalam kondisi lingkungan yang tepat dengan waktu yang singkat.

Mikroorganisme harus dipilih secara cermat dan lingkungannya harus dapat dipertahankan dalam bentuk yang stabil untuk dapat mempertahankan kelangsungan hidupnya. Yang lebih penting adalah sistem pewadahan atau bioreaktor di mana katalisator biologi atau mikroorganisme pendegradasi dapat bekerja. Bioreaktor harus mampu mengoptimalkan kerja biokatalisator

sel, dengan cara perancangan yang dapat mempertahankan dan mengendalikan lingkungan fisik-kimia seperti suhu, aerasi dan pH.

Parameter pH berkaitan dengan konsentrasi ion hidrogen, dan kehadiran ion ini diakibatkan oleh penguraian asam. Jika mempunyai pH yang rendah atau pH yang tinggi dapat mengganggu kehidupan mikroorganisme. Selain mempunyai kisaran pH, mikroorganisme juga mempunyai kisaran suhu yang layak untuk kehidupannya. Kondisi optimal pada umumnya terletak pada pH 7-8 dan suhu 30-35 ^{o}C.

Dalam pertumbuhannya mikroorganisme membutuhkan unsur N dan P selain C. Di dalam proses biodegradasi, kekurangan unsur N dan P berakibat terhambatnya proses biodegradasi. Kondisi optimal unsur N sekitar 5 % dan P sekitar 1 % dari jumlah oksigen dalam mg yang diperlukan untuk stabilisasi bahan organik dalam satu liter air limbah oleh aktivitas bakteri aerob (Mandey, 1998).

Konsentrasi biomassa atau jumlah mikroorganisme dalam bioreaktor berkaitan dengan laju biodegradasi (Syafila, 1997). Mikroorganisme akan mendegradasi bahan organik berkaitan dengan jumlahnya atau dikenal dengan angka perbandingan antara kadar dengan jumlah biomassa dan angka ini harus kecil.

1.4. Lumpur Aktif

Proses lumpur aktif pertama kali dikembangkan di Inggis pada tahun 1914, terdiri dari dua tangki, yaitu tangki/bak aerasi di mana terjadi proses reaksi biodegradasi bahan organik secara biokimiawi oleh mikroorganisme

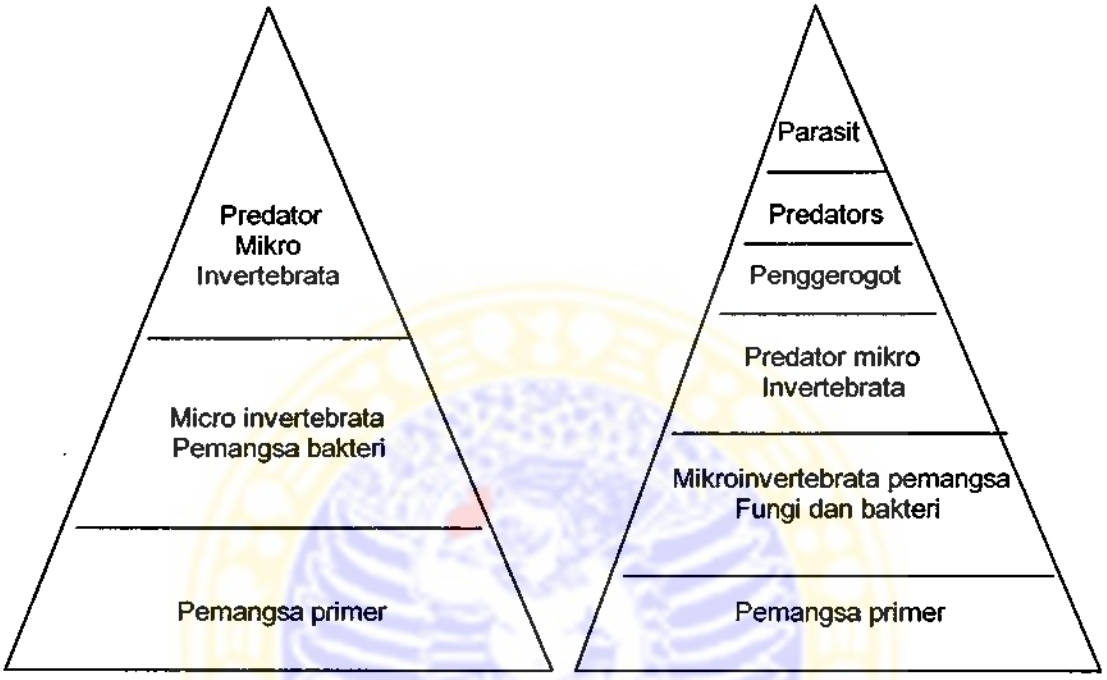
dalam keadaan cukup oksigen dan tangki klarifier yang berfungsi untuk memisahkan lumpur dan effluen. Dinamakan lumpur aktif karena di dalamnya mengandung biomassa mikroorganisme aktif yang mampu mendegradasi bahan organik secara aerob (Metclaf dan Eddy, 1991).

Lumpur aktif juga merupakan gumpalan partikel tersuspensi yang mengandung komunitas mikroorganisme aerobik yang dihasilkan melalui aerasi (Conway dan Ross, 1977). Komunitas lumpur aktif bersifat spesifik dan mempunyai diversitas yang rendah serta tergantung dari jenis bahan organik yang didegradasi, terdiri dari bakteri, protozoa, fungi dan metazoa yang merupakan sebuah ekosistem (Dart dan Stretton, 1980).

Di dalam ekosistem lumpur aktif terdapat tingkatan trofik serta terjadi proses interaksi yang meliputi kompetisi, komensalisme, mutualisme, sinergisme dan predasi. Piramida trofik mikroorganisme pada ekosistem tersebut diperlihatkan pada Gambar 2.1. Komunitas lumpur aktif dapat diubah menjadi komunitas biofilm dengan cara memberi matrik yang selanjutnya dengan proses adsorbsi menyebabkan terjadinya penempelan dengan membentuk polimer. Perubahan komunitas tersuspensi menjadi komunitas yang menempel akan meningkatkan efisiensi biodegradasi (Viridians, 1999).

Gambar 2.1. menunjukkan ekosistem biofilm memiliki diversitas yang lebih besar meskipun mikroorganisme penyusun adalah sama. Bakteri dan kadang-kadang fungi membentuk tingkatan trofik terendah yang mendegradasi bahan organik dalam limbah. Kemudian protozoa, rotifera dan nematoda merupakan pemangsa bakteri tersebut. Bakteri heterotrof yang

ada dalam lumpur aktif bersifat gram negatif. Protozoa terdiri dari jenis saprobik dan holozoik (Metcalf dan Eddy, 1991).



Gambar 2.1. Piramida Trofik pada Ekosistem Lumpur Aktif dan Biofilm
Sumber : Forster *dalam* Lukman (1989)

Penggunaan bahan organik oleh sel bakteri heterotrof melalui tiga tahapan proses yaitu kontak antara molekul bahan organik dengan dinding sel bakteri, kemudian molekul ditransformasikan ke dalam sel dan didegradasi. Untuk molekul yang tidak dapat ditransformasikan ke dalam sel akan diserap oleh permukaan sel kemudian dipecah atau ditransportasikan secara eksternal oleh eksoenzim atau enzim pengikat dinding. Darmosuwito (1992) menyatakan bahwa bakteri yang biasa terdapat dalam penanganan limbah dengan lumpur aktif adalah *Zooglea ramigera, Escherichia, Pseudomonas, Alcaligenes, Nocardia* dan bakteri nitrifikasi.

1.4.1. Peran Mikroorganisme Dalam Lumpur Aktif

Mikroorganisme penyusun lumpur aktif berdasarkan peran dan fungsinya dalam ekosistem dibagi menjadi empat kelompok yaitu pembentuk flok, saprotrof, predator dan organisme pengganggu (Harsono, 1991). Untuk mendapatkan kualitas effluen yang baik kehadiran mikroorganisme pembentuk flok sangat dibutuhkan. Proses flokulasi biologis diatur oleh kondisi fisiologis dan tidak terjadi pada fase pertumbuhan endogen. Seperti diketahui sel mikroorganisme dilapisi oleh lapisan tiga dimensi sebagai hasil proses fisik dan elektrostatik dari polimer, atau dengan kata lain flok terjadi karena adanya polielektrolit alamiah antar sel.

Saprotrof merupakan mikroorganisme yang sangat berperan dalam degradasi bahan organik dan merupakan komponen utama penyusun ekosistem lumpur aktif. Dikelompokkan menjadi saprotrof primer dan sekunder, dimana saprotrof primer yang berperan dalam degradasi bahan organik. Kompetitor dari saprotrof primer dalam mendegradasi bahan organik adalah protozoa flagellata. Saprotrof sekunder berperan dalam memakan hasil metabolisme saprotrof primer.

Predator utama dalam komunitas lumpur aktif adalah protozoa yang memakan bakteri. Peranannya dalam ekosistem lumpur aktif adalah dalam merekatkan atau menempelkan flok. Organisme pengganggu adalah yang kehadirannya dapat mengganggu pengendapan lumpur, terdiri dari bakteri pembentuk filamen dan fungi. Persentase yang kecil bakteri filamen dari berat seluruh komunitas dalam ekosistem lumpur aktif akan mengurangi berat jenis efektif dari lumpur sehingga menyebabkan sulit diendapkan.

Spaerotilus natans dan *Fungus geotrichum* adalah jenis-jenis organisme pengganggu.

Di dalam lumpur aktif diketahui lebih dari 200 jenis protozoa yang didominasi oleh flagellata atau siliata tidak hanya dalam diversitas tetapi juga dalam jumlah totalnya (Lukman, 1989). Struktur populasi flagellata adalah siliata (37 famili) dan sarkodina (3 famili). Jenis yang dominan adalah *Vorticella, Carchesium, Zoothamium, Operacularia* dan *Episstylis*.

Struktur komunitas biofilm tergantung pada jenis media yang digunakan. Diversitas dan jumlah sel biofilm lebih banyak dari lumpur aktif. Siliata bertangkai dalam biofilm beragregasi membentuk koloni. Salah satu peran siliata terutama dalam memakan bakteri yang tersuspensi bebas yang menyebabkan effluen keruh. Siliata yang bersifat karnivora seperti *Trachellophylum pussilum* berperan sebagai pengontrol perkembangan populasi pemangsa bakteri.

Rotifera dapat pula memakan flok-flok lumpur aktif dan menghilangkan partikel-partikel kecil yang menimbulkan kekeruhan effluen. Organisme ini dapat pula memecah flok-flok yang besar yang selanjutnya menciptakan tempat adsorpsi yang baru. Flokulasi dalam sistem lumpur aktif dapat meningkat dengan adanya organisme predator, dengan demikian memberi kesempatan pemisahan secara gravitasi lumpur aktif dari cairan campurannya (mixed liquor). Konsentrasi bakteri coliform dalam effluen rendah ketika siliata dominan.

Peran dan fungsi protozoa dalam pengolahan lumpur aktif limbah cair yaitu :

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA

a). Memisahkah bakteri dari campuran secara efisien selama proses sedimentasi dengan cara meningkatkan flokulasi bakteri.

b). Menghilangkan bakteri yang terdispersi dengan mengadsorpsi melalui metabolisme protozoa dan mengendap bersama protozoa dengan segera.

c). Menurunkan konsentrasi bakteri yang terdispersi karena hubungan predator-mangsa (prey-predator relationship) di antara protozoa dan bakteri.

d). Memberi makanan yang lebih mudah larut dengan mereduksi jumlah bakteri yang disebabkan oleh kinerja protozoa sebagai predator.

e). Memakan bahan organik secara langsung.

f). Membantu sanitasi air dengan menurunkan konsentrasi mikrobia patogen.

Bakteri memperoleh energi untuk proses metabolisme dan reproduksi-nya dari reaksi redoks antara. Alam menyediakan sejumlah reaksi redoks berikut ini.

Oksidasi

(1). $\frac{1}{4}(CH_2O) + \frac{1}{4}H_2O \rightleftharpoons \frac{1}{4}CO_2(g) + H^+(w) + e$

(1a). $\frac{1}{2}HCOO \rightleftharpoons \frac{1}{2}CO_2(g) + \frac{1}{2}H^+(w) + e$

(1b). $\frac{1}{2}(CH_2O) + \frac{1}{2}H_2O \rightleftharpoons \frac{1}{2}HCOO + 1\frac{1}{2}H+(w) + e$

(1c). $\frac{1}{2}CH_2OH \rightleftharpoons \frac{1}{2}(CH_2O) + H^+(w)\ e$

(1d). $\frac{1}{2}CH_4(g) + \frac{1}{2}H_2O \rightleftharpoons \frac{1}{2}CH_3OH + H^+(w) + e$

(2). $1/8\ H_2S + \frac{1}{2}H_2O \rightleftharpoons 1/8\ SO_4^{2-} + 5/4\ H^+(w) + e$

(3). $1/8\ NH_4 + 3/8\ H_2O \rightleftharpoons 1/8\ NO3- + 5/4\ H^+(w) + e$

(4). $FeSO_2(s) + 2\ H_2O \rightleftharpoons FeOH(s) + HCO^{3-} + 2\ H+(w) + e$

(5). $\frac{1}{2}MnCO_3(s) + H_2O \rightleftharpoons \frac{1}{2}MnO_2(s) + \frac{1}{2}HCO^{3-} + 32\ H^+(w) + e$

Reduksi

$$\frac{1}{2} O_2 + H^+ (w) + e \rightleftharpoons H_2O$$

$$1/5\ NO_3^- + 65\ H^+ (w) + e \rightleftharpoons 1/10\ N_2 (g) + 3/5\ H_2O$$

$$1/8\ NO_3^{2-} + 5/4\ H^+ (w) + e \rightleftharpoons 1/8\ NH_4^+ + 3/8\ H_2O$$

$$\frac{1}{2} (CH_2O) + H^+ (w) + e \rightleftharpoons \frac{1}{2} CH_3OH$$

$$1/8\ CO_2 (g) + H^+ (w) \rightleftharpoons 1/8\ CH_4 (g) + 14\ H_2O$$

$$1/6\ N_2 + 4/3\ H^+ (w) + e \rightleftharpoons 1/3\ NH_4^+$$

Dalam hal ini bakteri-bakteri tersebut selalu terkait dengan proses-proses biogeokimia dalam air dan tanah. Bakteri merupakan partisipan yang penting pada siklus alami elemen termasuk siklus nitrogen, karbon, dan belerang. Mereka bertanggung jawab pada pembentukan deposit berbagai macam mineral termasuk Fe dan Mn. Secara umum bakteri dikelompokkan dalam dua katagori utama yaitu bakteri autotrop dan bakteri heterotroph.

Bakteri autotroph adalah bakteri yang kehidupannya tidak bergantung pada keberadaan bahan-bahan organik dan dapat tumbuh dengan cepat pada media anorganik. Bakteri ini menggunakan CO2 dan jenis karbonat yang lain sebagai sumber karbon. Bakteri heterotrop adalah bakteri yang pertumbuhannya bergantung pada bahan organik, baik karbon dan energi yang dibutuhkan digunakan untuk membentuk biomassanya. Keberadaan bakteri ini lebih umum dibanding dengan bakteri autotrop. Bakteri heterotrop ini adalah mikroorganisme utama yang bertanggung jawab pada perombakan bahan organik di dalam air atau limbah cair pada pengolahan limbah cara biologis.

Klasifikasi bakteri yang lain adalah yang didasarkan kebutuhan oksigen, dikatagorikan menjadi : bakteri anaerob, bakteri fakultatif anaerob dan aerob. Katagori lain yaitu bakteri fakultatif anaerob dan bakteri fakultatif aerob. Beberapa contoh jenis bakteri aerob, anaerob, dan fakultatif anaerob tertera pada Tabel 2.2.

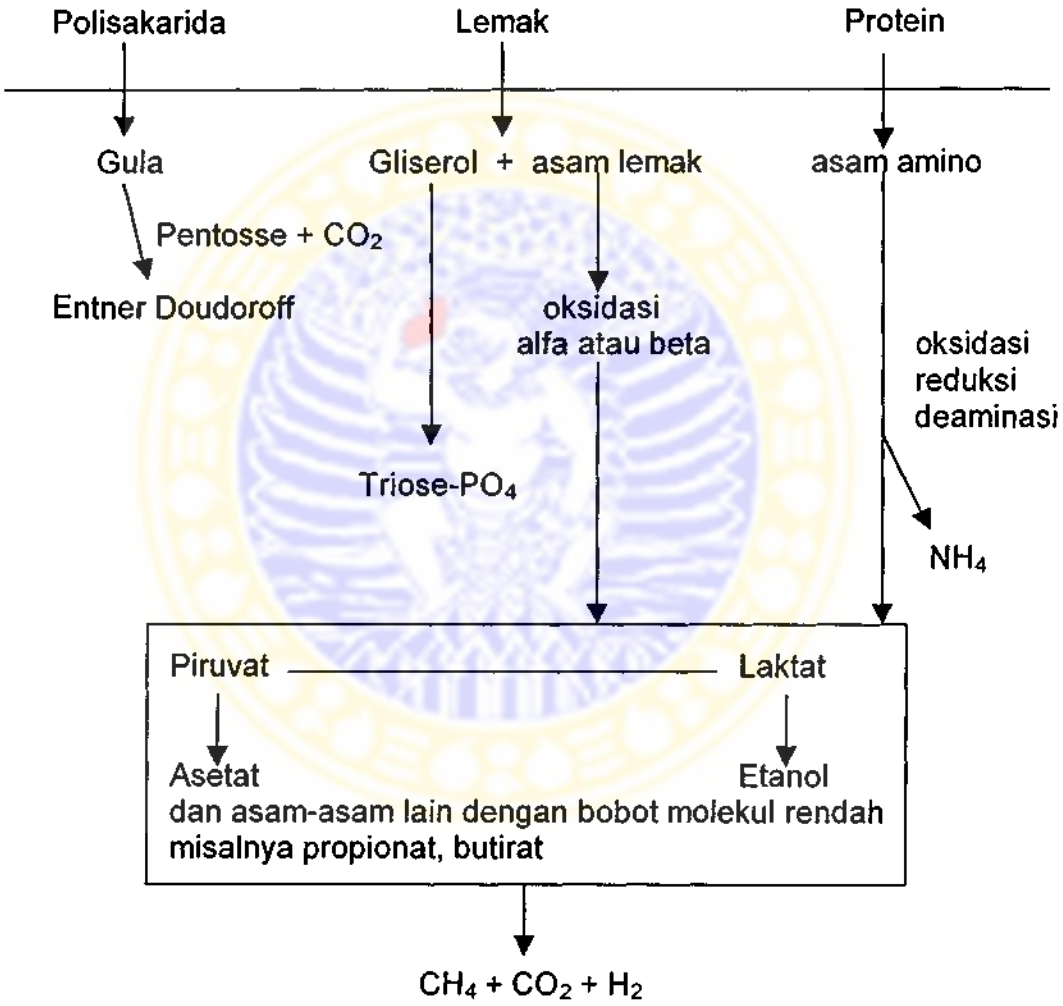
Tabel 2.2. Beberapa Contoh Jenis Bakteri yang ada di Perairan

Katagori Bakteri	Jenis Bakteri
Aerobik	*Pseudomonas, Alcaligenes, Acetobacter, Brucella, Bordetella, Francisella, Anaerobic bacteriodes, Fusobacterium, Leptotri sarcina*
Fakultatif anaerobik	*Micrococcus, Staphylococcus, Streptococcus, Leuconostoc*
Pengoksidasian belerang	*Thiobacillus, Thiobacterium*
Pengoksidasian belerang dan nitrat	*Nitrobacter, Nitrosomonas, Nitrococcus*

Penyusun utama bahan organik adalah karbohidrat, protein, lemak, asam nukleat atau kombinasi dari penyusun utama tersebut misalnya peptidoglikan, lipopolisakarida, fosfolipida, asam poliribosa nukleat. Proses biodegradasi bahan organik seperti Gambar 2.2.

Penurunan BOD yang terdapat pada limbah cair dengan menggunakan lumpur aktif apabila diperhatikan akan mengalami dua fase. Pertama yaitu penurunan secara besar-besaran padatan tersuspensi, koloid, dan padatan terlarut, yang kemudian diikuti proses penurunan BOD secara lambat. Laju penurunan BOD tersebut bergantung pada sifat fisik-kimia bahan organik tersebut. Untuk bahan organik yang dalam bentuk tersuspensi setelah penambahan lumpur aktif segera akan membentuk flok dan dapat berjalan

dengan cepat. Untuk bahan organik yang berupa koloid dengan proses adsorbsi fisika-kimia juga akan membentuk flok. Bahan organik terlarut setelah penambahan lumpur aktif oleh proses biosorbsi yang dilakukan oleh mikroorganisme akan terbantuk endapan.



Gambar 2.2. Ilustrasi Diagram Alir Beberapa Lintasan Utama Untuk Degradasi Katagori Utama Senyawa Organik (Dugan, 1972)

Setelah pemberian lumpur aktif, berat total sel meningkat. Hal ini sejalan dengan yang terjadi pada kandungan N dan P sel. Berat total sel ini terus meningkat sampai pada waktu tertentu dan kemudian menurun

kembali. Demikian juga dengan kandungan N dan P sel. Fenomena yang sama terlihat juga pada laju pengambilan oksigen. Pada saat awal mengalami laju linier, kemudian setelah itu laju tersebut terus menurun sampai pada batas terendah.

1.4.2. Imobilisasi Lumpur Aktif

Proses-proses yang terjadi dalam lumpur aktif dapat dioptimalkan dengan cara imobilisasi lumpur aktif pada media. Imobilisasi dapat dilakukan dengan merendam media ke dalam lumpur aktif selama satu atau dua hari, agar pori-pori media dapat terisi oleh sel. Mekanisme ini termasuk metode adsorpsi yang terjadi secara fisik, kemudian secara biologis membentuk lapisan biopolimer sehingga intensitas pelekatan sel pada permukaan media padat semakin besar dan sel semakin sulit terlepas (Dias *et al.*, 1982). Lumpur aktif yang telah melekatkan dirinya pada permukaan media ini akan tumbuh dan berkembang menjadi biofilm yang mampu mendegradasi bahan organik komplek menjadi lebih sederhana.

Media yang digunakan harus berbahan kuat, keras, tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah, mempunyai bentuk tiga dimensi yang sama, tidak mudah menyumbat, mempunyai lapisan yang kasar dan kedap air. Media padat yang dapat dijadikan host di antaranya adalah batu kerikil, plastik, kaca, kayu dan batu apung. Perbedaan jenis media padat ini akan menghasilkan biofilm yang berbeda sehingga kemampuan biofilm dalam menurunkan BOD limbah cair akan berbeda pula. Hal ini berkaitan dengan banyak dan besarnya pori-pori (porositas) pada media serta strukturnya. Porositas yang semakin besar akan semakin baik karena sel yang mampu

menempel dan hidup di dalamnya semakin banyak dan komplek. Struktur media padat yang kuat akan mengurangi pengikisan dan desorpsi akibat gesekan antar media, sehingga media padat tersebut dapat dipergunakan berulang kali. Media tersebut harus mempunyai luas permukaan per unit volume yang tinggi (Suriawiria, 1993).

Menurut Pramiyati (1994), media imobilisasi dapat berupa benda padat atau benda cair. Yang dapat dijadikan tempat aktivitas sel lumpur aktif adalah bahan-bahan polimer seperti acrylamide, k-carrgeenan, Ca-alginat dan PVA (Polyvinyl-alkohol).

Peavy *et al.* (1986) memberi kriteria ciri penting dari media adalah luas permukaan yang spesifik dan porositasnya. Luas permukaan yang spesifik menunjukkan jumlah luas permukaan media yang memungkinkan untuk pertumbuhan biofilm, sedangkan porositas adalah ukuran rongga hampa yang dapat dilalui air limbah dan udara serta sebagai ventilasi bagi gas yang terbentuk.

Tampion dan Tampion (1987) mendefinisikan imobilisasi sel sebagai fenomena penempelan sel dalam suatu media sehingga ruang gerak sel menjadi terhambat, tetapi tidak menghambat aktivitasnya. Imobilisasi sel memiliki sifat stabil pada kisaran suhu yang besar, penyiapannya mudah dan dapat digunakan berulang kali. Penerapan sistem lumpur aktif yang diimobilisasi pada media bertujuan untuk memperpendek waktu detensi dan memperkecil jumlah lumpur yang dihasilkan pada akhir proses pengolahan limbah cair. Keuntungan lain adalah tidak diperlukannya bahan kimia sebagai

media, viabilitas sel tinggi, tidak terjadi hambatan difusional serta suplai oksigen dapat diabsorpsi ke dalam media (Suprihatin, 1993).

Lumpur aktif yang akan digunakan untuk proses imobilisasi sel terlebih dahulu mengalami proses pengaktifan dengan diaerasi secara terus-menerus. Kondisi aktif dari lumpur aktif tersebut secara fisik dapat dilihat dari perubahan warnanya yang menjadi kecoklatan, sehingga siap untuk proses imobilisasi. Lumpur aktif yang telah terimobilisasi kemudian dilakukan proses aklimatisasi pada kondisi pengolahan yang akan diterapkan. Waktu yang diperlukan untuk proses aklimatisasi sangat tergantung kepada kondisi lumpur aktif yang digunakan. Lumpur aktif yang diambil dari IPAL yang berbeda dari limbah cair yang akan dijadikan substrat percobaan memerlukan waktu maksimum 7 bulan untuk aklimatisasi secara sinambung. Apabila jenis limbah cair yang diolah sama, maka hampir tidak diperlukan aklimatisasi (Tampion dan Tampion, 1987).

Imobilisasi lumpur aktif pada ijuk termasuk kategori imobilisasi sel secara adsorpsi, yaitu proses yang melibatkan permukaan bahan media, tanpa pengaruh zat kimia, dan tidak menyebabkan berkurangnya aktivitas sel. Pada metode adsorpsi dengan ijuk, imobilisasi sel dilakukan dengan cara meredamnya selama satu sampai dua hari dalam suspensi lumpur aktif, agar pori-pori ijuk tersebut dapat terisi. Mekanisme yang awalnya terjadi secara fisik ini kemudian dilanjutkan oleh mikroorganisme tertentu dengan membentuk matrik biopolimer sehingga mengakibatkan intensitas pelekatan sel pada ijuk makin erat dan sel sulit terlepas (Dias *et al.,* 1982).

Sel menempelkan dirinya sendiri ke permukaan ijuk dan dalam waktu singkat membentuk semacam gelatin yang serupa lumpur sebagai hasil pertumbuhan *Zooglea*. Ukuran bahan tersebut cukup besar untuk dapat dilalui udara dan air yang diperuntukan bagi mikroorganisme (Dart dan Stretton, 1980). Penempelan sel disertai terbentuknya lapisan film yang tebal, dan kenyal pada permukaan ijuk menjadikan lapisan film tersebut sama fungsi pentingnya dengan lumpur aktif. Limbah cair yang melewati biofilm ini akan menjadikannya bekerja mendegradasi bahan organik, partikel tersuspensi dan koloid akan ditahan pada permukaannya yang lengket dan kemudian diuraikan menjadi bahan yang dapat larut. Oksigen terlarut dari limbah dari dari udara masuk ke rongga hampa media untuk menyediakan oksigen bagi reaksi aerobik pada permukaan film. Hasil proses metabolisme didifusikan ke luar dan dibawa oleh arus air dan udara melalui rongga hampa (Peavy *et al.*, 1986).

Metode imobilisasi memiliki kemampuan untuk bertahan terhadap kegagalan yang dapat diakibatkan oleh tingginya fluktuasi debit. Metode ini tetap stabil pada kondisi penghambatan yang disebabkan oleh perubahan suhu, waktu detensi yang relatif singkat dan tahan terhadap bahan kimia.

1.5. Biodegradasi Aerob

Semua limbah cair yang mudah teruraikan oleh mikroorganisme dapat diolah menggunakan proses biodegradasi, dan proses ini dapat dipandang sebagai cara pengolahan yang paling murah dan efisien. Ditinjau dari segi lingkungan di mana berlangsungnya proses biodegradasi, proses ini dapat

dibedakan dalam dua jenis yaitu : (a). proses aerob yang berlangsung dengan hadirnya oksigen; dan (b). proses anaerob yang berlangsung tanpa adanya oksigen. Secara teoritis apabila BOD air limbah tidak melebihi 4.000 ppm, proses aerob masih dapat dianggap lebih ekonomis dari anaerob.

Selama berlangsungnya proses aerobik sebagian senyawa organik terlarut dan tersuspensi diadsorpsi dan dikonversi oleh mikroorganisme menjadi sel-sel baru. Bahan organik dalam bentuk sel-sel karena ukurannya relatif besar menyebabkan lebih mudah dipisahkan dari fase dibanding dalam bentuk tersuspensi atau terlarut. Prosesnya adalah : bahan organik + O_2 + Bakteri aerobic $\longrightarrow$ sel baru + CO_2 + NH_3 + SO_4 + PO_4 + H_2O. Persyaratan yang harus dipenuhi adalah adanya mikroorganisme yang sesuai, unsur N dan P, ketersediaan O_2 dengan konsentrasi yang cukup.

Dengan dipenuhinya semua persyaratan seperti disebutkan di atas, langkah selanjutnya berupa optimasi interaksi dari faktor-faktor tersebut. Berbagai modifikasi dilakukan dalam upaya memperoleh penguraian yang optimal. Pada umumnya modifikasi dilakukan dengan lebih mengintensifkan transfer oksigen dan mengatur jumlah mikroorganisme.

Proses biodegradasi pati dalam air secara keseluruhan akan mengikuti tahap-tahap reaksi glikolisis. Tahap-tahap reaksi tersebut adalah senyawa glukosa sebagai hasil biodegradasi pati mengalami fosforilasi menjadi glukosa 6 phosphat. Senyawa ini mengalami isomerasi menjadi fruktosa 1,6 diphosphat dengan dikatalisis oleh enzim fosfofruktokinase. Selanjutnya fruktosa 1,6 diphosphat akan terpecah menjadi dua senyawa triosa

diphosphat, yaitu gliseraldehide 3 phosphat dan dihidroksiaseton phosphat. Kedua senyawa triosa phosphat akan mengalami reaksi bolak-balik dengan perantara enzim seimbang. Pada saat bersamaan gliseraldehida 3 phosphat mengalami dehidrogenase menjadi 2,3 dipospogliserat dan senyawa 1,3 dipospogliserat selanjutnya teroksidasi dengan melepaskan phosphat berenergi tinggi menjadi 3 pospogliserat. Senyawa ini akan mengalami mutasi menjadi 2 pospogliserat, kemudian 2 pospogliserat mengalami dehidrasi dan redistribusi energi di dalam molekul sehingga terbentuk pospoenol piruvat. Dengan enzim kinase piruvat, pospoenol piruvat akan berubah menjadi piruvat yang pada akhirnya akan memasuki siklus Krebs melalui pembentukan asetil KoA untuk membentuk hasil akhir CO_2.

Proses biodegradasi lemak secara keseluruhan akan mengikuti tahap-tahap reaksi yang disebut dengan β oksidasi, yaitu asam lemak yang merupakan hasil degradasi lemak akan mengalami aktivasi menghasilkan pirophosphat yang segera dihidrolisis menjadi phosphat anorganik, sehingga reaksi menjurus ke pembentukan asil KoA. Selanjutnya asil KoA dengan dikatalisis oleh asil KoA dehidrogenase mengalami dehidrogenase pada atom C_α dan C_β menjadi α-β asil KoA. Derivat hidroksi selanjutnya mengalami dehidrogenasi pada C_β untuk membentuk β keto asil KoA. Akhirnya β keto asil KoA dipecah pada posisi β oleh tiolase dengan hasil asetil KoA dan derivat asil KoA yang mengandung dua karbon lebih sedikit dari pada molekul asil KaA asalnya yang sedang mengalami dehidrogenase kembali sampai akhirnya KoA berubah menjadi asetil KoA. Kemudian asetil KoA yang terbentuk akan dioksidasi dalam siklus asam sitrat menjadi CO_2

dan H_2O. Di samping asam lemak sebagai hasil degradasi bahan organik pada tingkat awal adalah gliserol. Senyawa ini akan mengalami fosforilasi menjadi dihidroksiasetonphosphat yang akan memasuki reaksi glikolisis.

Penyediaan oksigen terlarut dibutuhkan untuk reaksi oksidasi bagi mikroorganisme guna mendegradasi bahan organik secara aerob, yang penambahannya dapat dilakukan dengan menggunakan aerasi. Konsentrasi O_2 terlarut minimal 2,0 ppm agar proses lumpur aktif dapat berjalan optimal (Surjowidjojo, 1993). Pemenuhan jumlah mikroorganisme dapat diambil dari yang ada dalam limbah itu sendiri dan dapat ditambahkan dari luar yang mampu mendegradasi limbah tersebut (Pramiyati, 1995).

Ketersediaan nutrisi yang cukup dapat diperkaya dengan penambahan nutrisi buatan yang diperlukan untuk menstimulir pertumbuhan mikro-organisme. Nutrisi tambahan dalam limbah harus mengandung C, N dan P serta unsur-unsur esensial yang cukup untuk mempertahankan laju sintesis yang optimal (Jenie dan Rahayu, 1993). Dalam limbah sering tidak memiliki kandungan unsur N dan P yang dibutuhkan untuk pembentukan sel, sehingga harus ditambahkan kedua unsur tersebut agar sistem dapat berjalan dengan baik. Penambahan tersebut dapat didasarkan pada perbandingan BOD : N : P = 100 : 5 : 1, dan dapat meningkat sesuai dengan peningkatan waktu tinggal limbah dalam lumpur aktif.

1.6. Biodegradasi Anaerob

Biodegradasi anaerob atau dikenal dengan istilah digesti merupakan salah satu pengolahan limbah cair yang dilakukan tanpa oksigen.

Pengolahan dengan cara tersebut digunakan bila limbah cair mengandung bahan organik tinggi atau BOD tinggi. Proses pengolahan limbah secara anaerob mempunyai beberapa keuntungan dasar yang penting bila dibandingkan dengan proses pengolahan secara aerob (Eckenfelder, 1981), yaitu :

a. mampu mengolah limbah dengan kandungan bahan organik yang tinggi,
b. produksi lumpur sedikit,
c. lumpur mempunyai karakteristik yang baik,
d. kebutuhan akan nutrisi sedikit,
e. tidak diperlukan peralatan untuk aerasi,
f. terbentuknya suatu produk akhir yang berguna yaitu gas metana (CH_4),
g. tidak sensitif terhadap senyawa-senyawa beracun.

Walaupun demikian, proses anaerob memiliki beberapa kelemahan, yaitu :

a. diperlukan waktu 8-12 minggu untuk memulai proses,
b. belum banyak pengetahuan yang diperoleh mengenai proses anaerob,
c. proses anaerob merupakan proses pra-pengolahan.

Berbagai mikroorganisme yang berpengaruh umumnya jenis fakultatif anaerob, yang menghasilkan asam-asam organik. Oleh jenis tertentu, asam-asam organik tersebut diubah menjadi gas metana dan karbon dioksida (CO_2). Gas metana yang terbentuk bermanfaat sebagai sumber energi yang baru.

Cara kerja pada proses degradasi anaerob hampir sama dengan proses yang terjadi di rumen beberapa hewan. Sesuai dengan peranannya dalam proses degradasi material limbah sampai dihasilkannya methana dan CO_2,

bakteri digolongkan menjadi : bakteri hidrolisis dan asidogenik, yaitu golongan bakteri yang menghidrolisis senyawa polimer limbah, golongan bakteri asetogenik penghasil H_2, dan golongan bakteri methanogenik, yang memberikan hasil akhir methanol, CO_2, asam asetat dan asam formiat.

Jenis-jenis bakteri yang berperan dalam masing-masing tahapan adalah sebagai berikut (Harsono, 1991) : Tahap pertama *adalah Bacteriodes, Clostredia, Bifidobacteria, Streptococcus, Entrobacteriaceae, Eubacterium, Acetobacter* dan *Propionibacterium.* Tahap kedua adalah *Nethanobacterium, Methanobtavibacter, Methanococcus, Methanomicrobium, Methanospirillium, Methanosarcina, Methanotrix* dan *Methanothermus.*

Secara garis besar hampir semua jenis limbah dirombak menjadi asam khususnya asam piruvat. Dari senyawa ini akan dirombak menjadi senyawa yang lebih sederhana tergantung dari jenis mikroorganisme dan lingkungan yang berperan. Organisme anaerob mendapatkan energi melalui proses fermentasi atau respirasi anaerob yang telah menggantikan fungsi oksigen dengan unsur lain seperti nitrat, sulfat dan CO_2 sebagai penerima elektron terakhir. Pada proses anaerob, karbohidrat, protein dan lemak akan dirombak melalui siklus asam trikarboksilat (TCA). Terbentuknya gas metana memerlukan kondisi seperti ditunjukkan dalam Tabel 2.3.

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

Tabel 2.3. Kondisi Optimum Terbentuknya Gas Metan (Eckenfelder, 1981)

Parameter	Optimum	Ekstrim
pH	6,4-7,8	
Potensial oksidasi-reduksi (mv)	-520 to –530	-490 to –550
Asam-asam organik (mg/l) seperti asam asetat	50-500	> 2000
Garam-garam :		
- NH4 (mg/l) sebagai N		3000
- Na (mg/l)		3500-5500
- K (mg/l)		2500-4500
- Ca (mg/l)		2500-4500
- Mg (mg/l)		1000-1500
Produksi gas (ft2/lb)	17-32 (1060)	
Komposisi gas (%) CH_4	65-70	
Temperatur (°F)	90-100	

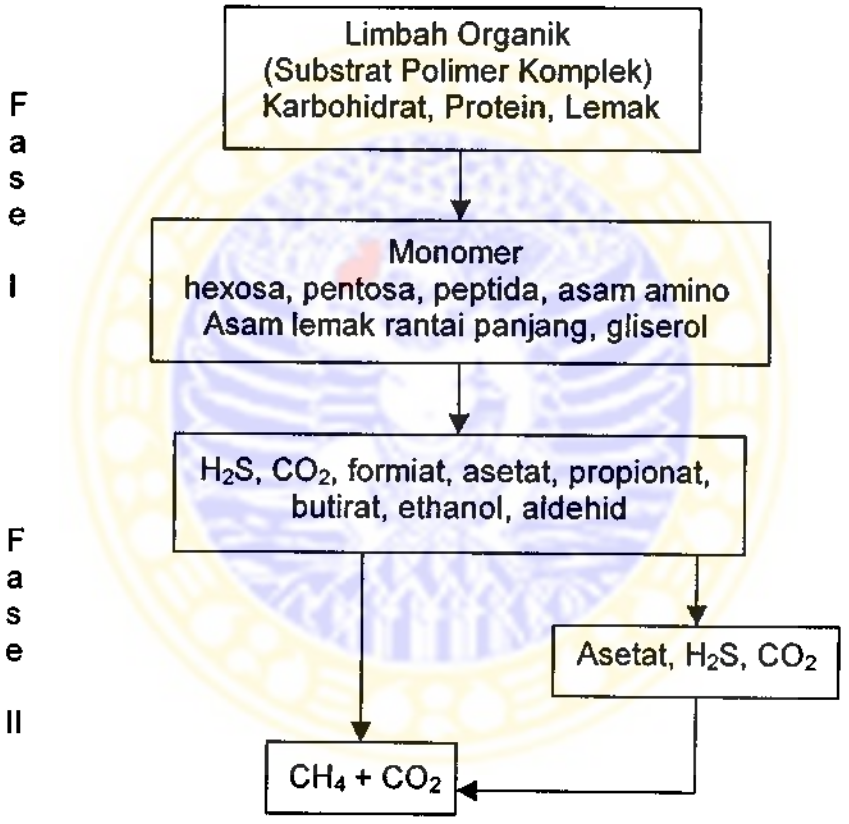
Dalam kondisi anaerob bahan-bahan organik yang ada di dalam limbah akan dirombak oleh mikroorganisme menjadi bahan organik. Perombakan bahan organik menjadi methana dan karbondioksida merupakan suatu proses fermentasi anaerob yang sangat komplek (Vriens, 1978), karena melibatkan peran serta beberapa macam mikroorganisme. Namun secara garis besar mikroorganisme yang berperan pada proses fermentasi anaerob tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok, yaitu :

a. Bakteri pembentuk asam (acidogenic bacteria), yang merombak senyawa-senyawa organik menjadi asam-asam organik, karbon dioksida, hidrogen, NH_4, H_2S.

b. Bakteri pembentuk asetat (acetogenic bacteria), yang mengkonversikan asam-asam organik dan senyawa netral yang lebih besar dari methanol menjadi asetat, CO_2 dan hidrogen.

c. Bakteri penghasil methana, yang berperan dalam konversi asam-asam lemak, CO_2 dan hidrogen menjadi methan dan CO_2.

Pada dasarnya proses fermentasi anaerob terdiri dari dua fase, yaitu : (a). fase asam (Acidogenesis); dan (b) fase methana (Methanogenesis). Untuk lebih jelasnya mengenai proses fermentasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Fase-fase dalam Sistem Biomethanisasi (Fermentasi Anaerob)
Sumber : Vriens (1978)

Pembentukan methana oleh bakteri merupakan salah satu parameter dalam penanganan limbah secara anaerob. Methanogenesis berlangsung melalui fermentasi asam-asam lemak berantai pendek dan alkohol, selain itu juga melalui pernapasan yang mengikutsertakan senyawa organik sederhana, hidrogen dan CO_2.

Bakteri yang aktif dalam proses biodegradasi anaerob dan sekaligus memegang peranan yang amat penting dalam produksi methana adalah bakteri methanogen. Bakteri tersebut dapat diisolasi dari beberapa sumber yaitu dari rumen sapi, rawa, air payau atau air buangan (Soetarto, 1989). Beberapa bakteri methanogen yang sering ditemukan dan berperan dalam proses fermentasi anaerob adalah *Methanococcus, Methanobactrium, Methanosarcina, Methanospirilum* dan *Methanobacillus.*

Sifat-sifat umum dari bakteri methanogen antara lain : anaerobik obligat, gram positip, tidak motil, bentuk batang dengan ukuran 2-25 µm, chemolitiheterotroph, pH pertumbuhan 7,0-8,0.

Beberapa contoh sistem pengolahan limbah secara anaerob.

1. Anaerobic fluidized bed waste treatment (anaerobic expended bed). Sistem ini menggunakan partikel pasir sebagai pembawa mikro-organisme. Dengan memakai sistem ini terbukti dapat dihasilkan effluen yang cukup baik, sistem ini juga cukup menguntungkan karena percampuran yang baik antara limbah dan mikroorganisme, organisme pendegradasi tetap tinggal di dalam reaktor serta mempunyai toleransi yang tinggi terhadap bahan padat terlarut.
2. Upflow captared anaerobic sludge bed reactor (UASB). Merupakan sistem pengolahan limbah yang telah lama dikembangkan di Belgia yaitu untuk pengolahan limbah cair industri bir, dengan sistem ini didapatkan tingkat efisiensi penurunan BOD sebesar 83 % dan COD sebesar 76 %.
3. Anaerobic filter (AF). Pengertian tentang pengolahan limbah secara AF dapat diartikan secara luas, yaitu mencakup beberapa pengertian seperti

Anaerob Packed Bed, Anaerob Immobilized Cell, Anaerob Fixed Film, dan Aerob Fixed Bed (Vriens, 1978). Semua sistem pengolahan limbah tersebut di atas adalah analogi dari sistem pengolahan limbah secara anaerob trickling filter atau highrate biofilter, yaitu dengan mengisikan ke dalam reaktor bahan isian (packing material) tertentu misalnya kerikil, batu, pasir, plastik, ijuk dan lain-lain yang pada prinsipnya bahan tersebut dapat dipakai sebagai media tempat menempelnya mikroorganisme. Kemudian limbah yang akan diperlaku-kan dialirkan ke dalam reaktor tersebut, sehingga dalam jangka waktu tertentu diharapkan telah diperoleh kualitas effluen yang memenuhi baku mutu lingkungan. Dalam sistem pengolahan limbah secara anaerob filter ini, retensi biomassa (bakteri) merupakan syarat utama untuk mendapat-kan hasil yang optimal. Semakin banyak bakteri yang tinggal di dalam reaktor akan semakin baik pula kualitas effluen yang dihasilkannya.

1.7. Nitrifikasi

Sistem penanganan limbah telah dirancang untuk menurunkan kadar limbah sehingga mencapai kadar BOD dan TSS tertentu yang dapat diterima sehingga tidak membahayakan lingkungan (Jenie dan Rahayu, 1993). Pada sistem tersebut juga diinginkan penghilangan unsur nitrogen dalam bentuk amonia.

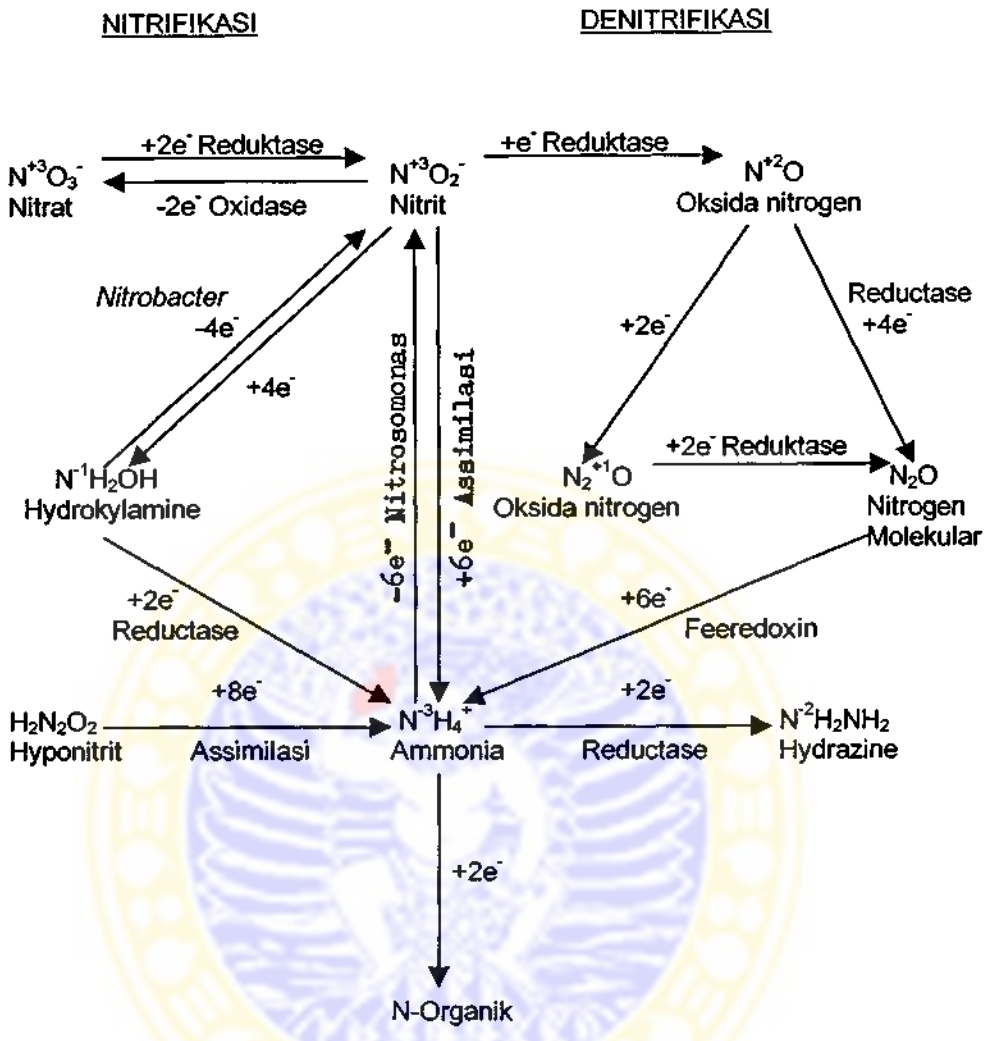
Dalam air limbah, kebanyakan nitrogen terdapat dalam bentuk organik atau nitrogen-protein dan nitrogen-amonia (Wardhana, 1995). Setingkat demi setingkat nitrogen organik itu diubah menjadi nitrogen amonia dan dalam

kondisi aerobik, oksidasi dari amonia menjadi nitrit dan nitrat terjadi sesuai waktunya (Mahida, 1984).

Menurut Rahayu (1990) nitrogen organik akan diubah oleh aktivitas mikroorganisme menjadi ion amonium. Pada fasa cair, amonia terdapat dalam dua bentuk yaitu amonia bebas atau tidak terionisasi (NH_3) dan dalam bentuk ion amonium (NH_4^+). Perbandingan amonia dalam kedua bentuk tersebut sangat dipengaruhi oleh pH dan suhu (Ellis, 1989; Jenie dan Rahayu, 1993).

Nitrogen dalam bentuk amonia dapat digunakan sebagai sumber nitrogen dan sumber energi bagi bakteri pembentuk nitrit dan nitrat atau bakteri nitrifikasi (Jenie dan Rahayu, 1993). Amonia hanya terbentuk dari nitrogen anorganik yang dapat langsung diasimilasi menjadi asam amino. Kemampuan mikrobia untuk menggunakan bentuk nitrogen-anorganik lain tergantung dari adanya enzim atau sistem enzim yang dapat mengkonversi senyawa-senyawa ini menjadi amonia (Moat, 1992). Jalur metabolisme nitrogen-anorganik oleh mikroorganisme seperti pada Gambar 2.4.

Menurut Sugiharto (1987) nitrifikasi adalah pemberian oksigen pada amonia untuk diubah menjadi nitrit dan nitrat oleh mikrobia. Jenie dan Rahayu (1993) menyatakan bahwa nitrifikasi merupakan konversi biologis nitrogen dan komponen organik menjadi anorganik dan dari bentuk tereduksi ke bentuk teroksidasi. Menurut Darmosuwito (1992) nitrifikasi merupakan proses oksidasi amonium menjadi nitrit dan nitrat. Proses terdiri dari dua tahap, yaitu oksidasi amonium menjadi nitrit dan selanjutnya oksidasi nitrit menjadi nitrat.



Gambar 2.4. Jalur Metabolisme Nitrogen Anorganik oleh Mikroorganisme

Bakteri nitrifikasi yang dikenal dan paling penting dalam proses nitrifikasi adalah *Nitrosomonas* yang mampu mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan *Nitrobacter* yang mengoksidasi nitrit menjadi nitrat (Jenie dan Rahayu, 1993; Darmosuwito, 1992). Bakteri nitrifikasi lain ialah *Nitrosococcus, Nitrosospira, Nitrosolobus* dan *Nitrosovibrio.* Menurut Jenie dan Rahayu (1993) bakteri pengoksidasi nitrit dapat berasal dari genus *Nitrosogloea* dan *Nitrocystis*, sedangkan pengoksidasi nitrit yang lain ialah *Nitrospira* dan *Nitrococcus.* Mikroorganisme lain yang mampu melakukan

proses nitrifikasi dalam *lumpur aktif adalah Actinomycetes dan kapang, misalnya Aspergillus* flavus yang bersifat heterotrofik yang mampu membentuk nitrat dari amino nitrogen. Mikroorganisme yang bersifat heterotrofik hanya akan aktif bila tersedia nitrogen secara ekstraseluler dan bila sumber energi selain yang dihasilkan dari oksida nitrogen tersedia (Picot *et al.*, 1992). Darmosuwito (1992) menyatakan kecepatan nitrifikasi meningkat dengan meningkatnya suhu dan berlangsung baik pada kondisi suhu 30-36 °C yaitu tergolong pada mesofilik (Jenie dan Rahayu, 1993).

1.8. Aspek-aspek Kesehatan Pada Penggunaan Ulang Limbah Cair

Penggunaan kembali limbah cair untuk berbagai kegunaan telah dilakukan di beberapa negara di dunia. Hal ini berkaitan dengan semakin langkanya sumber air bersih dan meningkatnya kebutuhan akan air bersih, baik untuk keperluan domestik, maupun untuk keperluan industri. Di Amerika Serikat dan beberapa negara yang lain penggunaan limbah cair untuk keperluan irigasi merupakan salah satu upaya pendaur ulangan limbah cair. Di beberapa kota besar di Indonesia, misalnya di Jakarta, Surabaya, sering dapat dijumpai limbah cair yang ada pada saluran patusan kota digunakan menyiram kebun sayuran yang ditanam di lahan sekitar kanan-kiri saluran tersebut. Walaupun kenampakannya sayuran yang disiram limbah cair itu hijau dan segar, namun memungkinkan terjadinya transmisi penyakit-penyakit infeksi, terutama apabila sayur tersebut dimakan sebagai sayur segar (mentah). Teknologi pengolahan limbah cair dilakukan dengan tujuan memperbaiki kualitas serta mengeliminasi agen patogen.

Hasil penggunaan teknologi tersebut merupakan sumber air yang cukup potensial. Apalagi yang telah dilengkapi dengan perlakuan untuk kesehatan. Limbah cair merupakan air yang cukup berbahaya, karena mengandung mikroorganisme dan senyawa kimia yang dapat menyebabkan penyakit kronik maupun akut. Sebelum limbah cair tersebut digunakan untuk keperluan yang dapat mendatangkan keuntungan maka mikroorganisme dan senyawa kimia yang ada pada limbah cair tersebut harus dibuang atau paling tidak dikurangi sampai pada tingkat yang tidak membahayakan baik bagi manusia maupun organisme lain. Sanitasi mempunyai tujuan untuk mengurangi atau membatasi mikroorganisme patogen yang ada pada limbah cair. Tujuan sanitasi adalah memotong rantai transmisi penyakit, sehingga dalam hal ini bersifat mengontrol, bukan memusnahkan agen penyakit.

Mikroorganisme limbah cair dapat bersifat aerob dan anaerob, dan yang ada pada limbah cair ada yang bersifat patogen. Beberapa jenis yang sering dijumpai salah satu di antaranya adalah jenis *Salmonella*. Jenis ini masih terbagi lagi menjadi beberapa spesies yang dapat menyebabkan penyakit pada hewan dan manusia. Ada tiga macam penyakit Salmonellosis yaitu : (1). enteric fever; (2). septicemias; (3). gastroenterisis. Jenis bakteria lain yang agak kurang umum keberadaannya namun dapat diisolasi dari air buangan domestik adalah genus *Shigella*. Bakteri ini menyebabkan infeksi intestinal (desentri basil). Pada Tabel 2.4. di bawah ini tertera beberapa jenis dan populasi bakteri yang ada dalam air limbah.

Tabel 2.4. Jenis dan Populasi Bakteri yang ada Pada Limbah Cair

Jenis Bakteri	Konsentrasi Pada Limbah Cair (jumlah/ml)
Jumlah total	$3,0 - 18,0 \times 10^6$
Coliform	$0,5 - 1,0 \times 10^6$
Fecal cocci	$5,0 - 20,0 \times 10^6$
Shigella	sda
Salmonella	4 – 12
Pseudomonas aeruginosa	102
Clostridium perfringens	507
Mycobacterium tuberculose	sda

Pada limbah cair terdapat organisme lain yang bersifat patogen terhadap manusia salah satu di antaranya adalah *Entamuba histolitica*, penyebab penyakit desentri amuboid, *Giardial lamblia*, penyebab penyakit giardiasis. Selain itu terdapat parasit antara lain : *Ascaris lumbricoides, Necator americanus, Strongyloides stercoralis,* dan beberapa jenis virus.

1.8.1. Karakteristik Bakteri Patogen di Limbah Cair

1.8.1.1. Escherichia coli

Hampir sebagian besar strain *E. coli* melekat pada mukosa usus baik pada usus besar maupun pada usus kecil. Diduga waktu untuk penggandaan atau pembelahan sel bakteri dalam usus membutuhkan waktu sekitar 40 jam. Jenis ini dalam keadaan normal bersifat fakultatif anaerob dalam perut besar. Pada *E. coli* yang hidup pada inang ada yang dapat bertahan sampai beberapa bulan atau tahun. Sedangkan yang lain dapat dijumpai di mana-mana namun hanya mampu bertahan beberapa hari atau beberapa minggu saja.

Ada tiga macam penyakit yang dapat disebabkan oleh *E. coli*, antara lain infeksi pada saluran kencing, neonatal meningitis, dan intestinal diseases (diare). Mekanisme penyakit ini bergantung pada kombinasi sifat-sifat bakteri : (1). bagaimana pelekatan bakteri pada inang tertentu; (2). elaborasi dari eksotoxin khusus; (3) invasi sel bakteri pada sel inang. Ciri lain yang tidak memberikan efek langsung adalah pembentukan kapsul oleh bakteri *E. coli*.

Infeksi Saluran Kencing

Escherichia coli bertanggung jawab terhadap sekitar 90 % dari penyakit infeksi saluran kencing. Penyakit ini lebih banyak diderita oleh kaum wanita dibanding dengan kaum pria. Inang reseptor juga memegang peranan penting terhadap kepekaan penyakit ini, di mana bakteri urophatogenik dapat melekat dalam jumlah banyak pada sel ureoepithelial pasien dan mengalami derita yang berulang-ulang. Infeksi saluran kencing telah lama diduga disebabkan oleh strain-strain yang umum dan merupakan fekal flora. Hampir semua strain *E. coli* mempunyai bulu-bulu (pili), yang mengikat bakteri satu dengan bakteri lain. Bulu-bulu ini tampak mengkait pada mukosa dalam usus besar. Diagnosa laboratorium, termasuk pengujian mikroskopis terhadap urin untuk keberadaan leucosit, sel darah merah, dan jumlah bakteri rutin dilakukan.

Neonatal Meningitis

Escherichia coli sangat umum sebagai penyebab terjadinya neonatal bacterial meningitis. Penyebab satu di antara 2000-4000 bayi yang

meninggal terserang neonatal meningitis *E. coli* strain K 1 (capsular poli sacharida) dijumpai dalam koloni flora dari semua individu. Bakteri ini masuk pertama dari mesopharynx atau usus, setelah itu menyerbu ke dalam aliran darah dan masuk ke saraf (tulang belakang). K 1 merupakan homopolimer asam sialat, termasuk anti phagositik yang melengkapi resistensi parsial melawan sensitivitas *E. coli* untuk membantu ketidakberadaan Ab (anti bodi). Studi genetik dan biokimia menyebutkan ada 6 klon dari kelompok bakteri K 1 ini, dan tidak semua klon mempunyai virulensi sama. *E. coli* meningitis dapat diberantas sempurna dengan menggunakan antibiotik beta-lactam.

Penyakit Usus

Escherichia coli yang dapat menyebabkan diare dapat dibedakan menjadi empat kelas, yaitu : enterotoxigenic (ETEC), enteropathogenic (EPEC), enteroinvasive (EIEC), dan enterohemorragic strain. Tiap-tiap kelas menunjukkan manifestasi yang berbeda-beda dalam pathogenesis, sindrom klinis, epidemiologi dan masing-masing dalam set serogroup yang berbeda-beda.

Enterotoxigenic *E. coli*

Strain ini sangat penting sebagai penyebab diare pada bayi dan orang-orang yang pergi ke daerah yang belum berkembang. Penyakit ini jarang didapati pada negara maju (negara modern). Penyakit ini menyebabkan penderita setiap hari kehilangan cairan tubuh cukup banyak, sehingga terjadi dehidrasi. *E. coli* enterotoxigenic ini diperoleh dari makanan dan air yang terkontaminasi. Orang dewasa pada daerah endemi biasanya imun terhadap

penyakit ini. Sedangkan penyakit ini baru menyebabkan orang menjadi sakit apabila individu-individu yang peka tersebut mengkonsumsi sekitar 10^8 sel. Terapi sederhana untuk infeksi ETEC adalah menjaga kesetimbangan cairan tubuh dengan cara infus atau langsung minum glucosa dan elektrolit.

Enteropathogenic *E. coli*

Pada tahun 1940 dengan aplikasi serotyping terdeteksi suatu strain yang juga menyebabkan keluarnya cairan diare namun tidak tampak seperti yang terjadi pada ETEC yaitu tidak memproduksi LT (heat-labile) dan ST (heat-stabile). Bakteri EPEC terikat kuat pada permukaan epithelia intestinal melakukan membran enterocyte dan menyebabkan kerusakan lokal mikrofili, namun tanpa invasi lebih lanjut. Kapasitas strain EPEC untuk pelekatan kuat pada sel manusia dalam kultur sering berkaitan dengan keberadaan plasmid. Seperti halnya ETEC, maka EPEC tidak dapat didiagnosis secara klinis laboratorium. Koloni kultur *E. coli* dapat diuji dengan menggunakan uji serogroup. Antibiotik oral yang tidak dapat diserap seperti neomysin atau gentamicin digunakan bersama-sama, dengan menjaga kesetimbangan cairan dan kesetimbangan elektrolit.

Enteroinvasive *E. coli*

Escherichia coli strain enteri invasif dalam serologis sangat mirip dengan *Shigella*. Dalam mekanisme pathogenesis dan macam gejala sakit, secara klinis yang dimunculkan seperti halnya *Shigella*. Bakteri strain ini non motil, laktosa-negatif. Dikatakan EIEC melakukan penetrasi dengan memperbanyak diri dalam epitelia dari distal ileum dan colon primata,

sehingga menyebabkan kerusakan sel yang meluas. Bakteri ini jarang masuk aliran darah individu yang makanannya bergizi.

Enterohemorragic *E. coli*

Strain ini sudah menyebar luas di seluruh dunia menyebabkan sindrom diare berbeda dengan disentri basil yang disebabkan oleh *Shigella* dan EIEC. Mengeluarkan darah banyak sekali, tidak demam. Strain ini tidak menguraikan SL atau ST dan mampu menyerang sel epitelia. Mempunyai 60-79 Md plasmid yang berkaitan dengan virulensinya. Strain ini juga dapat mengeluarkan cytotoxin, yang mirip dengan *Shigella*. Racun inilah yang bertanggung jawab terhadap patogenisitas. Strain ini bertanggung jawab pada 50 % infeksi yang ada di rumah sakit di Amerika Serikat, dan menyebabkan penyakit bacteremia, infeksi setelah operasi, semua patogenitas strain ini bergantung pada plasmid atau elemen yang dapat dipindah.

1.8.1.2. *Shigella*

Shigella adalah agen penyakit disentri bakteri. Tidak seperti pada inflamatory diseases pada *E. coli,* enterotoxigenetic diare, penyakit ini menghasilkan sejumlah feses yang relatif sedikit tetapi berdarah, berlendir. Dengan jumlah bakteri yang relatif sedikit (100 sel) sudah cukup untuk menyebabkan sakit. Pada negara-negara maju basil disentri ini merupakan penyakit utama untuk anak-anak berumur 6 bulan sampai dengan 10 tahun. Walaupun demikian basil ini dapat juga menyerang pada individu-individu yang peka pada berbagai umur kalau kondisi sanitasi kurang baik. Pada

negara-negara yang baru berkembang, penyakit ini tidak biasa terjadi pada bayi-bayi yang sedang menyusui, akan tetapi selanjutnya setelah umur tiga tahun paling tidak rata-rata terserang dua kali. Pada negara maju kasus ini kira-kira 50 kasus per 100.000 orang per tahun. Akan tetapi pada beberapa populasi tertentu misalnya pada taman kanak-kanak, pada kelompok anak terbelakang, dengan sanitasi yang kurang baik, banyak yang merupakan pusat endemik. Semua *Shigella* non motil dan laktose negatif kecuali *Shigella sonnei.* Bakteri ini tidak mengeluarkan gas pada saat fermentasi karbohidrat.

Jenis *Shigella* dapat dibagi menjadi empat kelompok (spesies) berdasarkan biokimia dan reaksi serologis. Kelompok A, *Shigella dysentriae* tidak memfermentasi manitol, dan dapat dibedakan menjadi 10 serotype. Kelompok B dan C dapat memfermentasi manitol. *Sh. flexneri* dengan enam serotype, *Sh. boydii* dengan 15 serotype. Kelompok *Sh. bonnei* dengan satu serotype yang memfermentasi manitol.

Shigellosis didapat dari proses pencernaan makanan yang ter-kontaminasi. Karena kemampuan menginfeksi bakteri ini sangat tinggi maka penyebaran penyakit ini dari individu satu ke individu yang lain sangat cepat dan nyata, utamanya pada negara-negara industri. *Shigella* termasuk organisme yang mampu hidup pada gastrik asam, dapat ditemukan di perut setelah 20 jam ingesi. Pada 12 jam pertama organisme virulen ini mulai membelah diri dalam usus kecil. Konsentrasi yang dapat dicapai sekitar 109/ml dalam 24 sampai 36 jam. Pada kondisi ini pasien mulai merasakan perutnya sakit, kejang atau kram pada perut, demam dan kalau ada diare

maka biasanya selalu mengeluarkan cairan. Tahap kritis dari pathogenesis adalah terjadi kolonisasi dan kemudian menyerang epithelium. Bagaimana sel *Shigella* penetrasi pada mukosa usus untuk mencapai permukaan epithelium masih merupakan misteri. Organisme tersebut tidak tampak mengadakan pelekatan dengan baik seperti yang terjadi pada enteropathogenic.

Walaupun beberapa *E. coli* mempunyai bulu getar namun penetrasi pada sel epithelium dan multiplikasi mikroorganisme pada intraseluler bergantung pada jumlah plasmid (140 Md) yang ada pada semua strain Shigella yang virulen seperti halnya strain enteroinvasive *E. coli*. Keberadaan plasmid ini mengkode outer membrane protein, yang berperan sebagai perantara dalam penempelan pada sel epithelium dan sebagai awal dari parasit phagocytosis. Plasmid yang lain mengkode protein dan menghancurkan membran endosome, yang membiarkan bakteri memperbanyak diri dalam sitoplasma. Secara tegas penyakit yang disebabkan oleh *Shigella* dengan mudah dapat dibedakan dengan yang lain secara klinis laboratoris. Contoh fekal ditumbuhkan pada beberapa media yang berbeda-beda, untuk membedakan patogen dan non patogen. Koloni yang dicurigai diambil dan ditanam pada media untuk uji biokimia bakteri. Untuk mengidentifikasi keberadaan *Shigella* diadakan uji antisera yang tepat.

Seperti pada penyakit diare yang lain, pertimbangan yang diperlukan dalam menangani penyakit ini adalah dengan cara menjaga kesetimbangan cairan dan elektrolit. Penyakit ini adalah self limiting, maka perlakuan antibiotik hanya untuk anak-anak. Hal ini untuk menurunkan durasi sakit dari

ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga

lima hari menjadi tiga hari. *Shigella* ini peka terhadap ampicilin dan tetrasiclin. Pada *Shigella* yang resisten dapat diperlakukan dengan trimethoprin dan sulfa methaxazole.

Penyakit Shigellosis dapat dikontrol dengan memperhatikan tempat pembuangan feses, serta memperhatikan kualitas suplai air minum. Pada negara yang sedang berkembang penyakit ini banyak disebabkan oleh feses, makanan, lalat, dan jari tangan yang kotor.

1.8.1.3. *Salmonella*

Salmonella sebagai patogen pada manusia, ternak, mamalia liar, reptil, burung dan insekta. Berdasarkan analisis antigen tercatat telah dapat dibedakan lebih dari 1500 serotipe. Pengelompokkan berdasarkan preverensi masing-masing sebagai berikut :

1). *Salmonella* dari serotipe yang mempunyai adaptasi terhadap manusia tinggi antara lain *Typhoid bacillus*, *S. typhi*. Selain itu *S. patatypi* A, *S. paratyphi* B, *S. paratyphi* C dan *S, senday* juga sangat beradaptasi pada infeksi manusia. *Salmonella* tipe ini tidak diketahui persediaannya selain manusia.

2). *Salmonella* yang dapat menyesuaikan pada inang tertentu selain manusia. Termasuk di sini misalnya *S. pullorum* dan *S. galinarum* inangnya adalah sebangsa unggas, *S. dublin* inangnya adalah sapi, *S. abortusequi* inangnya adalah kuda, *S. choleraesuis* inangnya adalah babi, dapat menyebabkan infeksi pada manusia.

3). *Salmonella* dengan tingkat inang macam-macam. Hampir semua *Salmonella* mempunyai kategori ini, dan menyebabkan infeksi baik pada manusia maupun bukan manusia. Respon yang umum adalah gastroenteristis, akan tetapi tingkatannya sangat luas, mulai dari asimptomatik sampai pada penyakit sistemik. Serotipe tunggal *S. typhimurium* adalah penyebab sakit gastroenteritis, bacterimia, dan asimptomatik. Strain ini juga banyak meny ebabkan penyakit pada binatang.

Pola klinis dapat dibedakan dalam gastroenteristis, enteric fever (seperti typhoid), bacterimia dengan atau tanpa infeksi fekal ekstra intestinal, dan tanpa menampakkan gejala. Sebenarnya hampir semua serotipe *Salmonella* dalam kondisi tertentu yang tepat dapat menunjukkan gejala/tanda. Walaupun demikian untuk serotipe tertentu misalnya : *S. typhi* dan *S. paratyphoid* dengan enteric fever, *S. choleraesuis* dengan bacterimia dan infeksi fecal tanpa didahului dengan gangguan gastrointestinal.

Gastroenteritis

Salmonella gastroenteritis biasanya terjadi karena makanan dan minuman yang terkontaminasi oleh feses. Gejala ini mulai terjadi setelah 12 jam atau 48 jam kita makan makanan yang terkontaminasi bakteri tersebut. Selanjutnya merasa mual, muntah-muntah dan bercampur kram pada perut, dan diare (berak-berak). Diare merupakan tanda yang jelas untuk 3, 4 hari sampai seminggu.

Cara *Salmonella* masuk pada sel inang belum diketahui dengan pasti, akan tetapi tampaknya proses ini ditunjukkan dengan bakteri yang menyerbu

masuk pada intraseluler dan memperbanyak diri, kemudian menyebabkan kerusakan sedikit pada mukosa. Selanjutnya lewat dengan cepat pada epithelial barrier dan akhirnya berkembang biak dalam lamina propria, dan menyebabkan peradangan yang dangkal. Dapat ditambahkan bahwa banyak yang memproduksi cytotoxin yang dapat menyebabkan sel lokal mati atau rusak. Biasanya inang lokal memiliki mekanisme pertahanan, khususnya polimorphonuclear leucocyte dan macrophaga yang menghalangi masuk pada limfatik dan sirkulasi sistemik, sehingga biasanya infeksi yang terjadi ringan.

***Salmonella typhi* (demam typhus)**

Patogenisis awal dari demam typus ini mirip dengan infeksi *Salmonella* yang lain. Manifestasi typhoid termasuk ada dan tidaknya infeksi bernanah pada beberapa sistem organ. Kompleksasi yang biasa terjadi adalah terjadinya perforasi usus dan perdarahan pada ileum. Demam karena typhus ini banyak dijumpai dan bila tidak diperlakukan maka akan terjadi demam sekitar 30 hari. Pada masa tersebut 20 % pasien akan mati, 10 % akan kambuh demam lagi atau terjadi perdarahan di usus. Demam typhus ini dapat disembuhkan dengan efektif dengan agen antimikroba. Oleh karena typhus merupakan penyakit sistemik maka pada tahap awal organisme ini dikembangkan dalam media darah bukan pada media stool. Apabila penyakit mulai berkembang maka baik media darah maupun media stool masih tetap positif. Keberadaan pembawa penyakit kronik cukup penting sebagai penyedia infeksi.

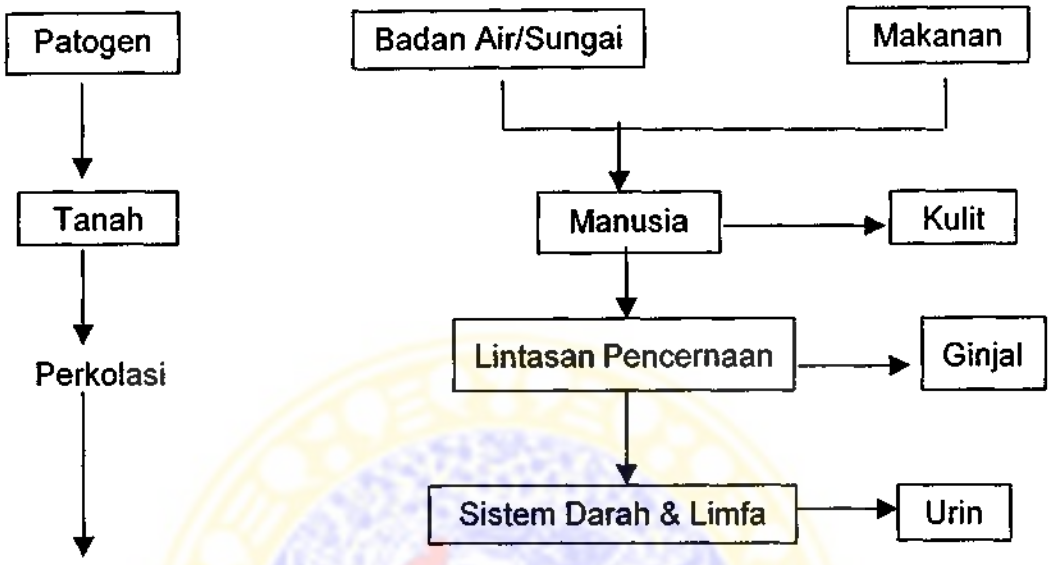
1.8.1.4. Transmisi Mikroorganisme Patogen Melalui Air

Keberadaan air secara umum di muka bumi ini cenderung berperan pembawa mikroorganisme dan bahan pencemar yang lain. Air yang berasal dari sumber air atau sumur kualitasnya relatif lebih baik dan bersih dibanding dengan air yang ada di sungai dan di saluran air. Hal ini disebabkan karena tanah mampu berperan sebagai filter terhadap keberadaan mikroorganisme maupun bahan pencemar lain. Hal yang penting dan berbahaya dari pencemaran air oleh mikroorganisme patogen adalah apabila feses manusia dibuang pada saluran-saluran pembuangan maupun sungai. Hal ini dapat menyebabkan berpindahnya patogen yang berasal dari feses menyebar ke tempat lain dan masuk dalam sistem suplai air pada penduduk. Patogen ini kemudian hinggap pada manusia atau hewan, yang kemudian air ataupun makanan akan terkontaminasi.

Tipe-tipe penyakit yang mencemari sistem perairan antara lain : demam typhus yang disebabkan oleh bakteri dan diare yang disebabkan oleh siste protozoa *Giardia lamblia.* Protozoa ini tidak berasal dari sistem perairan perkotaan saja namun dapat pula berasal dari aliran air pegunungan yang telah terkontaminasi binatang-binatang yang hidup di daerah pegunungan tersebut. Keberadaan ikan-ikan yang ada di sungai juga cenderung mengkonsumsi virus maupun organisme patogen.

Tidak semua patogen dapat menyebabkan penyakit walaupun manusia mencerna. Sebagai contoh helmintik sistomiasis penyakit ini disebabkan karena individu-individu yang berenang di kolam atau di sungai yang terkontaminasi oleh penyakit tersebut. Pada Gambar 2.5. berikut ini tertera

diagram lintasan transmisi penyakit yang berada di air (water borne diseases).

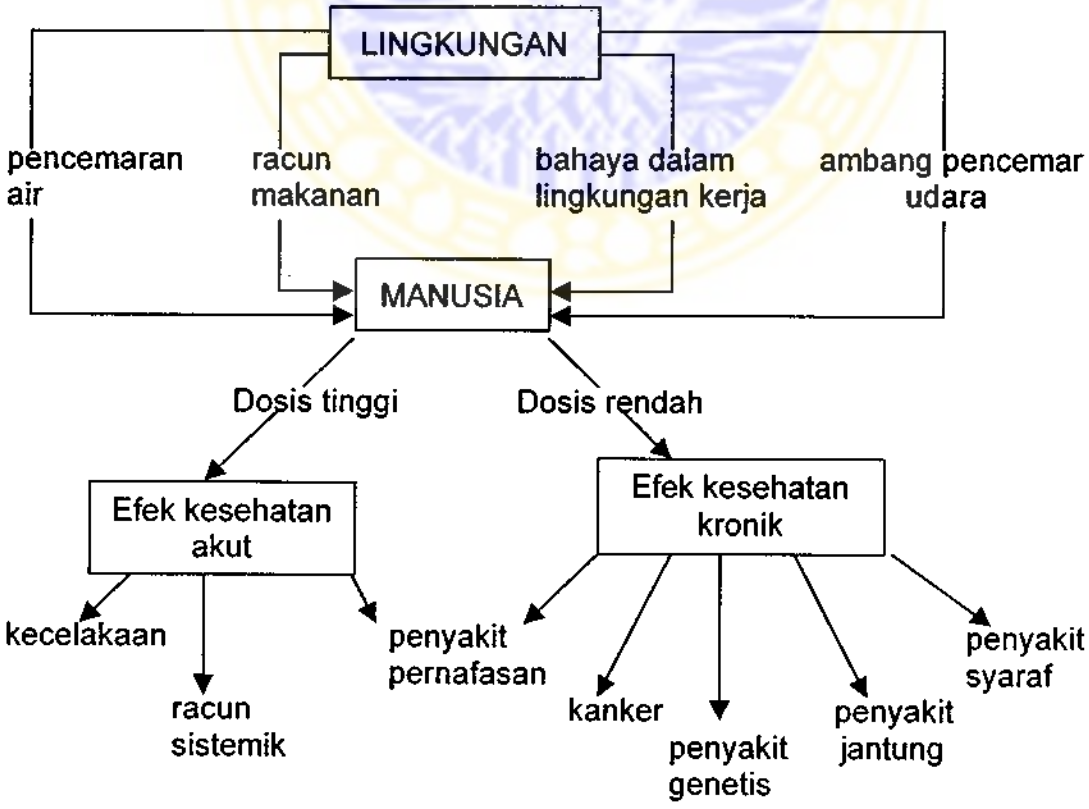


Gambar 2.5. Diagram Lintasan Transmisi Penyakit yang Berada di Air

1.8.1.5. Perhatian Manusia Terhadap Kesehatan Lingkungan

Permasalahan lingkungan telah ada sejak lama, termasuk kesehatan lingkungan dan keracunan, namun sebagai disiplin ilmu formal masih relatif baru. Kemunculan ilmu ini juga akibat adanya kerusakan lingkungan yang merupakan hasil samping kemajuan teknologi dan semakin meningkatnya tingkat kemakmuran masyarakat. Teknologi yang ada mempunyai dua sisi. Satu sisi dapat ditemukannya teknologi canggih, obat-obatan, teknologi kedokteran, peningkatan sanitasi, sehingga dapat meningkatkan usia harapan hidup dan menjanjikan kenyamanan hidup. Pada sisi lain meningkatnya usia harapan hidup akan menimbulkan masalah peningkatan dan peledakan populasi.

Pada negara berkembang hal ini akan berkibat meningkatnya kelaparan dan penyakit. Sedangkan pada negara maju hal ini akan menyebabkan meningkatnya bahan beracun yang dapat mencemari lingkungan, yang akan mengganggu kesehatan para pekerja dan masyarakat di sekitarnya. Sampai seberapa jauh pengaruh bahan pencemar pada manusia dan kesehatannya masih merupakan permasalahan yang cukup komplek. Hal ini bergantung pada beberapa faktor, antara lain : (1) jenis dan macam bahan pencemar, (2) kelompok individu apa yang terikut, (3) bagian organ mana yang terpapar, (4) sampai seberapa jauh konsentrasi bahan pencemar dan sampai seberapa lama waktu pemaparan. Untuk memberikan gambaran bagaimana kaitan antara manusia dan lingkungannya dapat diperhatikan Gambar 2.6. berikut ini.



Gambar 2.6. Skema Keterkaitan Antara Manusia dan Lingkungan

1.9. Model Matematika Lumpur Aktif

Pada awalnya rancang (design) proses lumpur aktif didasarkan pada waktu pengolahan atau waktu detensi aerasi terhadap waktu pemulihan (Wisnuprapto, 1991). Sebagai contoh untuk menghilangkan bahan organik dalam limbah domestik sebanyak 90 % diperlukan waktu detensi antara 6-8 jam. Rancang proses ini berdasarkan cara empiris dan tidak didasarkan pada hubungan proses biologis.

Rancang proses lumpur aktif berkembang dengan pendekatan pada jumlah bahan yang terbiodegradasi (Food, F) yang dipakai efektif oleh mikroorganisme dan jumlahnya yang mendegradasi (M). Untuk itu digunakan angka perbandingan F/M. Jika perbandingan tersebut angkanya sama dengan 1 disebut extended aeration dan jika lebih dari 1 disebut high rate aeration. Pada umumnya untuk efisiensi 90 % digunakan F/M = 0,35.

Rancang proses lainnya menggunakan model kinetik penyisihan bahan organik berdasar neraca massa proses lumpur aktif yang tercampur sempurna. Menurut Eckenfelder (1987), model laju penggunaan substrat tahap pertama dikembangkan pada persamaan yang menyatakan bahwa penyisihan organisme merubah fungsi MLVSS (*Mixed Liquor Volatile Suspended Solid*) di dalam tangki. Model laju penggunaan substrat tingkat pertama dikembangkan dalam kaitan antara penyisihan bahan organik sebagai fungsi waktu detensi aerasi.

Pendekatan rancang proses lumpur aktif yang lebih populer adalah model laju penggunaan substrat dari Monod. Di dalam model ini laju pertumbuhan biologis dan konsentrasi substrat memiliki hubungan hiperbolik.

Model ini telah banyak digunakan oleh para peneliti sebagai dasar untuk teknik design berdasarkan parameter BSRT (*Biological Solid Retentio Time*). Di mana pada kondisi *Steady State* BSRT kebalikan dari laju pertumbuhan biologis, BSRT adalah sebagai dasar parameter rancang yang unik karena variabel-variabel proses dapat dihubungkan dengan BSRT dan di dalam operasinya, BSRT dari proses dapat dikontrol dengan pembuangan lumpur dari sistem.

Untuk proses yang berkesinambungan, persamaan keseimbangan massa adalah :

$$\frac{dx_1}{dt} = \mu_1.x_1 - 1_1.x_1.x_2 - Dx_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\frac{dx_1}{dt} = k_2.x_1.x_2 - Dx_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$\frac{ds}{dt} = D\,(s_0 - s_1) - \frac{\mu_1.x_1}{y_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

di mana : x_1 = konsentrasi yang dimangsa (prey concentration)
x_2 = konsentrasi pemangsa (predator concentration)
k_1 = tetapan kinetik dari laju kematian prey oleh predator
k_2 = tetapan kinetik dari pertumbuhan predator
D = laju pengenceran (dilution rate)

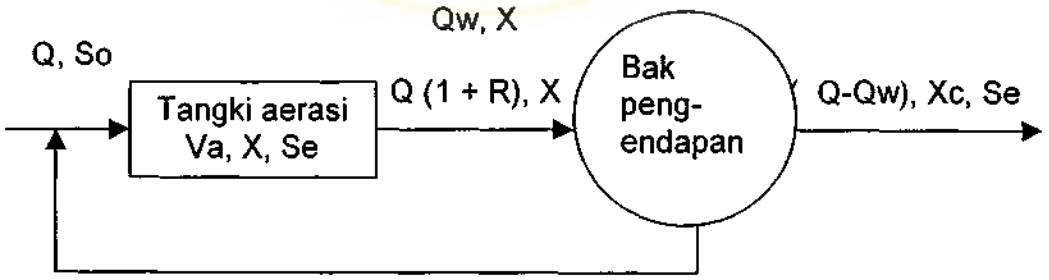
Asumsi yang digunakan terhadap persamaan di atas adalah untuk proses-proses alamiah x_1 dan x_2 adalah sangat kecil sehingga dapat diabaikan, sehingga persamaan menjadi :

$$\frac{dx}{dt} = \mu x$$

di mana : x = konsentrasi biomassa per satuan volume (g/l)
t = waktu
μ = kecepatan pertumbuhan spesifik

Pada keadaan mantap (steady state) : $\frac{dx}{dt} = 0$, sehingga μ = D. Pada proses berkesinambungan, mikroorganisme akan tertinggal di bioreaktor. Jadi μ erat hubungannya dengan aliran hidraulik kekuatan masuknya bahan organik.

Di dalam rancang proses lumpur aktif dengan pendekatan BSRT mencakup pemilihan BSRT yang cocok. Sesuai konsentrasi yang diinginkan pada keluaran (effluen). Untuk memilih BSRT tersebut, parameter-parameter harus ditentukan dari pengujian. Sedangkan parameter-parameter rancang yang penting adalah : ukuran tangki, konsentrasi MLVSS, daur ulang lumpur aktif, kelebihan produksi bungin dan kebutuhan O_2. Gambar berikut menggambarkan proses lumpur aktif secara skematik.



Di dalam gambar di atas ada dua alternatif pembuangan lumpur, yaitu :

- Dari tangki aerasi langsung (QW, X) atau
- Dari bak pengendap setelah lumpur terendapkan (QW, Xe, Sc)

Notasi gambar di atas sebagai berikut :

Q = debit air buangan yang akan diolah (l^3/t)

So = konsentrasi organik masukan (influen) (m/l^3)

Se = konsentrasi organik keluaran (influen) (m/l^3)

X = MLVSS di tangki aerasi (l^3)

Va = volume tangki aerasi

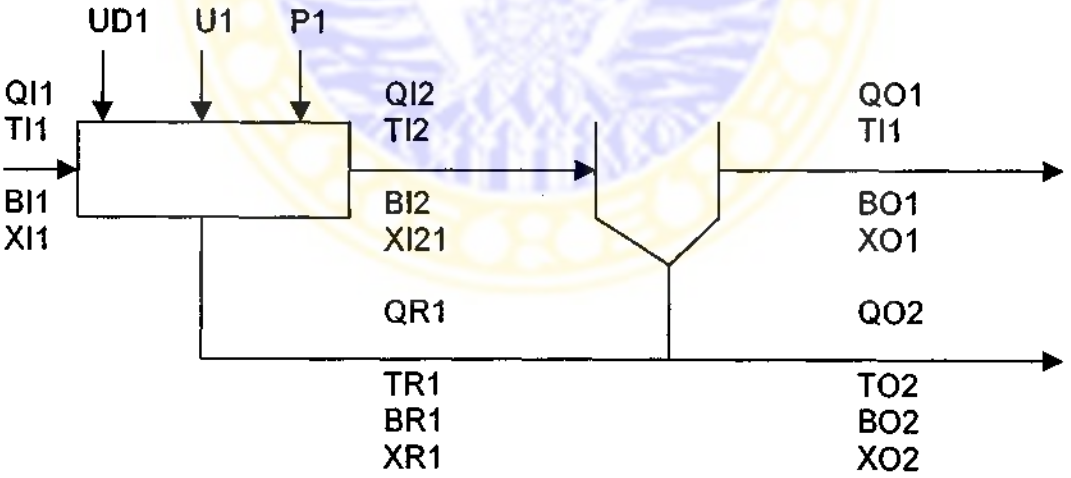
R = rasio daur ulang

Xr = konsentrasi bungin yang dikembalikan ke tangki aerasi (m/l^3)

Xc = konsentrasi bungin keluaran (m/l^3)

Qw = debit air yang dibuang dari sistem (l^3/t)

Diagram skematik dari proses pengolahan dengan lumpur aktif ditampilkan dalam Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Diagram Skematik Pengolahan dengan Lumpur Aktif (Said dan Nurcahyo, 1993)

Model bersamaan :

$$V1 = \frac{QI1 + R1}{24} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

$$BI2 = \frac{QI1 + BI1}{A1 \times a2\,(Ta - 20) \times V4 \times XI2 + QI1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

$$QR1 = \frac{QI1 \times [XI2 - XI1 - a3\,(BI1 - BI2)]}{XR1 - XR2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$QI2 = QI1 + QR1$$

$$XO2 = XR1$$

$$XO1 = a4\,(TC - 20)\,[a1 + \frac{A1 \times (QI2)/A2) \times XI2}{24 \times 1000} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

$$XO2 = \frac{QI2 \times XI2 - QO2 \times XO2 - QI1 \times XO1}{XO2 - XO1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

$$QO1 = QI1 - QO2$$

$$BO1 = BI2$$

$$BO2 = BI2$$

$$BR1 = BI2$$

$$TO1 = \frac{QI1 \times TI1\,[a1 + a2\,(QI2/A2)}{QO2\,[a1 + a2\,(QI1/A1)]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

$$TI2 = \frac{TO1}{[a1 + a2\,(QI2/A2)]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

$$TO2 = \frac{QI1 \times TI1 - QO1 \times TO1}{QO1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

$$TR1 = TO2$$

$$UD1 = \frac{3600 \times 0{,}283 \times a4 \times PWR4}{100 \times \frac{(101 + 9{,}8 \times H1)\ 0{,}283}{101} - 1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

$$U4 = \frac{a1 \times QI1 \times (BI1 - BI2)}{24 \times 1000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (10)$$

$$P4 = \frac{a3 \times QI1 \times (BI1 - BI2)}{24 \times 1000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

Keterangan :

QI1 = debit inlet aerator, m^3/hari
TI1 = TSS inlet, ppm
BI1 = BOD inlet, ppm
XI1 = biological sludge inlet, ppm
QI2 = debit inlet clarifier, m^3/hari
QR1 = debit recycle
QO1 = debit outlet clarifier aliran 1
QO2 = debit outlet clarifier aliran 2
PWR = kompressor power, KW
UD = udara yang diinjeksikan, Nm^3/jam
U1 = urea yang diinjeksikan, kg/jam
P1 = phosphat yang diinjeksikan, kg/jam

BAB 3

KERANGKA KONSEPTUAL DAN KERANGKA OPERASIONAL PENELITIAN

3.1. Kerangka Konseptual Penelitian

Biodegradasi merupakan proses pengolahan limbah cair yang dilakukan dengan bantuan aktivitas mikroorganisme. Tujuannya adalah mengkoagulasikan bahan-bahan padatan koloid dan menstabilkan bahan organik yang terkandung dalam air limbah. Pengolahan LCIT, tujuan utama biodegradasi adalah menyisihkan atau mengurangi konsentrasi pati dan selulosa.

Penyisihan bahan organik yang memberikan nilai BOD dalam limbah cair, koagulasi bahan yang tidak mudah mengendap (koloid) dan stabilisasi bahan organik dilaksanakan dengan bantuan berbagai jenis mikroorganisme terutama bakteri. Mikroorganisme mempergunakan bahan-bahan organik untuk mengkonversi bahan-bahan tersebut menjadi berbagai gas dan jaringan sel. Oleh karena jaringan sel ini mempunyai berat jenis yang sedikit lebih besar dari air, sel-sel mikroorganisme yang dihasilkan dapat dipisahkan dengan cara pengendapan. Mikroorganisme yang melaksanakan proses biodegradasi bisa mikroorganisme indigen, mikroorganisme eksogen, atau campuran keduanya atau kultur campuran (mixed culture).

Biodegradasi dapat dilaksanakan dalam proses aerob, proses anaerob dan kombinasi aerob dan anaerob. Proses-proses tersebut dapat dilakukan dalam bioreaktor pertumbuhan tersuspensi dan bioreaktor

pertumbuhan lekat atau kombinasi keduanya. Bioreaktor pertumbuhan tersuspensi disebut proses lumpur aktif dan bioreaktor pertumbuhan lekat disebut proses biofilm.

Dengan mengendalikan kondisi lingkungan mikroorganisme, proses biodegradasi dapat dipercepat. Tanpa melihat jenis limbah cairnya, biodegradasi merupakan pengendalian kondisi lingkungan yang dibutuhkan untuk pertumbuhan yang optimum dari mikroorganisme yang terlibat.

Beberapa faktor yang sangat mempengaruhi biodegradasi adalah suhu, pH, oksigen terlarut, konsentrasi biomassa, beban hidrolis dan beban organik. Dalam proses aerob, suhu umumnya tidak dikendalikan, sesuai dengan suhu limbah cair yang diolah. Suhu untuk proses anaerob yang mesofilik adalah 36°C. Untuk mencapai suhu tersebut diperlukan enersi yang diperoleh dari gas methan yang dihasilkan dari proses anaerob. Apabila COD limbah cair rendah, gas yang dihasilkan proses anarob tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan enersinya sehingga diperlukan tambahan enersi. Pada COD tinggi, gas methan yang dihasilkan dapat jauh melebihi kebutuhan enersi.

Pertumbuhan mikroorganisme yang berperan dalam biodegradasi membutuhkan enersi, sumber karbon untuk sintesis sel-sel baru, nutrisi anorganik dan nutrisi organik. Sumber enersi dan sumber karbon yang umum adalah bahan organik dan CO_2. Mikroorganisme yang menggunakan bahan organik untuk pembentukan jaringan selnya disebut heterotrophs, sedangkan yang menggunakan CO_2 disebut autotrophs. Mikroorganisme heterotrophs bertanggung jawab atas hampir semua proses biodegradasi,

terutama degradasi bahan organik, sedangkan kelompok autotrophs bertanggung jawab dalam proses nutrifikasi.

Berbeda halnya dengan sumber karbon dan sumber energi, nutrien dapat merupakan faktor pembatas pertumbuhan mikroorganisme dan sintesis sel. Nutrien anorganik yang utama yang dibutuhkan adalah N (nitrogen), S (belerang), dan P (fosfor). Beberapa jenis mikroorganisme tertentu membutuhkan juga nutrien organik yang disebut faktor pertumbuhan. Zat yang merupakan faktor pertumbuhan merupakan prekursor atau bahan sel organik yang tidak dapat disintesis dari sumber karbon lainnya. Faktor pertumbuhan berbeda untuk tiap jenis mikroorganisme, umumnya terdiri dari asam amino, purin dan pirimidin dan vitamin.

Proses lumpur aktif merupakan proses biodegradasi yang dapat dimanfaatkan untuk penyisihan karbon organik (BOD dan COD) dan untuk proses nitrifikasi. Parameter proses yang utama adalah umur lumpur, faktor resirkulasi lumpur dan beban hidrolis. Umur lumpur adalah perbandingan antara jumlah mikroorganisme dalam sistem dan yang keluar dari sistem. Umur lumpur dapat diatur melalui pembuangan lumpur.

Secara alamiah LCIT mengandung bakteri indigen. Untuk meningkatkan keanekaragaman mikroorganisme dapat dipergunakan tinja (faeces) sapi yang bersama-sama dengan urine dan sisa pakan disebut pupuk kandang. Kualitas tinja segar berbeda dengan tinja yang sudah berada di lingkungan cukup lama karena mengalami dekomposisi aerob maupun anaerob.

Kualitas tinja sapi segar selain berfungsi sebagai sumber mikroorganisme yang juga sebagai sumber hara N dan P. Proses pengayaan

lumpur aktif dengan tinja sapi akan meningkatkan keanekaragaman jenis mikroorganisme, biomassa lumpur aktif dan kandungan unsur hara N dan P. Dengan demikian terjadi peningkatan BOD : N : P yang akan memudahkan biodegradasi.

Beberapa genus bakteri tinja sapi adalah *Bacteriodes, Butyrivobrio, Desulfovibrio, Fibrobacter, Methanobacterium, Ruminococcus, Selenomonas, Streptococcus* dan *Syntroohobacter.* Dari sembilan bakteri tersebut *Methanobacter* dan *Selenomonas* yang banyak ditemukan. Genus *Methanobacterium* telah teridentifikasi mampu menghailkan gas methan, dan *Selenomonas* mampu mendekomposisi senyawa organik. Keanekaragaman jenis dan jumlah biomassa lumpur aktif degan pemberian ijuk akan ditingkatkan. Ijuk adalah benda padat yang banyak mengandung pori-pori, dan bisa digunakan sebagai tempat menempel mikroorganisme. Proses penempelan mikroorganisme diawali adanya gaya tarik menarik antara partikel padat (pati dengan ijuk) dan diikuti dengan penempelan mikroorganisme yang selanjutnya membentuk komunitas biofilm.

Limbah cair tapioka mempunyai kandungan padatan terlarut dan tersuspensi yang merupakan koloid hidrofilik yang baru dapat dikoagulasikan dengan penambahan elektrolit yang banyak. Pengolahan yang ekonomis adalah dengan biodegradasi. Pemanfaatan lumpur aktif yang diperkaya akan meningkatkan efektivitas dan efisiensi biodegradasi.

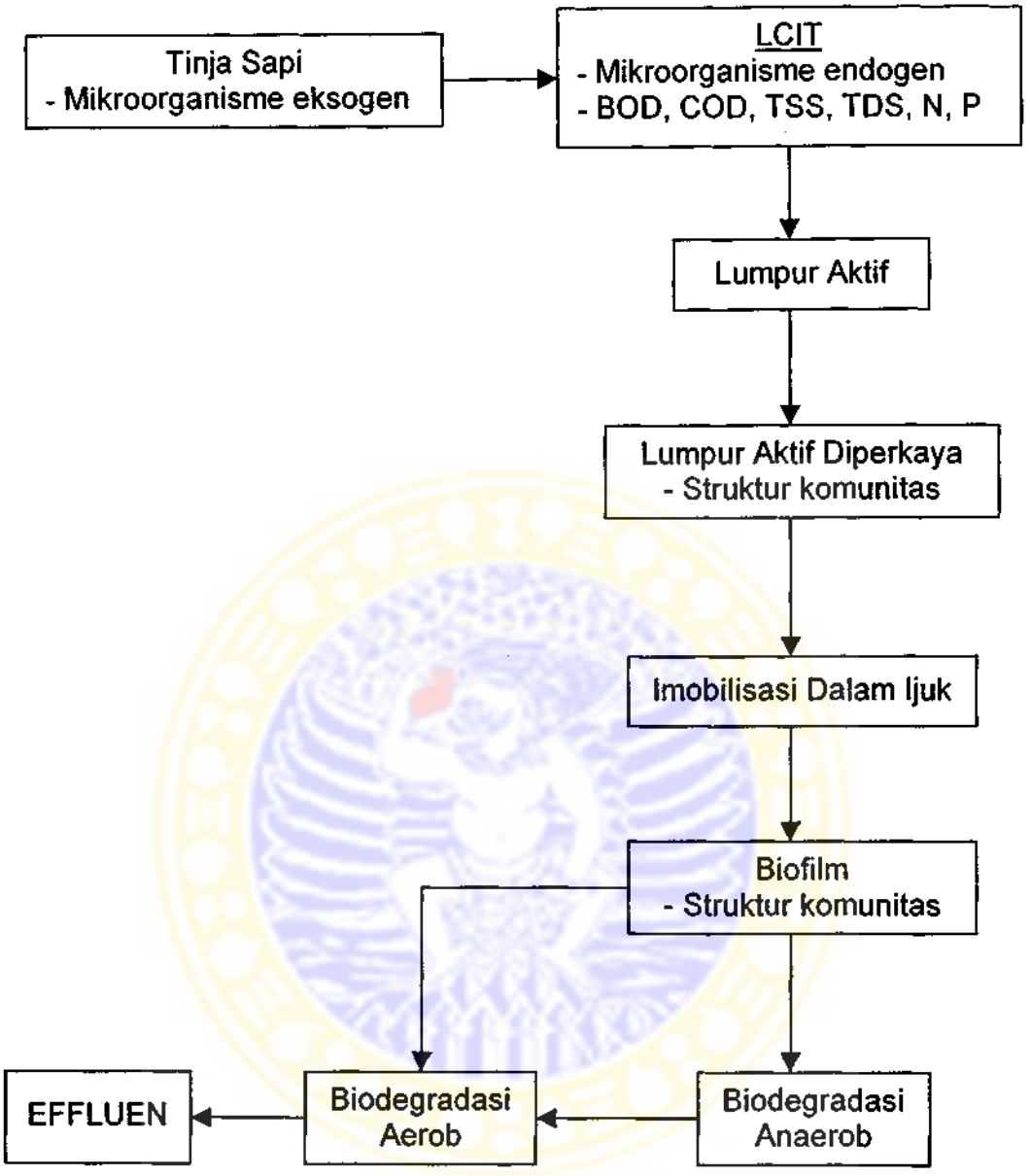
Kandungan koloid yang tinggi menyebabkan kandungan BOD, COD, TSS, TDS yang tinggi dan seara alamiah kandungan sianida tinggi.

Biodegradasi anaerob dapat menyisihkan BOD dan COD. Penggunaan komunitas biofilm lebih meningkatkan lagi penyisihan BOD dan COD.

Effluen biodegradasi anaerob mengandung BOD dan COD yang kecil menyebabkan biodegradasi aerob menjadi cara yang paling ekonomis. Pemberian komunitas biofilm akan mengoptimalkan proses biokimiawi mikroorganisme dalam menyisihkan BOD dan COD. Adanya komunitas biofilm menyebabkan tidak diperlukannya seed (resirkulasi lumpur) dan penambahan nutrisi.

Kombinasi biodegradasi aerob dengan biodegradasi aerob menggunakan komunitas biofilm mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menyisihkan BOD, COD, TSS, TDS dan sianida. Kondisi pH dengan adanya aerasi menjadi netral atau basa. Dengan demikian LCIT yang semula berupa emulsi keruh menjadi jernih.

Pengolahan LCIT menggunakan kombinasi biodegradasi anaerob dan aerob dengan komunitas biofilm ditentukan oleh keanekaragaman dan jumlah mikroorganisme yang terimobilisasi dalam ijuk. Mikroorganisme endogen LCIT tetap sehingga variasi konsentrasi penambahan tinja sapi akan menentukan struktur komunitas biofilm. Waktu pengolahan berinteraksi dengan struktur komunitas biofilm mempengaruhi kualitas effluen. Toksisitas effluen akan menurun. Diagram alir kerangka konseptual penelitian ini tertera pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Diagram Alir Kerangka Konseptual Penelitian

3.2. Kerangka Operasional

Penelitian terdiri dari lima tahap yaitu : (1) Studi kualitas LCIT sebagai media pertumbuhan mikroorganisme dan sumber mikroorganisme endogen; (2) Studi kualitas tinja sapi sebagai sumber mikroorganisme eksogen;

PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA

(3) Studi tentang kemampuan lumpur aktif yang diperkaya dalam menurunkan parameter fisik-kimia LCIT; (4) Imobilisasi sel lumpur aktif yang diperkaya dalam ijuk; dan (5) Uji pengaruh kombinasi anaerob dengan aerob terhadap efektivitas penurunan parameter LCIT.

Penelitian tahap pertama merupakan penelitian laboratorium terdiri dari dua unit kajian yaitu : (1) Pengukuran BOD, COD, TSS, TDS, pH dan CN LCIT dilakukan di Laboratorium Perairan Fakultas Biologi UNSOED; dan (2) Isolasi dan identifikasi bakteri endogen LCIT di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Biologi UNSOED.

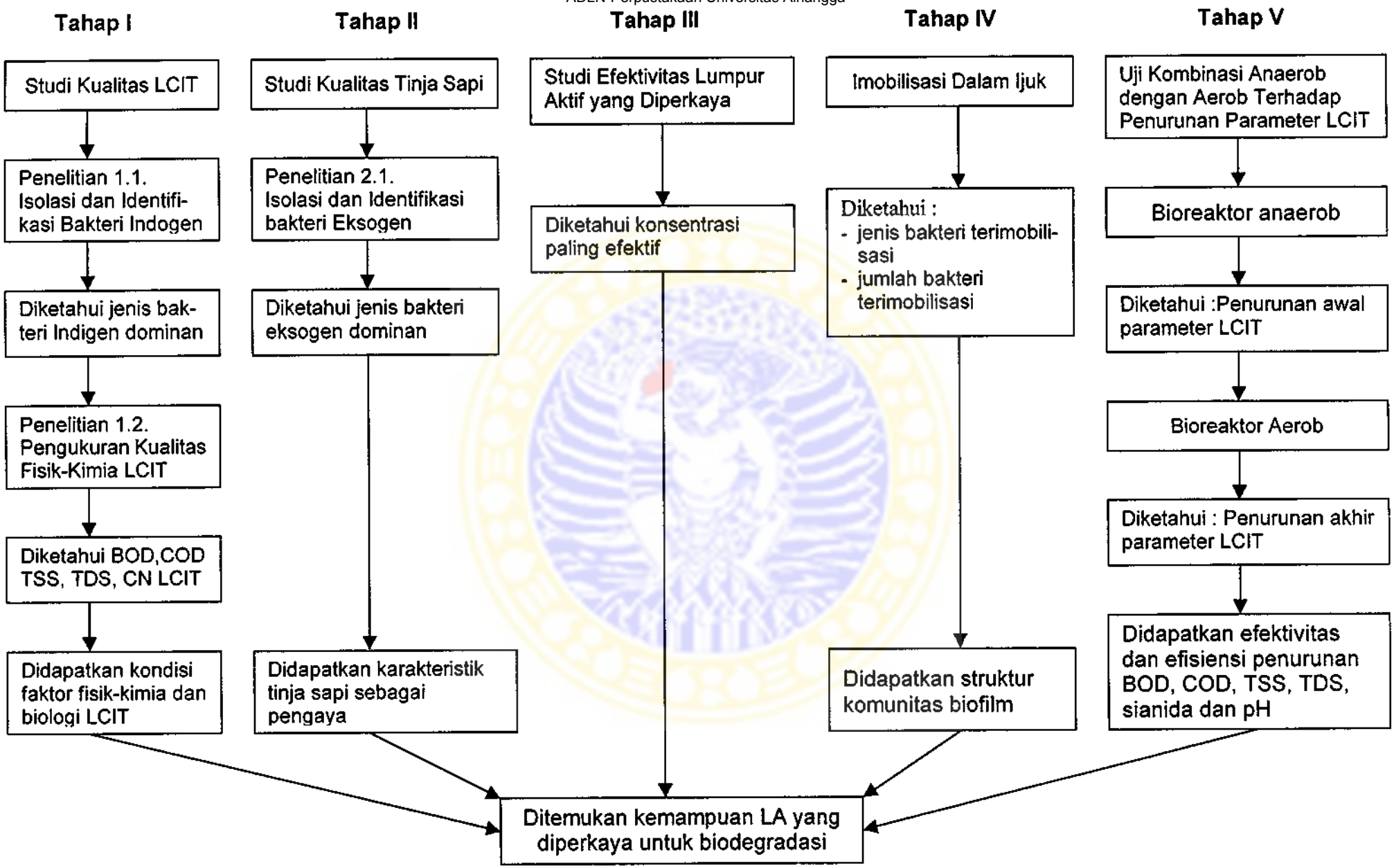
Penelitian tahap ke dua yaitu isolasi dan identifikasi bakteri eksogen tinja sapi. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Biologi UNSOED.

Penelitian tahap ke tiga merupakan studi efektivitas penambahan konsentrasi tinja sapi menghasilkan komunitas lumpur aktif yang diperkaya. Tujuannya adalah untuk mengetahui efektivitas dan efisiensi dalam menurunkan BOD, COD, TSS, TDS dan CN.

Penelitian tahap ke empat adalah studi imobilisasi sel lumpur aktif yang diperkaya dalam ijuk. Tujuannya adalah untuk mengetahui jumlah biomassa bakteri yang terimobilisasi dan jenis bakteri lumpur aktif yang diperkaya yang terimobilisasi atau mengetahui struktur komunitas biofilm.

Penelitian tahap ke lima untuk mengtahui kombinasi proses anaerob dengan aerob terhadap penurunan parameter BOD, COD, TSS, TDS dan CN LCIT. Kerangka operasional penelitian disajikan secara skematis dalam Gambar 3.2.

ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga



Gambar 3.2. Kerangka Operasional Penelitian

BAB 4

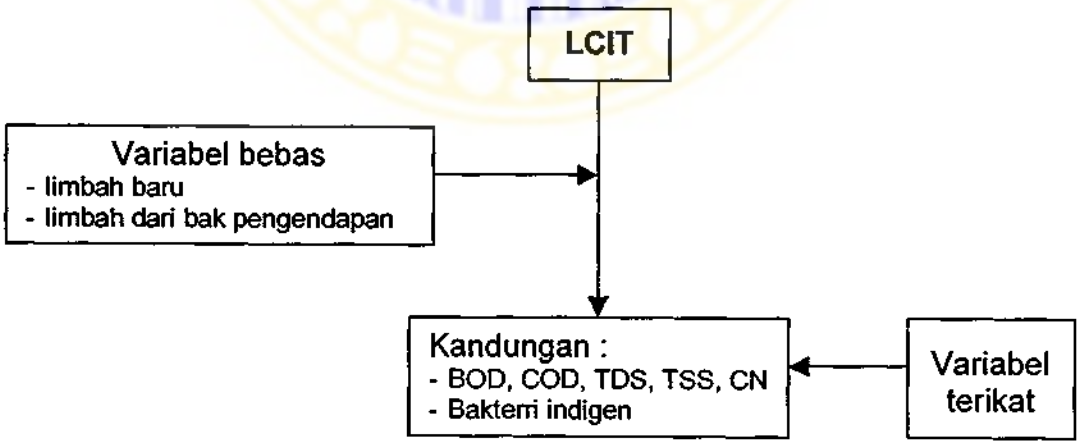
METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri atas lima tahap yaitu : (1) Studi kualitas fisik-kimia dan biologi LCIT; (2) Studi kualitas biologi tinja sapi; (3) Studi efektivitas lumpur aktif yang diperkaya; (4) Imobilisasi sel lumpur aktif dalam ijuk; dan (5) Uji pengaruh kombinasi anaerob dan aerob terhadap penurunan parameter LCIT.

1. Studi Kualitas LCIT

1.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Merupakan penelitian laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Biologi Perairan dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Biologi UNSOED. Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan, mulai bulan April sampai dengan Juli 1998. Rincian operasional penelitian tahap I dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Rincian Operasional Studi Kualitas LCIT

1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan BOD, COD, TSS dan CN serta jenis bakteri endogen dominan LCIT.

1.3. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah autoclave, cawan petri, nutrien agar, pipet, gelas ukur, timbangan elektrik, spektrofotometer, buret, gelas ukur dan pemanas listrik.

Bahan yang digunakan adalah LCIT yang berasal dari Pabrik Tapioka "X" Majenang, Cilacap. Limbah yang dipakai adalah limbah baru dan limbah yang dikeluarkan dari bak pengendapan. Untuk pengukuran parameter fisik-kimia digunakan bahan-bahan kimia seperti pada Lampiran.

1.4. Pelaksanaan

1.4.1. Parameter Fisik-Kimia LCIT

Sesuai dengan standard pengukuran yang ada dalam SNI untuk parameter fisik-kimia.

1.4.2. Isolasi dan Identifikasi LCIT

Disiapkan beberapa cawan petri steril dan tabung reaksi berisi akuades steril 9 cc dan 9,9 cc. Secara aseptis diambil 1 cc LCIT lalu dimasukkan ke dalam akuades steril (untuk pengenceran 10^{-1}), dan dihomogenkan dengan menggunakan vorteks. Dari pengenceran tersebut diambil 0,1 ml dan dimaukkan ke dalam 9,9 ml akuades steril dan dihomogenkan kembali (untuk pengenceran 10^{-3}). Hasil pengenceran

tersebut diambil lagi sebanyak 0,1 ml dan dimasukkan ke dalam 9,9 ml akuades steril lalu dihomogenkan kembali, untuk pengenceran 10^{-5}, 10^{-6} dan 10^{-7} diambil sampel 1 ml dari tingkat pengenceran sebelumnya dan masing-masing dimasukkan ke dalam 9 ml akuades steril lalu dihomogenkan. Dari ke tiga tingkat pengenceran tersebut diambil 1 ml sampel dan dimasukkan ke dalam cawan petri steril yang telah diberi label (dilakukan secara aseptis). Medium nutrien agar (NA) dan PDA diencerkan dalam penangas air dan didinginkan sampai suhu ± 50°C (substrat NA untuk koloni bakteri dan PDA untuk koloni kapang), selanjutnya untuk masing-masing substrat dituangkan secara aseptik ke dalam cawan petri yang telah diberi contoh air sesuai dengan tingkat pengencerannya, cawan-cawan petri tersebut lalu digoyang-goyang secara hati-hati supaya suspensi sampel tercampur merata dengan medium, selanjutnya segera diinkubasikan pada suhu 30°C selama 2 x 24 jam, dan diamati koloni bakteri yang tumbuh (Yutono, 1973). Identifikasi berdasar sifat gram, endospora, warna koloni dan bentuk koloni.

1.5. Pengamatan

Peubah yang diamati adalah kandungan BOD, COD, TSS, TDS, CN dan jenis bakteri LCIT dengan proses aerasi dan non aerasi dengan waktu inkubasi 24, 48 dan 72 jam.

1.6. Analisis Data

Data yang diperoleh ditabulasikan dan kemudian dianalisis deskriptif. Untuk jenis bakteri dominan adalah kemunculan koloni yang lebih dari 50 %.

2. Studi Kualitas Tinja Sapi

2.1. Waktu dan Tempat

Merupakan penelitian laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Biologi Perairan dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Biologi UNSOED. Penelitian ini dilaksanakan selama tiga bulan, mulai bulan April sampai dengan Juli 1998. Rincian operasional penelitian tahap II dapat dilihat pada Gambar 4.2.

Gambar 4.2. Rincian Operasional Studi Kualitas Tinja Sapi

2.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan bakteri eksogen dominan tinja sapi.

2.3. Alat dan bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah autoclave, cawan petri, inkubator, erlenmeyer, pipet, gelas ukur, timbangan elektrik, tabung reaksi, agar, ember plastik, gelas ukur dan pH meter.

Bahan yang digunakan adalah tinja sapi segar yang diperoleh dari peternakan Baturaden, Purwokerto. Umur sapi yang digunakan adalah satu tahun, jenis makanannya rumput gajah dan bekatul.

2.4. Pelaksanaan

Penelitian tahap ini terdiri atas dua unit penelitian. Penelitian unit 1, kotoran sapi segar langsung di bawa ke laboratorium. Penelitian unit 2, kotoran sapi ditumbuhkan dalam media agar untuk diamati koloni dan selanjutnya diidentifikasi.

2.5. Pengamatan

Peubah yang diamati adalah jenis bakteri eksogen dominan.

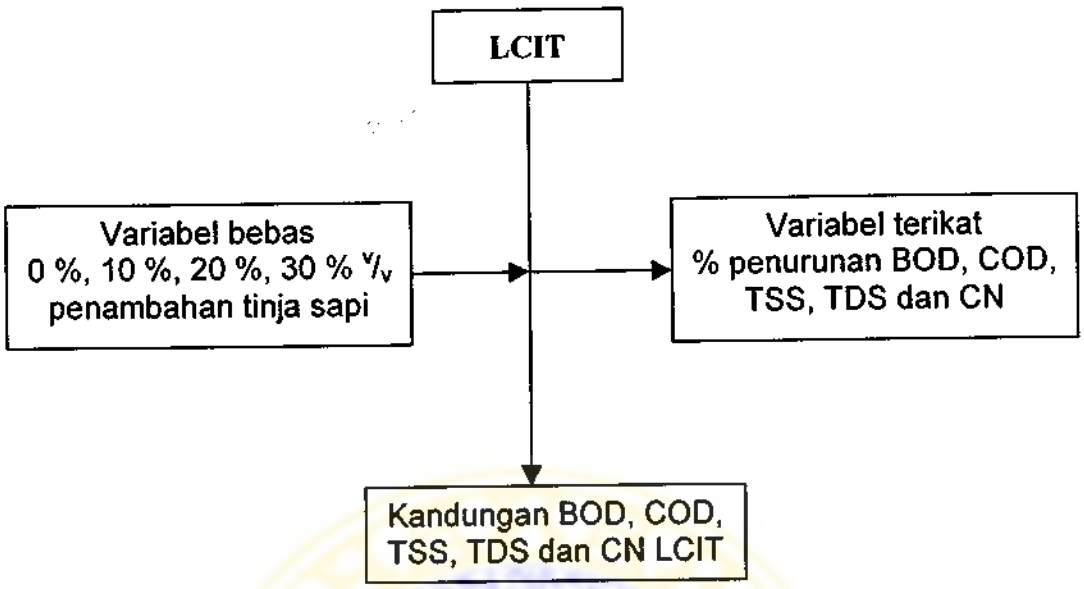
2.6. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif, dan untuk jenis bakteri eksogen dominan menggunakan aturan 50 %.

3. Studi Efektivitas Konsentrasi Penambahan Tinja Sapi

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian laboratorium dengan perlakuan persentase penambahan tinja sapi dan waktu detensi ini dilakukan di Laboratorium Biologi Perairan Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto selama satu bulan, yaitu bulan Agustus 1998. Rincian operasional penelitian tahap III dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Rincian Operasional Efektivitas Konsentrasi Penambahan Tinja Sapi

3.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui masing-masing pengaruh kandungan penambahan tinja sapi dalam menurunkan BOD, COD, TSS dan CN.

3.3. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini seperti pada penelitian 3.1. untuk parameter LCIT. Wadah yang dipergunakan adalah ember plastik ukuran 10 liter sebagai bioreaktor yang diaerasi. Bahan penelitian LCIT berasal dari Pabrik Tapioka "X" Mejenang, Cilacap dan tinja sapi perah segar dari Baturaden, Purwokerto.

3.4. Pelaksanaan

Lima liter LCIT ditambah masing-masing 10 % $^{v}/_{v}$, 20 % $^{v}/_{v}$ dan 30 % $^{v}/_{v}$ dimasukkan dalam ember plastik ukuran 10 liter kemudian diaerasi. Waktu detensi yang dipergunakan adalah 4 jam, 8 jam dan 12 jam.

3.5. Pengamatan

Peubah yang diamati adalah persentase penurunan COD, BOD, TSS, TDS dan CN LCIT pada konsentrasi penambahan 10 %, 20 % dan 30 % tinja sapi dan tanpa penambahan (kontrol).

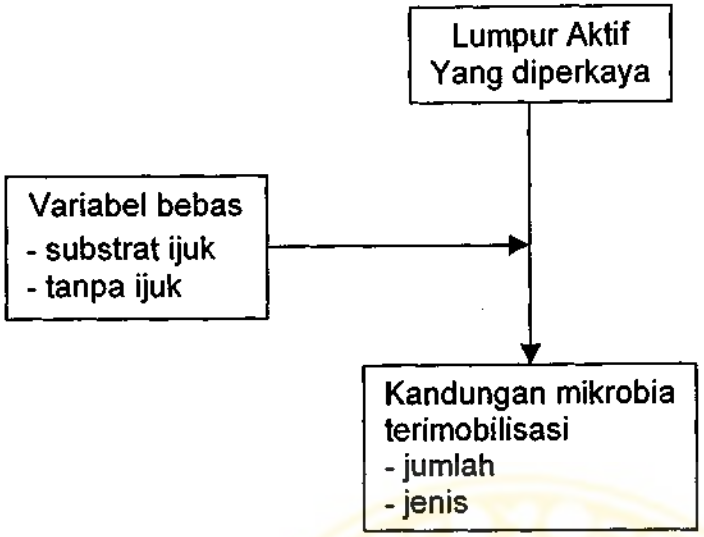
3.6. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis dengan tujuan unuk mengetahui apakah seri penambahan tinja sapi terhadap efektivitas penurunan parameter fisik-kimia LCIT.

4. Studi Imobilisasi Sel Lumpur Aktif

4.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan selama satu bulan yaitu bulan eptember 1998 di Laboratorium Biologi Perairan dan Laboratorium Mikrobiologi Fakultas Biologi UNSOED. Rincian operasional penelitian tahap IV dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4. Rincian Operasional Imobilisasi Sel Lumpur Aktif

4.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah dan jenis bakteri lumpur aktif yang diperkaya yang terimobilisasi dalam ijuk.

4.3. Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah ember plastik sebagai wadah, ijuk sebagai imobilisator dan aerator. Bahan adalah lumpur aktif yang diperkaya dengan penambahan 10 % $^{v}/_{v}$, 20 % $^{v}/_{v}$ dan 30 % $^{v}/_{v}$ tinja sapi.

4.4. Pelaksanaan

Ijuk dimasukkan dalam lumpur aktif yang diperkaya kemudian diaerasi selama 48 jam sehingga terbentuk supernatan yang jernih. Aerasi dihentikan. Tanda telah terjadinya imobilisasi adalah warna ijuk berubah menjadi coklat.

4.5. Pengamatan

Peubah yang diamati adalah jumlah dan jenis bakteri yang ada dalam supernatan terimobilisasi dalam ijuk.

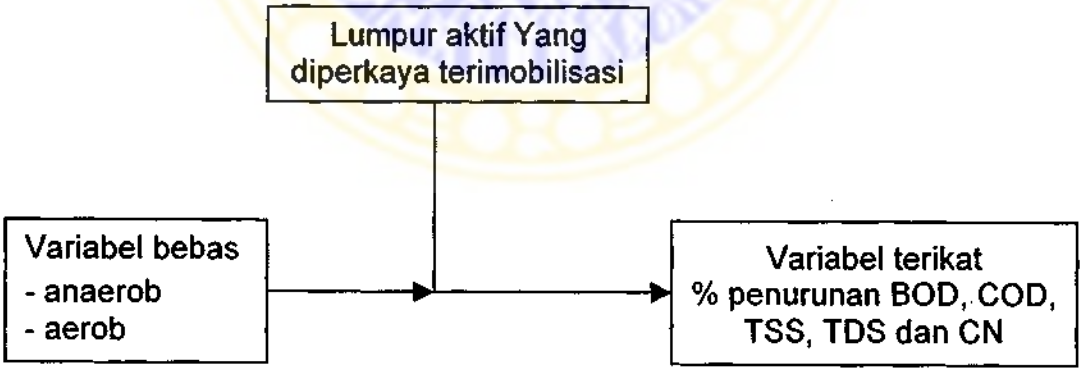
4.6. Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif untuk mengetahui perbedaan jenis dan jumlah antara pemberian ijuk dan tanpa pemberian ijuk.

5. Studi Kemampuan Kombinasi Anaerob dan Aerob

5.1. Waktu dan Tempat

Penelitian eksperimental ini dilakukan di Laboratorium Biologi Perairan Fakultas Biologi UNSOED selama tiga bulan, dari bulan Oktober 1998 sampai dengan Januari 1999. Rincian operasional penelitian tahap V dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5. Rincian Operasional Kemampuan Biofilm Terhadap Penurunan Parameter LCIT

5.2. Pelaksanaan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan kombinasi bioreaktor anaerob dan aerob dalam menurunkan BOD, COD, TSS dan CN.

5.3. Alat dan Bahan

Peralatan pengukuran BOD, COD, TSS, TDS dan CN LCIT seperti pada penelitian I. Bahan adalah komunitas biofilm dan LCIT dari Pabrik Tapioka "X" Majenang, Cilacap.

5.4. Pelaksanaan

LCIT dimasukkan dalam kombinasi bioreaktor anaerob dan aerob yang telah diisi dengan komunitas biofilm. Masing-masing dilakukan 3 kali ulangan. Diukur BOD, COD, TSS, TDS dan CN influen dan effluen.

5.5. Pengamatan

Peubah yang diamati adalah persentase penurunan BOD, COD, TSS, TDS dan pH dari influen dan effluen.

5.6. Analisis Data

Dilakukan uji komparatif antara persentase penurunan parameter LCIT pada pengolahan lumpur aktif yang diperkaya dengan biofilm.

BAB 5
HASIL PENELITIAN

5.1. Studi Kualitas Limbah Cair Industri Tapioka

Kualitas LCIT meliputi parameter fisik-kimia dan biologi. Kandungan padatan terlarut dan padatan tersuspensi, suhu, warna dan bau adalah parameter fisik. Kandungan bahan organik, bahan anorganik dan pH adalah parameter kimia, sedangkan parameter biologi adalah mikroorganisme indigen. Observasi kualitas LCIT meliputi suhu, TSS, TDS, warna, bau, BOD, COD, CN, NO_3^-, NH_3 dan jenis mikroorganisme indigen.

Memahami parameter fisik-kimia LCIT adalah penting untuk mengetahui kualitasnya. Limbah cair yang masih baru berwarna putih kekuning-kuningan dengan bau khas ketela pohon. Hampir semua pabrik menampungnya dalam sebuah bak dengan tujuan untuk mengendapkan sisa pati. Effluen dari bak ini berwarna abu-abu gelap dan berbau busuk. Hasil pengukuran parameter fisik-kimia LCIT baru dan effluen bak penampungan seperti Tabel 5.1.

Tabel 5.1. Parameter Fisik-Kimia LCIT Baru dan Effluen Bak Penampung

No.	Parameter	Satuan	T_1	T_2
1.	O_2	mg/l	4,81	2,04
2.	pH	-	6.3	4,2
3.	TSS	mg/l	2922,0	1450,40
4.	TDS	mg/l	3110,4	1789,4
5.	BOD	mg/l	3390,63	2927,73
6.	COD	mg/l	7694,30	5927,73
7.	Sianida	mg/l	0,211	0,1471
8.	Ammonia	mg/l	tt	0,181

Sumber : Data Primer (1998)

Keterangan : T_1 = LCIT baru
T_2 = Effluen bak penampung
tt = tidak terdeteksi

Berdasarkan Tabel 5.1. tersebut di atas, LCIT kaya akan bahan organik seperti pati, serat, dan protein yang berasal dari komponen pati yang tidak terekstrak dan komponen non pati yang terlarut dalam air. Dengan demikian karakteristik LCIT adalah sebagai berikut.

(1) Warna LCIT yang baru adalah transparan disertai suspensi berwarna putih. Kandungan TDS dan TSS yang umumnya berupa bahan organik akan mengalami proses biodegradasi dan penguraian kimia menyebabkan perubahan warna menjadi hitam. Terjadi deoksigenasi sampai terjadi kondisi anaerob yang menyebabkan bau busuk.

(2) Bau yang tidak sedap dari LCIT menginformasikan terjadinya kondisi anaerob yang menyebabkan protein terbiodegradasi menjadi H_2S dan NH_3.

(3) Kekeruhan yang tinggi disebabkan oleh kandungan TSS dan TDS yang tinggi.

(4) Limbah industri tapioka mengandung pati, sedikit lemak, protein dan bahan organik lainnya yang ditandai dengan banyaknya zat-zat terapung yang menggumpal. Jumlah bahan organik yang terlarut dalam limbah dapat diketahui dengan melihat besarnya angka BOD. Angka ini menunjukkan jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk keperluan aktivitas mikroorganisme dalam membiodegradasi bahan organik.

(5) Kebutuhan oksigen kimia atau COD. Parameter ini menunjukkan jumlah zat organik non biodegradasi dalam air limbah. Zat tersebut dapat dioksidasi oleh bahan kimia $K_2Cr_2O_7$ dalam asam, misalnya SO_4^{2-} (sulfat), NO_2^- (nitrat) dan reduktor yang lain.

(6) pH LCIT sangat dipengaruhi oleh kekegiatan mikroorganisme dalam biodegradasi bahan organik. Air limbah cenderung asam, dan pada keadaan asam ini terlepas zat-zat yang mudah menjadi gas. Dari hasil percobaan, pada saat pembuatan tapioka pH larutan 6,51, namun setelah air limbah berumur tujuh jam mulai terjadi penurunan menjadi pH = 5,8, setelah 13 jam menjadi pH = 4,91 dan setelah satu hari menjadi pH = 4,84.

(7) Padatan tersuspensi mempengaruhi kekeruhan dan warna air. Apabila terjadi pengendapan dan pembusukan zat-zat tersebut di dalam badan air penerima limbah cair, maka akan mengurangi nilai guna perairan tersebut.

(8) Pabrik tapioka kebanyakan menggunakan ketela pohon jenis pahit yang mengandung sianida, karena harganya murah. Sianida sangat beracun, namun sampai sejauh ini kandungan senyawa ini bukan merupakan penyebab utama timbulnya kasus pencemaran oleh LCIT. Sianida yang terkandung di dalam ketela pohon merupakan ikatan glikosida.

Kualitas biologi LCIT sangat dipengaruhi oleh kualitas fisik-kimia, karena terjadi hubungan saling pengaruh mempengaruhi. Pada LCIT yang baru akan berbeda dengan limbah cair yang sudah lama. Hasil pengujian biokimia, morphologi dan koloni terhadap bakteri dominan LCIT baru terdapat dalam Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Hasil Pengujian Identifikasi Bakteri LCIT Baru

Pengujian	Isolat A	Isolat B
Morphologi		
- bentuk	batang	batang
- mobilitas	+	-
- gram	-	-
Koloni		
- bentuk	cembung	cembung
- warna	putih	putih keruh
Biokimia		
- katalase	+	+
- nitrat	+	+
- sitrat	+	-
- glukosa	+/-	+/-
- sukrosa	+/-	+/-
- manitol	+/-	-

Keterangan : Isolat A = *Erwinia herwicola*
Isolat B = *Conynebacterium helvelum*

Bakteri yang dapat berkembang dalam LCIT adalah jenis yang mampu beradaptasi pada kondisi konsentrasi sianida yang tinggi. Hal inilah yang menyebabkan berbagai jenis fungi yang juga merupakan saprotrof tidak berkembang dalam LCIT. Kedua jenis bakteri dominan dalam LCIT baru termasuk dalam genus *Pseudomonas.*

Genus *Pseudomonas* bersifat khemoorganotrof, dan ada di antaranya yang bersifat khemolitotrof fakultatif bersifat aerob dan ada yang anaerob. Apabila terdapat banyak oksigen, bakteri ini bersifat selulolitik. Dengan demikian kandungan serat dalam LCIT dalam kondisi aerob dibiodegradasi oleh bakteri ini.

Komponen utama LCIT adalah pati. Hampir semua jenis bakteri, fungi dan *Actinomycetes* mempunyai enzim amilase. Jenis bakteri terdiri dari *Bacillus, Chromobacterium, Clostridium, Cytrophaga, Flavobacterium, Micrococcus* dan *Pseudomonas*. Jenis *Actinomycetes* terdiri dari *Micromonospora, Nocardia* dan *Rhizopus*. Jenis fungi terdiri dari *Aspergillus,*

Fusarium, Polyporus dan *Rhizopus*. Selain oleh mikroorganisme tersebut di atas, protozoa adalah salah satu mikroorganisme yang bersifat organotrof. Peranan mikroorganisme selulolitik dan lignolitik sangat besar dalam perombakan bahan organik selain yang bersifat heterotrofik seperti disebutkan di atas.

5.2. Studi Kualitas Tinja Sapi

Sebagai sumber mikroorganisme eksogen, kualitas tinja sapi ditentukan oleh jumlah dan keanekaragamannya. Pada penelitian ini, tinja sapi mempunyai enam jenis bakteri yang kemudian diisolasi dan dimurnikan hingga diperoleh isolat murni. Berdasarkan hasil identiikasi, diperoleh isolat murni sebanyak enam spesies. Hasil pengujian morfologi, koloni dan biokimia disajikan dalam Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Hasil Pengujian Identifikasi Bakteri Tinja Sapi Baru

Pengujian	Isolat 1	Isolat 2	Isolat 3	Isolat 4	Isolat 5	Isolat 6
Morphologi						
-bentuk	Batang	curvoid	batang	batang	batang	curvoid
-mobilitas	-	+	+	+	+	+
-gram	-	-	-	-	-	-
Koloni						
-bentuk	cembung	tdk teratur	cembung	tdk teratur	cembung	cembung
-warna	coklat	putih jernih	putih lendir	coklat	putih mengkilat	Putih keruh
Biokimia						
-katalase	+	+	-	-	+	-
-nitrat	+	-	+	-	-	+
-sitrat	+	+	+	+	-	-
-glukosa	+	+	+	+	+	+
-sukrosa	+	+	+	+	+	+
-manitol	-	-	+	+	+	+

Keterangan : Isolat 1 = *Bacteriodessp.*
Isolat 2 = *Butyrivibrio sp.*
Isolat 3 = *Desulfovibrio sp.*
Isolat 4 = *Methanobacterium sp.*
Isolat 5 = *Ruminococcus sp.*
Isolat 6 = *Selenomonas sp.*

Bakteri dan protozoa adalah mikroorganisme dominan dalam rumen sapi. Di dalam 1 mL getah rumen terkandung 10^9 sampai 10^{10} sel. Bersifat

obligat anaerob, menyebabkan ragi dan fungi sulit berkembang di sini. Bakteri menguraikan karbohidrat polimer menjadi senyawa-senyawa sederhana seperti asam lemak dan alkohol. Jenis asam yang dominan adalah asam asetat, kemudian propionat, butirat, valerat dan format.

Jenis *Ruminococcus, Bacteriodes* dan *Butyrivibrio* adalah pengurai selulosa dalam kondisi anaerob membentuk asam asetat. Jenis Desulfofibrio adalah pembentuk H_2S dan memfermentasi glukosa menjadi laktat, asetat dan propionat. Jenis *Selenomonas* adalah bakteri yang dapat mendegradasi bahan organik dengan ikatan siklik maupun alifatik.

Cara kerja mikroorganisme rumen sapi adalah proses anaerob. Sesuai dengan peranannya dalam proses degradasi sampai dihasilkannya gas metana (CH_4) dan CO_2, bakteri dikelompokkan menjadi bakteri penghidrolisis dan asidogenik yang menghidrolisis senyawa polimer, bakteri asetogenik penghasil H_2 dan bakteri metanogenik yang memberikan hasil akhir metanol, CO_2, asam asetat dan asam format.

Bacillus adalah bakteri yang mempunyai potensi amilolitik, sehingga dapat digunakan untuk mendegradasi limbah yang mengandung pati. Bakteri ini mampu menghasilkan enzim amilase yang sifatnya thermostabil, tahan pH tinggi dan stabil dalam penyimpanan. Produksi amilase terjadi sesaat sesudah fase log terhenti (awal fase stasioner).

Amilase bekerja melalui dua tahap, pertama adalah memecah ikatan amilase menjadi maltosa dan maltriosa yang terjadi secara acak. Pemecahan ikatan ini terjadi sangat cepat yang diikuti dengan penurunan viskositas media dengan cepat. Tahap kedua, relatif sangat lambat dan tidak acak yaitu

pembentukan glukosa dan maltosa sebagai hasil akhir. Kerja α-amilase pada ikatan amilopektin akan menghasilkan glukosa dan maltosa.

Mikroorganisme lain yang mempunyai enzim amilase dan glukoamilase adalah *Sacharomyces cerevisae* dan *Aspergillus niger*. Dalam masalah pengolahan limbah cair, kedua mikroorganisme yang termasuk fungi berfilamen kehadirannya tidak diinginkan, karena dapat membentuk flok-flok yang sulit diendapkan. Fungi dapat menjadi mikroorganisme yang dominan apabila limbah cair mempunyai pH rendah dan kandungan unsur nitrogen rendah.

Kemampuan mendegradasi senyawa dengan ikatan yang komplek meningkat bila dilakukan oleh komunitas mikroorganisme yang saling berinteraksi secara sinergis. Hal ini disebabkan karena terjadinya serangkaian proses di antara satu jenis mikroorganisme dengan jenis yang lain, di mana hasil samping metabolisme suatu jenis mikroorganisme akan dimanfaatkan oleh yang lainnya.

Gambaran proses yang terdapat dalam rumen sapi yang mengolah bahan organik adalah yang akan dicoba wujudkan menjadi IPAL. Bahan organik yang akan didegradasi adalah pati mentah yang secara kimiawi dapat dihidrolisis dengan cara pemasakan atau dihidrolisis dalam suasana asam kuat, sedangkan dalam rumen tanpa adanya asam kuat. Proses hidrolisis pati dan degradasinya dilakukan oleh komunitas mikroorganisme yang mengadakan mutual asosiasi atau sinergisme. Bakteri berperan sebagai primary feeder (pemakan pertama) bahan organik. Dalam rumen terdapat 10 juta sel bakteri/gram isi rumen yang menghasilkan campuran enzim

lipolitik, proteolitik dan amilolitik. Mikroorganisme tersebut bersifat aerob, anaerob dan fakultatif aerob.

Rongga rumen mempunyai kondisi lingkungan yang optimum untuk pertumbuhan mikroorganisme yaitu suhu konstan 37 – 39°C, pH 5,8 – 7,3 yang didapar (buffer) oleh fosfat dan bikarbonat dan penambahan secara terus menerus larutan mineral (kurang lebih 100 – 200 liter ludah/hari). Dalam rumen yang dominen adalah bakteri dan protozoa, sedangkan fungi dan ragi (yeast) dalam jumlah yang sangat kecil.

Kandungan unsur hara pada tinja sapi segar adalah 0,92 % N, 0,43 % P, 0,01 % K dan pH 6-7. Dapat mengalami dekomposisi aerob dan anaerob. Dengan demikian komunitas mikroorganismenya berkorelasi dengan waktu dekomposisi aerob dan anaerob. Komunitas mikroorganisme tinja sapi yang terdekomposisi secara aerob selama 30 hari disajikan dalam Tabel 5.4.

Tabel 5.4. Komunitas Mikroorganisme Tinja Sapi Umur 30 hari

Bakteri	Protozoa
Bacillus cereus	*Balantidium coli*
Clostridium sporogenus	
Eschericia coli	
Micrococcus aureus	
Methanococcus sp	
Pseudomonas aerugenosa	
Spirilum rubrum	
Streptococcus fecolis	

Berdasarkan Tabel 5.4. di atas, tinja sapi yang berumur 30 hari mengandung bakteri anaerob, bakteri aerob dan bakteri fakultatif aerob serta protozoa. Jenis *Clostridium* dan *Eschericia coli* mempunyai enzim penghidrolisis dan pembantuk asam. Jenis bakteri metanogenik adalah

Methanococcus sp. Jenis bakteri tinja sapi seperti *Pseudomonas* dan *Bacillus* menghasilkan enzim yang dapat menambah ketersediaan P terlarut dalam air. Dengan kondisi demikian apabila tinja sapi akan dipergunakan sebagai pengaya lumpur aktif, perlu memperhatikan umur tinja sapi di lingkungan. Apabila berupa tinja segar atau berada di lingkungan kurang dari 6 jam dapat dipergunakan untuk proses anaerob, dan apabila sudah berada lebih lama di lingkungan dapat dipergunakan untuk proses aerob. Sejalan dengan waktu di lingkungan akan mempengaruhi kandungan unsur N dan P, di mana kedua unsur hara ini lebih besar apabila waktu dekomposisinya lebih lama.

5.3. Studi Efektivitas Lumpur Aktif Yang Diperkaya

Efektivitas lumpur aktif yang diperkaya, efektivitasnya diukur dengan besarnya penurunan parameter BOD, COD dan TSS dalam proses anaerob dan aerob. Penurunan variabel BOD, COD dan TSS dengan penambahan tinja sapi disajikan dalam Tabel 5.5.

Tabel 5.5. Persentase Penurunan BOD, COD dan TSS LCIT Pada Penambahan Tinja Sapi

Variabel	Konsentrasi Penambahan	Persentase Penurunan
BOD	0 % $^{v}/_{v}$	0
	10 % $^{v}/_{v}$	40,77
	20 % $^{v}/_{v}$	68,43
	30 % $^{v}/_{v}$	69,92
COD	0 % $^{v}/_{v}$	0
	10 % $^{v}/_{v}$	67,73
	20 % $^{v}/_{v}$	71,51
	30 % $^{v}/_{v}$	71,70
TSS	0 % $^{v}/_{v}$	0
	10 % $^{v}/_{v}$	58,66
	20 % $^{v}/_{v}$	64,46
	30 % $^{v}/_{v}$	64,07

Waktu pengolahan limbah cair disebut dengan waktu kontak atau waktu detensi menentukan besarnya persentase penurunan variabel kualitas LCIT. Tabel 5.6. menyajikan lamanya waktu detensi dengan penurunan parameter BOD, COD dan TSS.

Tabel 5.6. Persentase Penurunan BOD, COD dan TSS LCIT Pada Lama Waktu Detensi

Variabel	Lama Waktu Detensi	Persentase Penurunan
BOD	T_0	0
	T_1	59,78
	T_2	60,98
	T_3	63,72
COD	T_0	0
	T_1	68,48
	T_2	72,20
	T_3	73,44
TSS	T_0	0
	T_1	61,46
	T_2	63,03
	T_3	64,95

Keterangan : T_0 = waktu detensi 0 jam
T_1 = waktu detensi 24 jam
T_2 = waktu detensi 48 jam
T_3 = waktu detensi 72 jam

Berdasarkan hasil persentase penurunan, diketahui perlakuan lumpur aktif yang diperkaya berpengaruh terhadap penurunan BOD, COD dan TSS. Hal ini menginformasikan semakin banyak lumpur aktif dan pengayaan tinja sapi meningkatkan proses biodegradasi LCIT.

Berdasarkan dari pengaruh lumpur aktif yang diperkaya menunjukkan bahwa konsentrasi pengayaan tinja sapi adalah 30 % $^v/_v$ memberikan hasil paling besar dibanding penambahan 20 % $^v/_v$, 10 % $^v/_v$ dan kontrol.

Pengayaan 30 % $^v/_v$ memberikan jumlah dan jenis bakteri yang memungkinkan biodegradasi optimal. Hal ini diperlihatkan bahan organik

menurun dengan cepat. Pengaruh waktu detensi terhadap BOD, COD dan TSS menunjukkan bahwa waktu detensi 72 jam memberikan hasil yang paling besar dalam penurunan dibandingkan dengan 0 jam, 24 jam dan 42 jam. Hal ini menginformasikan semakin lama waktu detensi, semakin bagus kualitas effluen.

Pengaruh kombinasi perlakuan pengayaan tinja sapi dan lama waktu detensi terhadap BOD, COD dan TSS menunjukkan pada pengayaan 30 % $^{v}/_{v}$ pengaruh waktu 24 jam, 48 jam dan 72 jam berbeda dibandingkan kontrol. Antara 24 jam, 48 jam dan 72 jam sendiri berbeda, kecuali 48 jam dengan 72 jam tidak berbeda.

Dari hasil analisis tersebut di atas bahwa kombinasi terbaik adalah 30 % $^{v}/_{v}$, 48 jam dan 30 % $^{v}/_{v}$, 72 jam. Pada sistem biodegradasi aerob menunjukkan semakin besar pengayaan dan semakin lama aerasi akan memberikan hasil yang semakin baik. Pada pengolahan anaerob, semakin besar pengayaan semakin lama waktu fermentasi semakin baik yang dihasilkan.

5.4. Studi Imobilisasi Sel Lumpur Aktif

Tinja sapi berfungsi untuk memperkaya (menambah) jenis dan jumlah mikroorganisme lumpur aktif. Keuntungan yang diperoleh dengan cara pengayaan ini karena terdapat kultur campuran di mana proses biodegradasi LCIT dilaksanakan antara satu jenis dengan jenis lainnya. Pada penelitian 5.2. didapatkan informasi apabila tinja sapi ditambahkan pada LCIT akan meningkatkan keanekaragaman dan jumlah (biomassa) bakteri. Tabel 5.7.

berikut menyajikan banyaknya bakteri pada penambahan 10 % $^{v}/_{v}$, 20 % $^{v}/_{v}$ dan 30 % $^{v}/_{v}$.

Tabel 5.7. Jumlah Bakteri Pada Pengayaan Tinja Sapi (... x 10^7 sel/cc)

No.	Penambahan Tinja	Jumlah Sel Bakteri
1.	L_0T_0	4,84
2.	L_1T_1	6,11
3.	L_2T_0	7,70
4.	L_3T_0	7,05
5.	L_0T_1	8,50
6.	L_1T_1	10,53
7.	L_2T_1	11,26
8.	L_3T_1	11,68
9.	L_0T_2	21,62
10.	L_1T_2	22,59
11.	L_2T_2	25,17
12.	L_3T_2	27,97
13.	L_0T_3	28,06
14.	L_1T_3	28,76
15.	L_2T_3	28,98
16.	L_3T_3	30,41

Sumber : Data Primer (1998)

Keterangan : L_0 = Kontrol (tanpa penambahan tinja sapi)
L_1 = Penambahan 10 %
L_2 = Penambahan 20 %
L_3 = Penambahan 30 %
T_0 = Lama aerasi 0 jam
T_1 = Lama aerasi 3 jam
T_2 = Lama aerasi 6 jam
T_3 = Lama aerasi 9 jam

Berdasar Tabel 5.7. tersebut di atas terdapat penambahan tinja sapi yang meningkatkan jumlah sel bakteri pendegradasi LCIT. Hal ini berakibat meningkatkan angka F/M yang akan mempercepat pengolahan. Angka ini menunjukkan perbandingan antara bahan organik dengan mikroorganisme.

Pola suksesi mikroorganisme dalam komunitas lumpur aktif yang diperkaya ditandai dengan terjadinya predominasi yang mempunyai daya

adaptasi tinggi dan laju perkembangan yang cepat serta mampu menggunakan nutrisi yang ada dalam LCIT. Dilatarbelakangi dalam penelitian ini digunakan tinja sapi yang baru.

Imobilisasi sel lumpur aktif yang diperkaya dilakukan dengan cara menempatkan ijuk pada supernatan. Mikroorganisme yang dapat hidup menempel pada substrat ijuk adalah bakteri dan fungi. Uji identifikasi bakteri pada ijuk disajikan pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8. Uji Identifikasi Bakteri Pada Substrat Ijuk

Nomor Isolat	Sp-1	Sp-3	Sp-4	Sp-5	Sp-6	Sp-7	Sp-8
Pewarnaan gram	-	+	+	+	+	+	+
Pewarnaan endospora	-	+	-	+	+	+	+
Fermentasi glukose	+	+	d	+	+	+	+
Fermentasi arabinose		+		-		d	d
Fermentasi manitol		d	-	-	-	d	+
Fermentasi xylose		d	-	d	-	d	d
Oksidase	+	-	-	-	-	-	-
Methyl Red	-	-		+		+	-
Indole	-	-		-	-	+	-
Voges-Proskener	-	+		+	+	+	+
Katalase	+	+	+	+	+	+	+
Nitrase		-	+	+	+	+	+
Pertumbuhan pada suhu 37°C	+	+	+	+	+	+	+
Pertumbuhan pada agar Mac Conkey	+	-	-	-	-	-	-
Warna koloni	putih	Putih jernih	Coklat muda	putih	putih	putih	putih
Urease	-		-				
Gelatin	-				+	-	
Citrase	-	-		+	+	+	-
Motility	+		-				
Bentuk	batang	batang	batang	batang	batang	batang	batang

Keterangan : + = positif
- = negatif
d = 40 – 60 % positif
Sp-1 = *Enterobacteriaceae*
Sp-3 = *Bacillus circulans*
Sp-4 = *Corynebacterium spp.*
Sp-5 = *Bacillus coagulans*
Sp-6 = *Bacillus cereus*
Sp-7 = *Bacillus licheniformis*
Sp-8 = *Bacillus polymyxa*

Pada proses imobilsasi muncul populasi fungi, diperkirakan dalam kondisi ini pH yang semula asam menjadi netral dan konsentrasi CN sudah

sangat menurun. Jenis fungi adalah *Aspergillus flavus, Aspergillus glaucus, Trichoderma sp., Rhizopus sp., Aspergillus terreus* dan *Fusarium*.

Jenis *Aspergillus* adalah yang mendegradasi pati, sedangkan jenis *Trichoderma* pendegradasi selulosa dan *Rhizopus* adalah jenis yang mendegradasi protein. Jumlah mikroorganisme yang ada dalam ijuk adalah 6,48 – 7,2 x 10^7 sel/cc. Dengan adanya campuran komunitas lumpur aktif dengan komunitas biofilm dalam satu bioreaktor akan memperpendek waktu pengolahan limbah cair.

5.5. Studi Kemampuan Kombinasi Anaerob dan Aerob

Keanekaragaman lumpur aktif yang diperkaya dengan mikroorganisme eksogen tinja sapi kemudian diimobilisasi dalam substrat ijuk akan menghasilkan komunitas biofilm. Selanjutnya kombinasi komunitas lumpur aktif dengan komunitas biofilm dipergunakan untuk biodegradasi LCIT dalam kombinasi bioreaktor anaerob dan aerob. Kedua bioreaktor dioperasikan dalam sistem kontinyu dengan debit air limbah tertentu, dan kemampuan menurunkan parameter kualitas seperti Tabel 5.9.

Dari data yang tertera pada Tabel 5.9. dapat diungkapkan bahwa untuk DO tidak ada perubahan antara sebelum dan sesudah digesti secara anaerob selama 72 jam. Sementara itu untuk pH ada peningkatan sedikit (10,64 %) walaupun sama-sama masih dalam kondisi asam, sedangkan untuk TSS, BOD dan COD terjadi penurunan masing-masing 37,88 %, 27,99 %, 75,1 %, dan 80,0 %. Secara visual juga terlihat bahwa air limbah tapioka setelah digesti anaerob selama 72 jam menjadi kurang pekat dan terdapat gumpalan-gumpalan mengendap di dasar digestor dan terbentuk gas yang keluar

sebagai gelembung serta jonjot-jonjot menggumpal dan mengendap sebagai akibat kinerja dari mikroba aerob.

Tabel 5.9. Kualitas LCIT Sebelum dan Sesudah Perlakuan Dalam Bioreaktor Anaerob

Parameter Kualitas	Sebelum Digesti	Sesudah Digesti	Persen Penurunan
pH	4,7	5,2	-
Kekeruhan (NTU)	330	205	37,88
TSS (ppm)	1897	1366	27,99
DO (ppm)	0	0	-
BOD_5 (ppm)	4816	1204	75,1
COD (ppm)	5298	1059,6	80,0

Hasil observasi kualitas air limbah industri tapioka setelah perlakuan dengan biofilm dalam bioreaktor aerob perlakuan dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10. Kualitas LCIT Dengan Perlakuan Kombinasi Bioreaktor Anaerob dan Aerob

Parameter Kualitas	Waktu detensi (jam)			
	0	24	48	72
pH	4,5	5,4	5,9	6,2
Kekeruhan (NTU)	205	174	139	99
TSS (ppm)	1366	1202	997	738
DO (ppm)	0	0,32	0,43	0,54
BOD_5 (ppm)	1204	840	215	24,08
COD (ppm)	1059	745	402	79,42

Berdasar pada hasil penelitian laboratorium dan survai di lapangan pada sembilan industri tapioka di Banyumas disajikan pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11. Karakteristik LCIT di Banyumas

Volume	:	60 M^3/hari – 70 M^3/hari
BOD Maksimum	:	3.400 ppm
COD Maksimum	:	7.500 ppm
TDS	:	2.900 ppm
Sianida	:	0,012 ppm
pH	:	4,2

MILIK PERPUSTAKAAN UNIVERSITAS AIRLANGGA SURABAYA

Maka Morphometrik Bioreaktor Anaerob

COD influen = 7.500 mg/l = 7,5 kg/m^3

Pembebanan COD = 4,0 kg COD/m^3/hari

Target reduksi COD = 80 % (Reff : 78 % - 90 %)

Volume air limbah = 70 m^3/hari

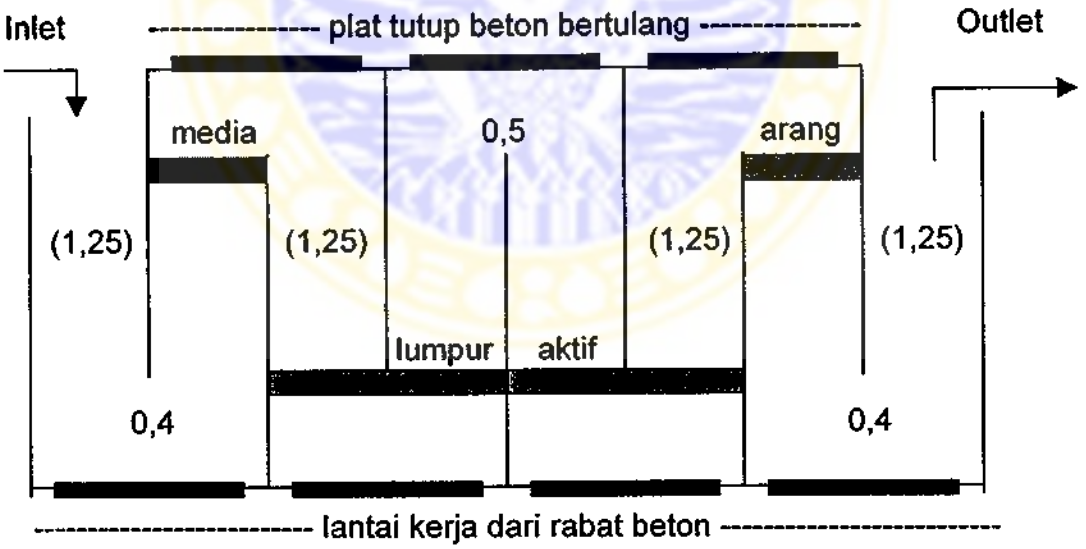
$$\text{Volume Bak BFAS} = \frac{70\ m^3/\text{hari} \times 7{,}5\ kg/m^3 \times 0{,}80}{4\ kg\ COD/m^3/\text{hari}}$$

Waktu tinggal 2 hari ⟶ Volume Bak = 210 m3

Dimensi Bak BFAS = (10 x 6 x 3,5) m

Pengisian media dan lumpur aktif ± 30 % dari volume bak.

Gambar Bak BFAS



Bioreaktor Aerob

Pembebanan bahan organik = 0,4 kg BOD_5/m^3/hari

Polutan tersuspensi campuran limbah (MLSS) = 3.500 mg/lt

= 3,5 kg/m^3

Kadar BOD_5 = 3.400 mg/L = 3,4 kg/m^3

Volumen influen = 70 m^3/hari

$$\text{Volume Aerated Lagoon} = \frac{70\ m^3/\text{hari} \times 3{,}4\ \text{kg BOD}/m^3}{0{,}4\ \text{kg BOD}_5/m^3 \times 3{,}5\ \text{kg}/m^3}$$

= 170 m^3

Dimensi Bak Aerasi = (9 x 6 x 3,25) m

$$\text{Kandungan BOD sebenarnya} = \frac{70\ m^3/\text{hari} \times 3{,}4\ \text{kg BOD}/m^3}{170\ m^3}$$

atau LS = 1,4 kg BOD/m^3.hari/3,5 kg MLSS

= 0,4 kg BOD_5/kg MLSS.hari

Aerator/Oxygen Injector : Type Turbo Oxygen Injector (MTO_2)

Efisiensi = 3,0 kg O_2/Kwh

Faktor Flexibilitas Operasi = 0,75

Pengurangan BOD_5 = 0,75 (75 %)

Kebutuhan oksigen = 1,2 kg O_2/kg BOD_5

$$\text{Data yang dibutuhkan} = \frac{3{,}4\ \text{kg BOD/hari} \times 0{,}75 \times 1{,}2\ \text{kg } O_2}{3{,}0\ \text{kg } O_2 \times 0{,}75 \times 24\ \text{jam/hari}}$$

= 0,56 Kwh. (1 HP = 0,745 Kwh.)

= 0,76 HP ⟶ Dipakai 1 HP

Dibutuhkan aerator 2 buah dengan daya 1,0 HP (operasi bergantian).

Fungsi Bak Aerasi (AL) : untuk menambah oksigen dalam limbah dengan menggunakan aerator.

Cara kerja Unit Aerated Lagoon :

Melalui Oxygen Injector akan dihembuskan udara ke dalam AL berupa gelembung-gelembung kecil. Jumlah rata-rata oksigen yang dihasilkan = 2.943 liter/HP/jam. Waktu yang diperlukan untuk injeksi dan pengadukan rata-rata 38 menit. Dengan menggunakan Oxygen Injector masing-masing 1 HP, akan mampu menambah oksigen dalam bak AL yang diperlukan oleh biologi dan kimiawi, sehingga diharapkan BOD dan COD akan turun lagi sekitar 30 %.

Dimensi Bak Sedimentasi :

Laju Upflow = 12 mm/menit = 0,8 m^3/m^2 jam

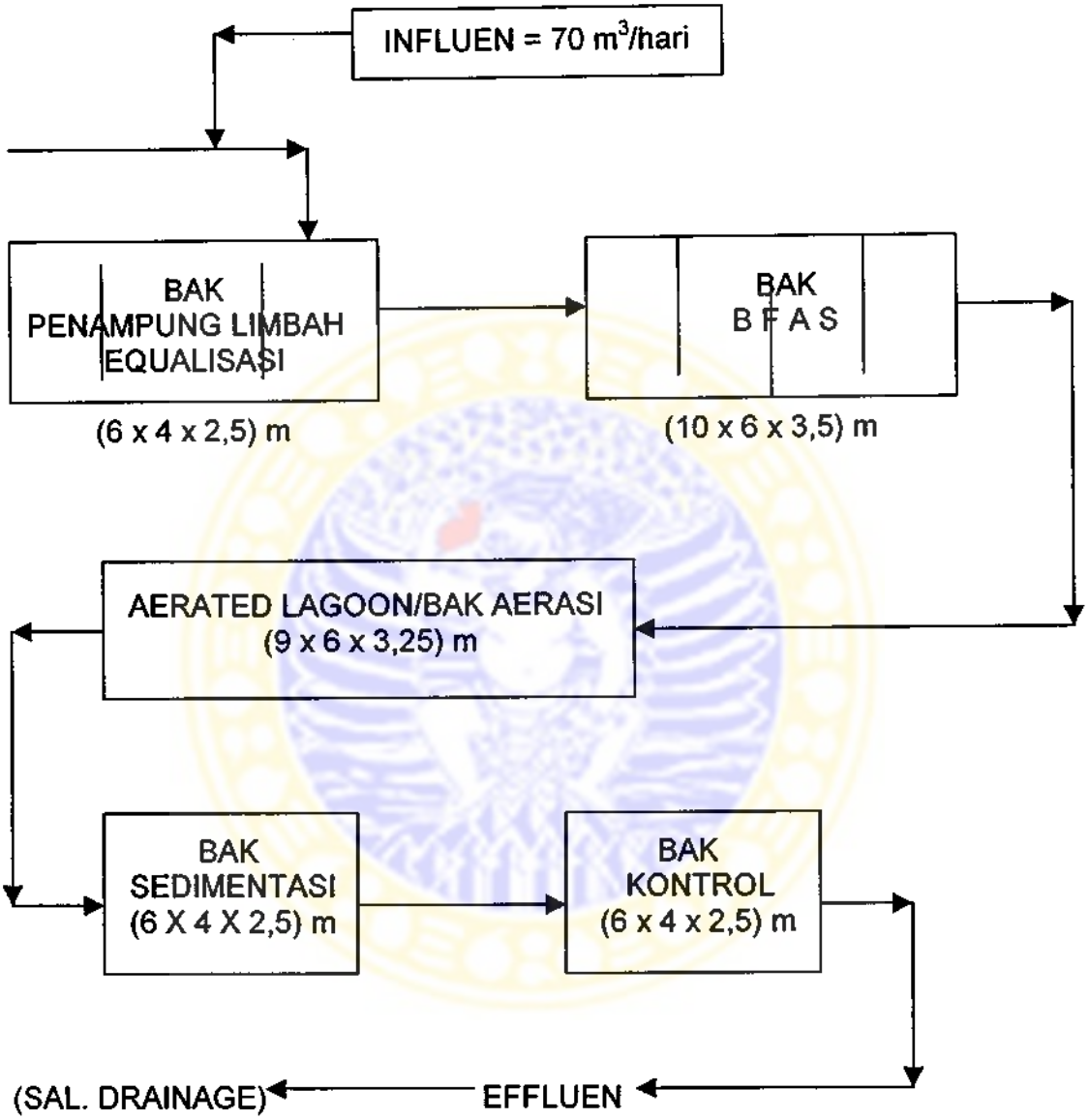
Laju alir dari limbah = 70 m^3/hari = 2,92 m^3/jam

$$\text{Luas Area Efektif} = \frac{2{,}92\ m^3/jam}{0{,}8\ m^3/m^2.jam} = 3{,}65\ m2$$

Dimensi = (6 x 4 x 2,5) m

Fungsi Bak Sedimen : Untuk memberi kesempatan padatan tersuspensi (SS) mengendap/settling.

DIAGRAM ALIR PENGOLAHAN AIR LIMBAH



BAB 6

PEMBAHASAN

6.1. Kualitas Limbah Cair Industri Tapioka

Dari pengamatan yang dilaksanakan, diperoleh suatu gambaran keadaan yang menandakan bahwa langkah pengolahan air limbah yang saat ini ditempuh belum mencapai hasil terolah sebagaimana diharapkan. Di samping timbulnya bau tidak sedap yang mengganggu lingkungan. Keadaan ini disebabkan berbagai hal sebagai berikut :

1) Tingginya beban cemaran organik yang disebabkanm karena masih terikutnya bahan-bahan organik ke dalam air limbah dalam bentuk suspensi halus.
2) Masih belum adanya perlakuan untuk pengendalian pH air sebelum dibuang, sehingga mendorong terbentuknya H_2S yang berbau tidak sedap dikarenakan pH air limbah < 5,5.
3) Belum adanya pengolahan lanjut yang mampu menurunkan beban cemaran organik dalam air limbah, sehingga air limbah mencapai kualitas sesuai baku mutu yang berlaku. Yang ada saat ini baru sampai pada bentuk pengolahan fisika, yaitu pengendapan pati halus.

Dengan memperhatikan kondisi dimaksud maka perlu upaya pengembangan IPAL yang ada, agar dapat mencapai hasil air limbah terolah sebagaimana diharapkan.

Sebagaimana sudah dijelaskan di atas, bahwa pengolahan yang saat ini ada menunjukkan hasil yang kurang memuaskan. Dari pengamatan,

dijumpai indikasi bahwa kekurang-berhasilan dari pengolahan ini lebih didominasi dari kenyataan belum dipenuhinya berbagai kriteria perencanaan teknis pengolahan air limbah secara kimia dan biologi yang seharusnya dipilih. Berbagai kriteria perencanaan teknis yang tidak terpenuhi tersebut antara lain :

1) Bahwa beban organik yang tinggi pada air limbah, bukan hanya dikarenakan adanya bahan organik dalam bentuk terendap saja, tetapi juga terlarut dan tersuspensi. Sehingga upaya pengolahan yang saat ini ada baru dapat mengurangi cemaran organik yang berasal dari bahan organik dalam bentuk terendap.
2) Bahwa karena tidak adanya upaya netralisasi air limbah, yang selanjut-nya akan mendorong pembentukan gas H_2S bebas yang pada gilirannya akan menghasilkan bau yang tidak sedap yang seringkali tidak dapat diterima masyarakat lingkungan sekitarnya. Pembentukan yang H_2S ini dapat diduga berasal dari ion-ion sulfida ($S^=$), baik yang berasal dari peristiwa dekomposisi protein maupun anorganik ion (SO_4). Pada akhirnya ion-ion sulfida inilah yang akan membentuk senyawaan H_2S bebas yang berbau, di mana proses pembentukannya sendiri sangat dipengaruhi pH. Dalam hal pH air limbah cenderung basa (pH > 7), maka sulfida ion akan tetap berada dalam kondisi ion sulfida ($S^=$).

Selama ini pengolahan yang dilakukan memakai koagulan tawas (Al_2SO_4). Hal tersebut hanya bersifat membuat koagulasi dan mengendapkan, dalam arti hanya mengumpulkan dan memindahkan masalah saja, sedang pengolahan secara biologis didasarkan pada

kemampuan degradasi mikroorganisme. Perlu adanya suatu alternatif pengolahan limbah cair tapioka secara biologis, di mana pengolahan dengan sistem ini mempunyai keunggulan pada pembiayaan yang murah (karena tidak diperlukan tambahan biaya koagulan), serta penanganan yang sederhana.

Limbah cair industri tapioka mengandung bahan organik dalam bentuk suspensi halus dengan fraksi terbesar adalah karbohidrat yang terdiri dari pati dan serat. Bahan organik dalam air limbah selain dalam bentuk suspensi halus dan terlarut, bersifat hidrophilik sehingga sulit dikoagulasi. Pengolahan dengan koagulan tidak efisien karena membutuhkan banyak biaya untuk bahan tersebut. Penurunan bahan tersuspensi dan terlarut dilakukan dengan pengolahan biologis melalui aktivitas mikroorganisme endogen dan eksogen yang terimobilisasi dalam matrik padat, baik secara aerob maupun anaerob.

Lumpur aktif yang diperkaya dengan tinja sapi adalah ekosistem mikro-organisme endogen dan eksogen yang selain terdiri dari massa mikro-organisme heterotrof, terdapat enzim termofilik, katalisator dan hara fosfat yang kinerjanya efektif dan efisien. Komposisi yang tepat antara lumpur aktif dan tinja sapi memberikan efektivitas dan efisiensi paling besar.

Penelitian Syafilla (1997) menyatakan bahwa lumpur aktif efektif untuk menyisihkan COD dan sianida. Efisiensi penyisihan COD dan senyawa sianida serta laju penggunaan substrat akan lebih tinggi pada beban sianida yang lebih besar. Umur lumpur 10 hari memberikan kinerja yang terbaik.

Penelitian ini dilakukan dalam skala laboratorium menggunakan instalasi lumpur aktif tercampur sempurna dengan resirkulasi lumpur sebesar 100 %. Waktu detensi hidrolis yang dijalankan pada reaktor aerasi ini adalah 6 jam dengan variasi umur lumpur sebesar 5, 10 dan 15 hari. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa penyisihan maksimum substrat organik yang dinyatakan dalam COD dan senyawa sianida dicapai pada umur lumpur 10 hari, yaitu masing-masing sebesar 89,14 % dan 53,32 %.

Penelitian Balai Pengembangan dan Penelitian Kimia Bogor (1984) menyatakan sistem pengolahan limbah cair tapioka yang terdiri dari digesti anaerob, perlakuan lapis teritis, sedimentasi dan klarifikasi dapat menurunkan BOD 99 % (dari 4816 ppm sampai 48,16 ppm). Waktu digesti anaerob selama 10 hari (240 jam), perlakuan lapis teristis 24 jam, pengendapan 10 hari (240 jam) dan klarifikasi 10 hari (240 jam). Keseluruhan waktu detensi yang digunakan adalah 31 hari.

Penelitian Suwarso *dkk.* (1995) menyatakan pengolahan dengan lapis teritis mampu memperbaiki kualitas effluen dengan menurunkan BOD sebesar 79 %, COD 63 %, TSS 84 % dan kekeruhan 90 %. Toksisitas effluen terhadap ikan tawes menurun. Effluen hasil pengolahan selama 144 jam belum dapat digunakan untuk budidaya ikan nila merah. Limbah cair tapioka yang digunakan dalam penelitian ini mengandung BOD 4800 ppm, COD 5298 ppm dan TSS 1897 ppm.

Konsentrasi lumpur aktif dan *Chlorella sp* serta kombinasi konsentrasi berpengaruh sangat nyata terhadap penurunan BOD dan peningkatan kandungan oksigen terlarut. Konsentrasi lumpur aktif paling efektif adalah

30 % dan konsentrasi *Chlorella sp* paling efektif adalah 30 % serta kombinasi konsentrasi adalah lumpur aktif 30 % dan *Chlorella sp* 30 %. Penelitian ini dilakukan pada limbah cair tapioka dengan BOD 403 – 538 ppm dengan waktu detensi 3 x 24 jam.

Pramiyati (1994), telah meniliti tentang perbaikan kualitas air limbah tapioka dengan sistem aerobik biofilter. Sistem tersebut menggunakan kemampuan aktivitas mikroorganisme dalam kultur campuran pada lumpur aktif dan imobilisatornya.

Lumpur aktif tersebut diperoleh dari limbah cair tapioka yang telah diaklimatisasi dengan limbah buatan (artificial sewage), sedangkan bahan yang digunakan sebagai tempat aktivitas mikroorganisme (imobilisator) adalah batu. Batu tersebut disusun di bagian tengah bioreaktor dengan saluran inlet berada secara vertikal di tengahnya. Limbah masuk melalui inlet untuk didegradasi oleh mikroorganisme pendegradasi dalam lumpur aktif, kemudian limbah tersebut dikeluarkan ke atas melalui celah-celah batu menuju outlet. Pada saat melewati batu terjadi proses degradasi bahan organik oleh mikroorganisme yang terimobilisasi, sehingga tingkat penurunan bahan organik limbah cair dengan sistem ini dapat lebih tinggi.

Aerasi dilakukan dalam bioreaktor tersebut selama waktu proses 9 jam guna menyediakan kandungan oksigen terlarut yang dibutuhkan oleh mikroorganisme pendegradasi untuk beraktivitas. Hasil yang diperoleh dalam penelitian tersebut adalah aktivitas mikroorganisme dalam kultur campuran dengan sistem aerobik biofilter mampu menurunkan nilai BOD limbah car tapioka sebanyak 90 – 95 % dengan waktu aerasi 9 jam.

Penggunaan biofiltrasi enceng gondok dengan waktu detensi 5 x 24 jam untuk mengolah limbah cair industri tapioka, dapat menurunkan nilai HCN sebesar 88,25 %, BOD 76,38 %, padatan 26,409 % dan kekeruhan 80,77 %.

6.2. Kualitas Tinja Sapi Sebagai Pemacu

Menurut Tejo Baskoro (1994) tidak ada jenis bakteri spesifik yang dapat merombak amilum. Hampir semua jenis bakteri dan fungi mempunyai enzim amilase yaitu enzim yang dapat menghidrolisis amilum. Jenis mikroorganisme endogen adalah *Erwinia hervicola* dan *Corynebacterium helvelum* termasuk kelompok yang mempunyai enzim amilase.

Komponen utama LCIT merupakan sisa pati yang tidak terekstraksi (pati, protein, selulosa) dan komponen utama non pati yang terlarut dalam air, terdiri dari senyawa nitrogen dan asam organik. Proses fermentasi etanol dari pati mentah tanpa pemanasan telah dikembangkan menjadi proses yang ekonomis. Dengan proses ini, pati mentah harus dihidrolisis oleh enzim-enzim amilolitik seperti amilase dan glukoamilase.

Di dalam tinja herbivora banyak terdapat mikroorganisme yang bersifat termofilik, yang salah satu sifatnya dapat menghasilkan enzim termostabil, di mana sifat tersebut dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan kecepatan dan efisiensi pengolahan limbah cair tapioka. Selain itu bakteri-bakteri tersebut juga mempunyai kemampuan katalitik yang cukup tinggi.

Komunitas mikroorganisme tinja sapi juga mengandung jenis *Enterobacteriaceae*. Bakteri ini diduga dapat mendekomposisi bahan organik selain selulosa, dapat bersifat patogen bagi manusia. Peranan dari bakteri ini

dalam dekomposisi bahan organik adalah memanfaatkan laktosa yang dimetabolisme menjadi asam laktat (Tejo Baskoro, 1994). Bakteri ini dapat bersifat aerob dan anaerob.

Peran yang jelas dalam dekomposisi bahan organik oleh bakteri jenis *Clostridium, Spirilum, Streptococcus* dan *Micrococus* belum ada informasinya. Jenis-jenis bakteri ini adalah heterotrof dan fotoheterotrof. Jadi akan menggunakan bahan organik sebagai sumber energinya. Dekomposisi bahan organik akan berlangsung melalui lintasan-lintasan yang sudah tertentu. Polisakarida, lemak dan protein pada tahap pertama akan diubah menjadi senyawa sederhana (gula, gliserol, asam lemak dan asam amino) kemudian akan dilanjutkan dengan proses lain, baik secara aerob maupun anaerob. Semua hasil dekomposisi oleh mikroorganisme akan digunakan kembali untuk keperluan hidup dan perkembangannya.

Tinja sapi sebagai pengaya proses biodegradasi LCIT disebabkan oleh perannya dalam : 1) sumber enzim termostabil; b) sumber unsur hara N dan P yang merupakan faktor pembatas; dan c) sumber mikroorganisme eksogen. Bagian utama perut ruminansia adalah perut besar dan perut jala yang merupakan semacam fermentor bioreaktor dengan volume 100--250 liter memberi kondisi yang ideal untuk perkembangan mikro-organisme. Kondisi ideal tersebut adalah suhu yang tetap antara 37-39°C dan penambahan secara terus menerus larutan mineral yang di dapar (buffer) secara baik oleh bikarbonat (HCO_3) dan fosfat (PO_4^{3-}) menyebabkan pH menjadi 5,8-7,3 (Tejo Baskoro, 1994). Penambahan secara periodik pakan ke dalam perut besar dengan ukuran yang sudah diperkecil dan

proses pencampuran secara mekanik oleh gerakan perut besar menyebabkan perut tersebut menyerupai sistem biak semi kontinyu dari mikroorganisme.

Mikroorganisme perut besar yang dominan adalah protozoa dan bakteri, dan dalam satu mililiter isi perut besar mengandung beberapa juta protozoa, sebagian besar adalah *Siliata* dari genus *Diplodinium* dan *Entodinium*. Di luar perut besar organisme ini tersebar dalam jumlah yang kecil. Perannya dalam ikut mendegradasi selulosa dalam rumen sapi belum terungkap.

Mikroorganisme perut besar yang fungsional paling penting adalah bakteri dan di dalam satu mililiter getah perut besar terkandung 10^9-10^{10} dan merupakan 5-10 % dari massa kering isi perut besar. Bakteri rumen menguraikan polimer karbohidrat dalam pakan menjadi senyawa-senyawa sederhana seperti asam lemak dan alkohol. Dari selulosa, amilum, fruktosa dan xilan diubah menjadi asam-asam lemak. Selulosa terdegradasi menjadi asetat sebagai produk utama, propionat, butirat, valerat dan formiat. Di samping itu terbentuk gas dengan komposisi CO_2 (65 %), metana (27 %), N_2 (7 %), H_2 (0,18 %) dan H_2S yang merupakan bagian yang sangat kecil, yang mampu menguraikan selulosa dalam perut besar adalah *Ruminococcus albus* dan *Ruminococcus flavefaciens* yang berupa kokus gram negatif, *Bakteriodes succinogenes* berbentuk batang gram negatif tidak bergerak yang terutama membentuk asetat dan suksinat, *Butyroribriosa soluens* dan *Clostridium cellobioporum* (Harsono, 1991).

Pakan ternak hewan ruminansia amat miskin unsur N dan protein, dan untuk menjamin sintesis protein dibentuk siklus peredaran rumino hepatik yaitu sintesis ureum oleh hepar saat detoksifikasi amonium, menyebabkan ruminansia berswasembada protein.

Bakteri rumen yang berada di luar tubuh sapi masih mampu menghasilkan enzim selulase, seperti hasil penelitian Harjo (1989) yang meneliti *Cellulomonas sp* yang diisolasi dari tanah perkebunan tebu, ditumbuhkan dalam nutrien agar dan mengeluarkan selulase ke dalam media ketika ada selulose sebagai sumber karbon. Dari penelitian ini diperoleh keterangan bahwa dalam kotoran sapi terdapat bakteri yang bersifat aerob dan fakultatif aerob antara lain : *Bacillus subtilis, Bacillus steothermofilus, Pseudomonas sp, Flavobacterium sp, Cellulomonas sp* dan *Serratia sp*.

Tinja sapi mengandung 0,4 % nitrogen, 0,2 % fosfor, 0,01 % kalium dan 8,5 % air (Lingga, 1981). Sementara itu Sosrosoedirdjo (1985) menyebutkan tinja sapi mengandung 0,59 % nitrogen, 0,2 % fosfor, 0,4 % kalium dan 83 % air.

6.3. Perlakuan Biofilm Dalam Biodegradasi

Choliq (1993) menyatakan bahwa secara global proses penurunan zat organik di dalam limbah dapat dikategorikan sebagai berikut : (1) pemisahan partikel akibat terjadinya ikatan antara partikel organik dengan flok biologis yang berlangsung cepat dan tergantung pada intensitas kontak antara partikel organik dan flok dari biofilm; (2) pemisahan koloid akibat adanya *"physico-chemical adsorption"* pada flok biologis; dan (3) adanya

"biosorption" terhadap larutan organik oleh mikroorganisme. Ketiga reaksi tersebut terjadi secara bersamaan dalam kontak antara biofilm dengan zat organik. Untuk koloidal dan partikel akan diuraikan oleh mikroorganisme setelah mengalami perombakan untuk mencapai ukuran yang lebih kecil sampai memungkinkan bagi mikro-organisme untuk melakukan metabolisme, dan untuk proses ini diperlukan waktu adaptasi sehubungan dengan karakteristik limbah tersebut.

Seiring dengan penurunan nilai BOD_5 dan COD pada sistem penanganan limbah cair tapioka dengan biofilm ini ternyata diikuti dengan meningkatnya kadar O_2 terlarut dalam air limbah. Fenomena yang terjadi dalam instalasi pengolahan limbah organik ini sama dengan yang terjadi di alam (Cheremisionoff, 1995). Sebagai contoh apabila air limbah organik masuk ke dalam sungai, maka pola proses penguraian yang terjadi pertama-tama konsentrasi O_2 turun drastis untuk penguraian organik karbon dan pada tahapan ini bakteri polisaprobik berkembang pesar, mulai muncul Siliata, kemudian diikuti fase alfa-mesosaprobik. Pada fase ini konsentrasi O_2 mencapai titik minimal dan secara perlahan-lahan konsentrasi O_2 mulai naik dan selanjutnya diikuti oleh fase-fase beta-mesosaprobik yang ditandai oleh adanya keseimbangan antara penggunaan oksigen dan suplai oksigen. Semakin menurun kandungan bahan organik limbah, semakin sedikit O_2 terlarut yang diperlukan untuk proses perombakan bahan organik, sehingga O_2 terlarutnya semakin meningkat. Kondisi ini ditandai dengan nilai BOD_5 dan COD yang tinggi, sedangkan O_2 terlarutnya rendah dan sebaliknya.

Di samping kerjasama sinergis antara bakteri dengan alga (fitoplankton) dalam perombakan bahan organik limbah, juga terjadi proses mangsa-memangsa atau aliran energi dalam rantai makanan, misalnya adalah : limbah ⟶ bakteri ⟶ protozoa ⟶ zooplankton. Mekanisme tersebut mengisyaratkan bahwa apabila pencemaran bahan organik, maka mekanisme penurunan bahan organik tersebut dapat melalui proses mineralisasi, rantai makanan, dan konsumsi langsung bahan organik tersebut.

Berdasarkan mekanisme perombakan bahan organik limbah ini juga dapat dijelaskan bahwa bakteri merupakan mikroorganisme pertama yang melakukan proses perombakan. Hal ini sesuai dengan pendapat Maeda (1992) yang menyatakan bahwa mikroorganisme pertama yang melakukan proses perombakan bahan organik limbah adalah bakteri. Energi yang dihasilkan dari proses perombakan tersebut selain digunakan untuk aktivitas metabolisme juga digunakan untuk membentuk biomassa sel baru, sehingga selama nutrien masih tersedia, maka biomassa sel bakteri ini akan diikuti dengan meningkatnya proses perombakan bahan organik limbah, sehingga kandungan bahan organik limbah menjadi turun yang ditandai dengan menurunnya nilai BOD_5 dan COD serta meningkatnya kadar oksigen terlarut. Apabila kandungan bahan organik limbah tinggal sedikit, maka biomassa sel bakteri menjadi berkurang. Hal ini di samping disebabkan oleh semakin berkurangnya ketersediaan nutrien, juga biasanya dibarengi dengan munculnya protozoa yang bersifat predator bagi bakteri. Protozoa ini akan

memakan bakteri dan merombak bahan organik yang tidak dapat dirombak oleh bakteri.

Perkembangbiakan mikroorganisme dalam air limbah dapat terjadi secara *"suspended film"* atau tersebar dalam massa air maupun *"fixed film"* atau berkembang dengan menempel pada suatu substrat. Pada sistem penanganan limbah dengan biofilm ini secara alami pada bagian permukaan substrat filter akan ditumbuhi mikroorganisme yang menempel sebagai lapisan film dan akan tumbuh mantap. Mikroorganisme yang tumbuh pada bagian permukaan filter tersebut akan merombak bahan organik yang ada dalam air limbah, sehingga kandungan bahan organiknya berkurang. Hal ini ditandai dengan menurunnya nilai BOD_5 dan COD serta meningkatnya kadar oksigen terlarut dalam air limbah.

Proses perombakan bahan organik limbah cair tapioka secara garis besar berupa proses perombakan karbohidrat, lemak, dan protein yang terkandung di dalamnya melalui suatu rangkaian reaksi kimia enzimatis yang dilakukan oleh mikroorganisme pengurai. Bahan organik kompleks berupa karbohidrat, lemak, dan protein yang terdapat dalam air limbah tapioka ini mula-mula diubah menjadi bentuk persenyawaan yang lebih sederhana berupa glukosa, gliserol, asam lemak, dan asam amino. Tahap selanjutnya adalah perombakan persenyawaan serderhana tersebut menjadi CO_2, H_2O, dan NH_4^+.

Perombakan bahan organik karbohidrat dalam bentuk pati akan mengikuti reaksi hidrolisis terlebih dahulu menjadi monosakarida-monosakarida, terutama glukosa. Selanjutnya glukosa ini akan mengalami

pemecahan pada tahap reaksi glikolisis. Pada tahap reaksi ini, mula-mula terjadi fosforilasi senyawa glukosa menjadi glukosa-6-fosfat, kemudian akan memasuki tahap reaksi berikutnya sampai terbentuk asam piruvat. Asam piruvat ini akan memasuki siklus Krebs sampai terbentuk hasil akhir berupa CO_2 dan H_2O.

Bahan organik lemak mula-mula akan dirombak menjadi asam lemak dan gliserol. Asam lemak ini selanjutnya akan dioksidasi lebih lanjut melalui rangkaian reaksi beta-oksidasi. Tahap pertama reaksi ini merupakan pengaktifan asam lemak menjadi asil KoA, kemudian mengalami dehidrogenasi membentuk alfa-beta-asil KoA tak jenuh, dan selanjutnya akan mengalami hidratasi membentuk L(+)beta-OH-asil KoA. . Tahap reaksi berikutnya adalah dehidrogenasi beta-OH-asil KoA menjadi beta-keto-asil KoA yang akan mengalami pembelahan tiolitik menjadi asetil KoA dan asil KoA. Asil KoA tersebut kemudian dapat memasuki reaksi beta-oksidasi lagi, sedangkan asetil KoA akan memasuki siklus Krebs sampai terbentuk CO_2 dan H_2O. Sementara itu gliserolnya akan mengalami fosforilasi menjadi dihidroksi aseton fosfat yang akan memasuki rangkaian reaksi glikolisis untuk menghasilkan energi atau langsung memasuki sintesa lemak kembali.

6.4. Studi Imobilisasi Sel

Proses-proses yang terjadi dalam lumpur aktif tersebut dapat dioptimalkan dengan imobilisasi sel mikroorganisme lumpur aktif pada media. Imobilisasi sel ini dapat dilakukan dengan merendam media tersebut ke dalam lumpur aktif yang berasal dari limbah yang akan diolah selama satu

atau dua hari, agar pori-pori media dapat terisi oleh sel mikroorganisme. Mekanisme ini termasuk adsorpsi yang terjadi secara fisik, kemudian oleh mikroorganisme tertentu secara biologis membentuk matrik biopolimer sehingga intensitas pelekatan sel mikroorganisme pada permukaan media padat semakin besar dan sel semakin sulit terlepas (Dias *et al.,* 1982). Mikro-organisme lumpur aktif yang telah menambatkan dirinya pada permukaan media ini akan tumbuh dan berkembang menjadi biofilm yang mampu menguraikan bahan organik komplek menjadi lebih sederhana.

Media yang digunakan harus berbahan kuat, keras, tahan tekanan, tahan lama, tidak mudah berubah, mempunyai bentuk tiga dimensi yang sama, tidak mudah menyumbat, mempunyai lapisan yang kasar dan kedap air. Media padat yang dapat dijadikan host di antaranya adalah batu kerikil, plastik, kaca, kayu dan batu apung. Perbedaan jenis media padat ini akan menghasilkan biofilm yang berbeda sehingga kemampuan biofilm dalam menurunkan BOD limbah cair akan berbeda pula. Hal ini berkaitan dengan banyak dan besarnya pori-pori (porositas) pada media serta strukturnya yang menjadi host mikroorganisme pendegradasi. Porositas yang semakin besar akan semakin baik karena mikroorganisme yang mampu menempel dan hidup di dalamnya semakin banyak dan komplek. Struktur media padat yang kuat akan mengurangi pengikisan dan desorpsi akibat gesekan antar media, sehingga media padat tersebut dapat dipergunakan berulang kali. Media tersebut harus mempunyai luas permukaan per unit volume yang tinggi, sehingga ukurannya antara 2,5-7,5 cm (Suriawiria, 1993).

Menurut Pramiyati (1994), media dapat berupa benda padat atau benda cair. Menurut Hashimoto dan Furukawa (1987), benda cair yang dapat dijadikan tempat aktivitas sel lumpur aktif adalah bahan-bahan polimer seperti Acrylamide, k-Carrgeenan, Ca-alginat dan PVA (Polyvinym-alkohol).

Menurut Peavy *et al.* (1986), ciri penting dari media adalah luas permukaan yang spesifik dan porositasnya. Luas permukaan yang spesifik menunjukkan jumlah luas permukaan media yang memungkinkan untuk pertumbuhan biofilm, sedangkan porositas adalah ukuran rongga hampa yang dapat dilalui air limbah dan udara serta sebagai ventilasi bagi gas yang terbentuk.

Menurut Tampion dan Tampion (1987), imobilisasi sel merupakan fenomena penempatan sel dalam suatu media sehingga ruang gerak sel menjadi terhambat, tetapi tidak menghambat aktivitasnya. Imobilisasi sel memiliki sifat stabil pada kisaran suhu yang besar, penyiapannya mudah dan dapat digunakan berulang kali (Tamion dan Tampion, 1987). Penerapan sistem lumpur aktif terimobilisasi pada media bertujuan untuk memperpendek waktu detensi dan memperkecil jumlah lumpur yang dihasilkan pada akhir proses pengolahan limbah cair. Keuntungan lain adalah tidak diperlukannya bahan kimia sebagai media, viabilitas sel tinggi, tidak terjadi hambatan difusional serta suplai oksigen dapat diabsorpsi ke dalam media (Suprihatin, 1993).

Lumpur aktif yang akan digunakan untuk proses imobilisasi sel terlebih dahulu mengalami proses pengaktifan dengan diaerasi secara terus-menerus. Kondisi aktif dari lumpur aktif tersebut secara fisik dapat dilihat dari

perubahan warnanya yang menjadi kecoklatan, sehingga siap untuk proses imobilisasi. Lumpur aktif yang telah terimobilisasi kemudian dilakukan proses aklimatisasi pada kondisi pengolahan yang akan diterapkan. Waktu yang diperlukan untuk proses aklimatisasi sangat tergantung kepada kondisi lumpur aktif yang digunakan. Lumpur aktif yang diambil dari IPAL yang berbeda dari limbah cair yang akan dijadikan substrat percobaan memerlukan waktu maksimum tujuh bulan untuk aklimatisasi secara sinambung. Apabila jenis limbah cair yang diolah sama, maka hampiur tidak diperlukan aklimatisasi (Tampion dan Tampion, 1987).

Imobilisasi lumpur aktif pada ijuk termasuk kategori imobilisasi sel secara adsorpsi, yaitu proses yang melibatkan permukaan bahan media, tanpa pengaruh zat toksis, dan tidak menyebabkan berkurangnya aktivitas sel. Pada metode adsorpsi dengan ijuk, imobilisasi sel dilakukan dengan cara meredamnya selama satu sampai dua hari dalam suspensi mikroorganisme lumpur aktif, agar pori-pori ijuk tersebut dapat terisi oleh mikroorganisme. Mekanisme yang awalnya terjadi secara fisik ini kemudian dilanjutkan oleh mikroorganisme tertentu dengan membentuk matrik biopolimer sehingga mengakibatkan intensitas pelekatan sel pada ijuk makin erat dan mikroorganisme sulit terlepas (Dias *et al.*, 1982).

Mikroorganisme menempelkan dirinya sendiri ke permukaan ijuk dan dalam waktu singkat membentuk semacam gelatin yang serupa lumpur sebagai hasil pertumbuhan *Zooglea*. Ukuran bahan tersebut cukup besar untuk dapat dilalui udara dan air yang diperuntukan bagi mikroorganisme (Dart dan Stretton, 1980). Penempelan mikroorganisme disertai terbentuknya

lapisan film yang tebal, kenyal dan seperti jelly pada permukaan ijuk menjadikan lapisan film tersebut sama fungsi pentingnya dengan lumpur aktif. Limbah cair yang melewati biofilm ini akan menjadikannya bekerja mendegradasi bahan organik. Partikel tersuspensu dan koloidal akan ditahan pada permukaannya yang lengket dan kemudian diuraikan menjadi bahan yang dapat larut. Oksigen terlarut dari limbah dan dari udara masuk ke rongga hampa media untuk menyediakan oksigen bagi reaksi aerobik pada permukaan film. Hasil proses metabolisme didifusikan ke luar dan dibawa oleh arus air dan udara melalui rongga hampa (Peavy *et al.*, 1985).

Metode imobilisasi memiliki kemampuan untuk bertahan terhadap kegagalan yang dapat diakibatkan oleh tingginya fluktuasi debit. Metode ini tetap stabil pada kondisi penghambatan yang disebabkan oleh perubahan suhu, waktu detensi yang relatif singkat dan tahan terhadap zat toksis.

Keragaman jenis mikroorganisme yang berhasil ditemukan tergolong rendah meskipun mempunyai jumlah sel yang tinggi. Hal ini berkaitan dengan kondisi lingkungan yang tercipta pada matrik imobilisator. Kondisi tersebut membuat habitat yang hanya sesuai untuk jenis mikroorganisme tertentu. Kesesuaian itu membuat mikroorganisme yang mampu tumbuh pada imobilisator akan bnerkembang dengan baik dan bertambah banyak. Hal ini sesuai dengan pendapat Dart dan Stretton (1980), bahwa populasi mikroorganisme sangat tergantung dari jenis limbah yang akan dikenai perlakuan, di samping telah diketahui bahwa dalam proses lumpur aktif populasi mikroorganismenya sangat spesifik dan mempunyai diversitas yang relatif rendah.

Faktor lain yang mempengaruhi kemampuan matrik padat sebagai imobilisator adalah porositas. Porositas tiap matrik padat berbeda-beda tergantung partikel penyusun dan proses pembuatannya. Bentuk partikel yang makin kecil membuat matrik yang terbentuk mempunyai porositas yang kecil pula. Perbedaan ini mempengaruhi konsentrasi oksigen terlarut dan kondisi aerob pada matrik padat. Hal ini berpengaruh pula pada jenis dan jumlah mikroorganisme yang tumbuh, sehingga aktivitas degradasinya akan berbeda pula. Tingkat degradasi yang terjadi secara tidak langsung dipengaruhi oleh tingkat porositas matrik padat.

Porositas pada matrik padat berfungsi sebagai jalur baru dalam penyediaan oksigen terlarut. Oksigen yang berasal dari difusi atau aerasi mekanik dapat disimpan sementara dalam pori-pori matrik untuk selanjutnya digunakan oleh mikroorganisme pendegradasi. Keberadaan oksigen dalam pori-pori juga akan membuat suasana matrik dan sekitarnya tetap terjaga dalam kondisi aerob, sehingga makin mendukung aktivitas mikroorganisme pendegradasi. Hal ini didukung pula oleh fungsi pori-pori sebagai ventilasi bagi gas-gas hasil metabolisme mikroorganisme pendegradasi, sehingga hasil metabolit yang merugikan dapat langsung dilepas ke udara. Kondisi tersebut sesuai dengan pendapat Peavy et al., (1985) bahwa karakteristik yang penting bagi matrik padat sebagai medium mikroorganisme adalah luas permukaan yang spesifik dan porositas matrik.

6.5. Pengujian Efektivitas Model IPAL

Berdasarkan pada hasil analisis parameter fisik, kimia dan biologi pada kombinasi pengolahan aerob dan anaerob menggunakan komunitas biofilm prospektif sekali untuk dikembangkan dalam suatu model IPAL. Model ini diperkirakan tepat untuk tapioka yang umumnya terletak di pedesaan. Model ini tentu saja masih dapat dikembangkan dan dimodifikasi sesuai dengan kondisi yang ada pada lokasi tempat pabrik berada.

Sampai saat ini memang belum ada konsep ekonomi yang baku untuik menghitung nilai banding biaya dan manfaat (benefit cost ratio) secara tepat yang dapat digunakan secara umum untuk investasi penanganan limbah. Meskipun demikian dengan mempertimbangkan manfaat-manfaat yang dapat dicapai, tanpa mengkonversikannya dalam bentuk finansial terlihat bahwa secara makro manfaat yang diperoleh secara tidak langsung dapat berfungsi sebagai faktor pendukung pertumbuhan ekonomi.

Manfaat yang diperoleh secara potensial antara lain : (1) Manfaat sosial; (2) Manfaat kesehatan; (3) Manfaat ekonomi; (4) Manfaat lingkungan. (1). Manfaat sosial antara lain dapat menghindari kemungkinan timbulnya gejolak masyarakat terhadap strategi pelaksanaan pembangunan pemerintah akan lingkungan hidup, kenyamanan penggunaan badan air baik untuk irigasi, perikanan maupun keperluan sehari-hari tanpa rasa cemas. (2). Manfaat kesehatan antara lain menghindari timbulnya beberapa penyakit akibat air tercemar secara epidemik (water borne desease); (3). Manfaat ekonomi terutama pada sektor penunjang pertanian; (4). Manfaat lingkungan menjaga kualitas lingkungan tanah dan air bawah tanah dari pencemaran.

Perhitungan biaya inventasi dan Pemeliharaan IPAL terpadu diperhitungkan dalam life time 20 tahun.

Pengoperasian IPAL ini yang direncanakan akan dioperasikan oleh dua orang operator/petugas bergantian, dengan tugas yang dilaklukan mengontrol energi pompa dan aerator nyala/mati dan memantau karakteristik air limbah effluen untuk parameter tertentu. Pemeliharaan yang harus dilakukan berupa perawatan pompa, aerator, instalasi listrik serta pengurasan bak sedimentasi secara periodik 6-12 bulan sekali.

Biaya operasional dan pemeliharaan yang diperlukan terdiri dari biaya listrik dan perawatan intern secara berkala.

Beban terpakai tiap hari :

- Penerangan taman		=	1,4 Kwh.
- Untuk aerator 12 jam	= 12 jam x 0,56 Kw	=	6,7 Kwh.
- Untuk pompa listrik	= 8 jam x 0,5 Kw	=	4,0 Kwh.
	Total beban terpakai tiap hari	=	12,1 Kwh.

Besarnya biaya listrik per bulan diperkirakan sebagai berikut :

- Pompa dan aerator	= 12,1 x Rp. 275,00 x 30	= Rp. 99.825,00
- Perawatan rutin		= Rp. 45.000,00
- Perawatan berkala		= Rp. 50.000,00
- Pembelian kapur		= Rp. 25.000,00
	Total biaya per bulan	= Rp. 219.825,00

Biaya operasional dan pemeliharaan per tahun = Rp. 219.825,00 x 12 bulan

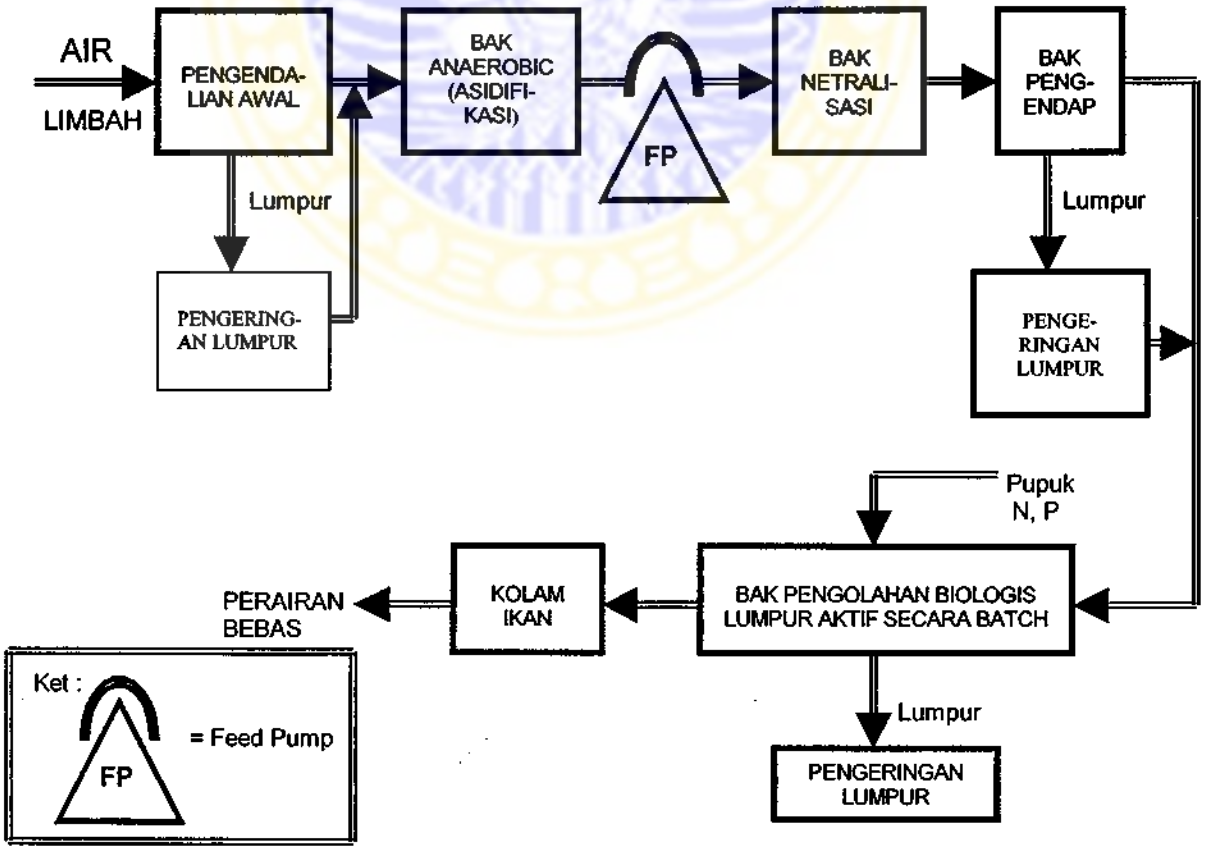
= Rp. 2.637.900,00

Dibulatkan = Rp. 2.650.000,00

ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga

Pengoperasian dan pemeliharaan IPAL dilakukan antara lain dengan melakukan pemantauan terhadap parameter kunci, sehingga keluaran/ effluen limbah dapat dideteksi secara teratur, dengan demikian dapat diketahui secara dini apakah IPAL masih beroperasi dengan baik atau tidak dan melakukan langkah-langkah penanggulangan apabila ada indikasi menurunnya fungsi IPAL yang direncanakan. Adapun prosedur secara rinci dijelaskan sebagai berikut. Pemeriksaan sampel/contoh dilakukan satu bulan sekali, sesuai dengan parameter-parameter kunci seperti : pH, TDS, BOD, COD dan CN.

Berdasarkan uraian di atas, model IPAL LCIT yang efektif dan efisien seperti Gambar 6.1.



Gambar. 6.1. Diagram Alir Proses Pengolahan Air Limbah Tapioka

Dari sudut kajian ekonomi, model IPAL seperti Gambar 6.1. tidak memerlukan biaya pembelian bahan kimia, biakan murni mikrobioorganisme seperti starbio dan bahan-bahan yang lain. Harga masing-masing koagulan per kilogram seperti pada Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Harga Jenis Koagulan per Kilogram

No.	Jenis Koagulan	Harga per Kilogram
1.	CaO	Rp. 800,00
2.	Al_2SO_4	Rp. 2.000,00
3.	Fe_2SO_4	Rp. 8.000,00
4.	$FeCl_3$	Rp. 8.500,00
5.	PAC	Rp. 12.500,00

Dengan sifat LCIT sebagai koloid yang hidrofilik menyebabkan kebutuhan akan koagulan sangat besar dan berakibat tingginya biaya pengolahan LCIT. Hal ini sangat berbeda dengan cara membiakan mikroorganisme indigen dan mikroorganisme eksogen tinja sapi dengan hampir-hampir tanpa biaya. Hal ini disebabkan ijuk dan tinja sapi ada di lingkungan pabrik tapioka.

BAB 7

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan pada penelitian yang telah dilaksanakan daoat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1). Dalam LCIT segar ditemukan dua jenis bakteri indigen yaitu *Erwinia hervicola* dan *Corynebacterium helvelum*. Keanekaragaman jenis bakteri berubah sejalan dengan umur atau intensitas biodegradasi. Dalam tinja sapi ditemukan enam genus bakteri yaitu *Bacteriodes, Butirivibrio, Desulfovibrio, Methanobacterium, Ruminococcus* dan *Selenomonas*.

2). Komunitas lumpur aktif yang diperkaya dengan tinja sapi adalah bakteri amilolitik kelompok *Pseudomonas*, sedangkan komunitas biofilm terdiri dari bakteri dan fungi amilolitik.

3). Penambahan tinja sapi 30 % berpengaruh paling besar dalam proses biodegradasi.

4). Kombinasi bioreaktor anaerob dan aerob berpengaruh terhadap penurunan BOD, COD, TSS dan HCN. Efisiensi penurunan antara 80-90 %.

5). Pengolahan LCIT secara aerob dan anaerob sendiri-sendiri efisiensinya lebih kecil (60-70 %) dibanding kombinasi (80-90 %).

6). Waktu detensi 72 jam paling optimal dalam proses biodegradasi LCIT.

ADLN-Perpustakaan Universitas Airlangga

7.2. Saran

1). Model IPAL LCIT kombinasi anaerob dengan aerob menggunakan komunitas biofilm sangat sesuai diaplikasikan pada pabrik tapioka skala kecil di pedesaan.

2). Model IPAL ini mensyaratkan ketersediaan lahan yang luas. Untuk aplikasinya pertimbangan harga lahan dan adanya program daur ulang dalam pemakaian air effluen IPAL sebagai sarana ekstraksi pati.

3). Perlu diadakan penelitian dan pengembangan lebih lanjut dari model IPAL.

DAFTAR PUSTAKA

APHA. 1985. Standard method for examination of waste water. American Public Health Association Inc. New York.

Cheremisinoff, P.N. 1995. Handbook of water and waste water treatment technology. Marcell Decker, Inc. New York, Bozel, Hongkong.

Choliq, A.V. 1993. Pengolahan limbah organik sistem RBC. Seminar Nasional Pengelolaan Lingkungan Tantangan Masa Depan. 7-8 September 1992. Jurusan Teknik Lingkungan ITB. Bandung.

Conway, R.A. and Rose. 1977. Handbook of industrial waste disposal. Van Norstand Renihold. New York.

Darmosuwito. 1992. *Nitrifikasi.* **Penanganan Limbah Secara Hayati.** 24 Pebruari 1992. Pusar Antar Universitas (PAU) Bioteknologi. UGM. Yogyakarta.

Dart, T.K. and R.J. Stretton. 1980. Microbiological aspects of pollution control. Elsevier Scientific Co. Inc. Amsterdam.

Dias, S.M., J.M. Novais and J.S. Cabral. 1982. Immobilization of yeast on titanium In organic supports. **Biotechnology Letters.** 4 : 203-208.

Eckenfelder. 1981. Waste water technology. Meadowfield Press. Durham.

Ellis, K.V. 1989. Surface water pollution and its control. Mac Millan. New York.

Grubb, R.B. 1987. Basic microbiology for waste water treatment. Mc Graw Hill Book Co. New York.

Harsono, E. 1991. Mikroorganisme dalam opera biokimia bungin. **Warta Limnologi.** 09. Pusat Pengembangan dan Penelitian Limnologi. LIPI. Bogor.

Hashimoto, S. and K. Furukawa. 1987. Imobilization of activated sludge by PVA-boric acid method. **Biotech and Bioengeenering.** Vol. XXX. 52-59. Jhon Willey and Sons, Inc. New York.

Jenie, B.S.L. dan W.P. Rahayu. 1993. Penanganan limbah industri. Penerbit Kanisius. Yogyakarta.

Lingga, P. 1981. Petunjuk penggunaan pupuk. Penebar Swadaya. Jakarta.

Lukman. 1989. Perancangan lumpur aktif. **Warta Limnologi**. 07. Pusat Pengembangan dan Penelitian Limnologi. LIPI. Bogor.

Maeda, Y. 1992. Laboratory experiments on activated sludge treatment dalam kursus singkat manajemen limbah industri pangan. PAU Pangan dan Gizi UGM. Yogyakarta.

Mahida, U.N. 1984. Pencemaran air dan pemanfaatan limbah industri. Rajawali. Jakarta.

Mandey, Lucia. 1998. Pengolahan limbah cair industri kelapa. **Disertasi**. Universitas Airlangga. Surabaya.

Metcalf and Eddi. 1991. Waste water engeneering treatment, disposal and reuse. 3^{ed}. Mc Graw Hill Inc. Singapore.

Nurcahyo. 1993. Pengolahan limbah cair tahu dengan enceng gondok. **Skripsi**. Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.

Odum, E.P. 1971. Fundamental of ecology. W.B. Saunders Company. Phylladelpia.

Peavy, H.S., Donald, R.R. and George, T. 1986. Environmental engeneering. Mc Graw Hill Book Company. Singapore.

Picot, B., El Halouani, H., Casselas, C., Moersidik, S. and Bontoux, J. 1991. Nutrient removed by high rate pond system in a mediteranian climate (France). **Nat. Sci. Tech.** Kyoto. 1535-1541.

Pramiyati. 1994. Pengolahan limbah cair tapioka secara aerobik biofilter. Balai Teknik Kesehatan Lingkungan. Yogyakarta.

_____ 1995. Pengolahan limbah kilang minyak PPT Migas Cepu. Balai Teknik Kesehatan Lingkungan. Yogyakarta.

Said, E.G. dan S. Nurcahyo. 1993. Kajian parameter perancangan bio-reaktor aerobik untuk limbah cair pabrik kelapa sawit. Seminar Nasional Penanganan Limbah Industri Tekstil dan Limbah Organik. Persatuan Alumni dari Jepang (PERSADA) Cabang Bogor. Bogor.

Syafila Mindriani. 1997. Pengaruh umur lumpur pada kinetika biodegradasi sianida. **Jurnal Teknik Lingkungan**. Vol. 3 No. 1. April.

Soeryani, M. 1986. Gulma di Indonesia. Pusat Penelitian Sumber Daya Manusia dan Lingkungan (PPSML). UI. Jakarta.

_____ . 1988. Ilmu lingkungan. Pusat Penelitian Sumber Daya Manusia dan Lingkungan (PPSML). UI. Jakarta.

Soetarto, Endang S. 1989. Kursus Singkat penanganan limbah secara hayati. PAU Bioteknologi UGM. Yogyakarta.

Sosrosudirjo. 1985. Ilmu memupuk. Jambatan. Jakarta.

Steel, S.G. dan J.H. Torrie. 1989. Prinsip dan prosedur statistik suatu pendekatan biometrik. Penerbit PT. Grasubstrat. Jakarta.

Sugiharto. 1987. Dasar-dasar pengolahan air limbah. Penerbit UI. Jakarta.

Suprihatin. 1993. Perancangan bioreaktor aerob untuk pengolahan limbah cair agroindustri. **Tesis**. Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor.

Suriawiria, U. 1993. Mikrobiologi air dan dasar-dasar pengolahan buangan secara biologis. Penerbit Alumni. Bandung.

Suwarso, A.S. Siregar, S. Santoso S.P., Warsinah dan Hernayanti. 1995. Pengolahan limbah individu buangan rumah tangga sistem rembesan (Trickling filter) dengan media yang berbeda. **Laporan Penelitian**. Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.

Tampion, J. and D.M. Tampion. 1987. Imobilized cell, principle and aplication. Cambridge University.

Tejo Baskoro. 1994. Mikrobiologi umum. Gajah Mada Press. Yogyakarta.

Viridians, R. 1999. Bioremediation. Mc Graw Hill Book Company. New York.

Vriens, H. 1978. Continous culture in microbiol physiology and ecology. Meadofield Press. Durham.

Wang, R. 1978. The possibility of anaerobic treatment of waste water from agroindustri. Kolbush and Partner. Chemical Engeneers. Amtzel. W. Germany.

Wardhana. 1995. Lumpur aktif untuk mengolah limbah cair industri rokok. **Skripsi**. Fakultas Biologi Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.

Wisjnuprapto. 1992. Prinsip dasar pengendalian pencemaran air. PAU Bioteknologi ITB. Bandung.

MILIK
PERPUSTAKAAN
UNIVERSITAS AIRLANGGA
SURABAYA

Lampiran 1. Alat-alat, Spesifikasi, Kegunaan, Bahan dan Metode Pada Analisis BOD_5, COD, TSS dan HCN

No.	Nama Alat	Spesifikasi	Kegunaan
1.	Alat refluk	Terbuat dari kondensator dan erlenmeyer 250 cc dengan sistem ground glass joint	Mempercepat bercampurnya reagen dan mendinginkan larutan setelah refluk
2.	Batu didih	Porselen	Mempercepat dan meratakan panas
3.	Pemanas listrik	220 v	Sumber panas
4.	Buret	50 ml, 25 ml, semi automatis	Titrasi
5.	Dispenser	Volume 30 ml	Membagi H_2SO_4
6.	Pipet	50 ml, 20 ml, 10 ml	Meneteskan reagen dan alat ukur volume
7.	Erlenmeyer	250 ml, 100 ml	Tempat sampel
8.	Botol Winkler	450 ml, 520 ml	Botol BOD
9.	Inkubator	-	Inkubasi BOD
10.	Gelas piala	-	Kalibrasi larutan
11.	pH meter	-	Mengukur keasaman, kebasaan
12.	Corong dan kertas saring	-	Memisahkan dan menyaring
13.	Alat destilasi	Kaca boro silikat	Destilasi
14.	Spektrofotometer	-	Mengukur adsorban, tranmitran larutan
15.	Jar test	-	-
16.	Kolorimeter	-	Mengukur kadar HCN
17.	Oven	-	Mengeringkan
18.	Timbangan analitis	-	Menimbang berat

Bahan-bahan yang Digunakan Pada Analisis

No.	Nama Bahan	Kegunaan
1.	Aquadest	Pengencer, pelarut
2.	$MnSO_4$	Pengikat O_2
3.	KOH-KI	Pembebas Iodin
4.	Amilum	Indikator
5.	$Na_2S_2O_3$	Larutan baku titrasi
6.	H_2SO_4 pekat	Pelarut
7.	HgSO4	Oksidator
8.	$K_2Cr_2O_7$	Oksidator
9.	$KMnO_4$	Oksidator
10.	Ferroin	Indikator
11.	Ag_2SO_4	Reagen
12.	FAS (Ferro Amonium Sulfat)	Larutan baku titrasi
13.	Nutrient Agar (NA)	Media
14.	Plate Count Agar (PCA)	Media
15.	Agar selektif	Media
16.	Tinja Sapi	Parameter

Metode Yang Digunakan

No.	Parameter	Metode
1.	BOD	Winkler
2.	COD	Titrimetri Kabel Timan
3.	TSS	Gravimetri
4.	HCN	Kolorimetri