



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGOLAHAN BIOLOGIS LIMBAH BATIK DENGAN
MEDIA BIOFILTER**

SKRIPSI

**SUCIPTA LAKSONO
0806459601**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGOLAHAN BIOLOGIS LIMBAH BATIK DENGAN
MEDIA BIOFILTER**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata satu
Teknik Lingkungan**

**SUCIPTA LAKSONO
0806459601**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPOK
JULI 2012**



UNIVERSITY OF INDONESIA

**BIOLOGICAL TREATMENT FOR BATIK WASTE USING
BIOFILTER PROCESS**

FINAL REPORT

**Submitted as one of the requirements needed to obtain the Environmental
Engineering Bachelor Degree**

**SUCIPTA LAKSONO
0806459601**

**FACULTY OF ENGINEERING
ENVIRONMENTAL ENGINEERING STUDY PROGRAM
DEPOK
JULY 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Sucipta Laksono

NPM : 0806459601

Tanda Tangan : 

Tanggal : 3 Juli 2012

STATEMENT OF ORIGINALITY

This final report is the result of my own work, and all sources which are quoted or referred I have stated correctly.

Nama : Sucipta Laksono

NPM : 0806459601

Tanda Tangan :



Tanggal : 3 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Sucipta Laksono
NPM : 0806459601
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul Skripsi : Pengolahan Biologis Limbah Batik dengan Media Biofilter

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian dari persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Lingkungan pada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA.

Pembimbing : Ir. Elkhobar M. Nazech, M.Eng.

Penguji : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, SE., M.Eng.

Penguji : Dr. Cindy R. Priadi, ST., M.Sc.

Ditetapkan di : Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia,
Depok

Tanggal : 3 Juli 2012

STATEMENT OF LEGITIMATION

This final report is submitted by :

Name : Sucipta Laksono
Student Number : 0806459601
Study Program : Environmental Engineering
Title of Final Report : Biological Treatment of Batik Waste Using Biofilter
Process

Has been successfully defended in front of the Examiners and was accepted as part of the necessary requirements to obtain Engineer Bachelor Degree in Environmental Engineering Program, Faculty of Engineering, University of Indonesia.

COUNCIL EXAMINERS

Counselor : Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA.

Counselor : Ir. Elkhobar M. Nazech, M.Eng.

Examiner : Dr. Ir. Djoko M. Hartono, SE., M.Eng.

Examiner : Dr. Cindy R. Priadi, ST., M.Sc.

Approved at : Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of
Indonesia, Depok

Date : July 3th 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat kasih dan rahmat-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Lingkungan pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dan mendukung selama pengerjaan skripsi ini:

1. Dr. Ir. Setyo Sarwanto Moersidik, DEA dan Ir. Elkhobar M. Nazech, M.Eng., selaku dosen pembimbing yang bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan dan pengarahan selama pengerjaan skripsi;
2. Dr. Ir. Djoko M. Hartono, SE., M.Eng dan Dr. Cindy R. Priadi, ST., M.Sc., selaku dosen penguji sidang seminar dan skripsi yang telah memberikan kritik dan saran dalam pengerjaan skripsi;
3. PT. JABABEKA Infrastruktur, terutama Erbert Ferdy Destian, yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang diperlukan dan memberikan izin untuk melakukan penelitian;
4. Para Dosen Pengajar Program Studi Teknik Lingkungan Universitas Indonesia;
5. Orang tua dan saudara yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral;
6. Keluarga besar Laboratorium Struktur dan Material Departemen Teknik Sipil, terutama Dr. Ir. Elly Tjahjono, DEA dan Ir. Essy Aryuni, Ph.D;
7. Teman-teman Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan Universitas Indonesia angkatan 2008 yang telah memberikan semangat dan dukungan;
8. Semua pihak yang telah banyak membantu penyelesaian skripsi.

Semoga Tuhan Yang Maha Esa memberikan rahmat kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama ini. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 3 Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai civitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sucipta Laksono
NPM : 0806459601
Program Studi : Teknik Lingkungan
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGOLAHAN BIOLOGIS LIMBAH BATIK DENGAN MEDIA BIOFILTER

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media atau formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 3 Juli 2012

Yang menyatakan



(Sucipta Laksono)

ABSTRAK

Nama : Sucipta Laksono
Program Studi : Teknik Lingkungan
Judul : Pengolahan Biologis Limbah Batik dengan Media Biofilter

Batik merupakan salah satu kerajinan dan menjadi pendapatan yang besar untuk Indonesia, bertambahnya jumlah pengrajin batik mengakibatkan limbah batik yang dihasilkan semakin banyak. Limbah pewarna batik berbahaya bila dibuang ke badan sungai tanpa dilakukan pengolahan terlebih dahulu. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui efisiensi dari pengolahan biologis dengan media biofilter dalam mengolah air limbah pewarna industri batik. Air limbah yang dipergunakan berasal dari Pengolahan limbah cair JABABEKA yang telah melalui proses fisika dan kimia yang kemudian dimasukkan ke dalam media biofilter dengan skala laboratorium dengan volume sebesar 32 liter. Proses penelitian ini meliputi *seeding* yaitu proses pembiakan bakteri yang berasal dari air limbah perut sapi, aklimatisasi selama 32 hari, dan *feeding* merupakan proses pengurangan konsentrasi kimia pada air limbah selama 7 hari. Efisiensi dari pengolahan biologis dengan media biofilter dalam mengurangi kandungan senyawa kimia (COD) sebesar 41% sampai 90% dengan pH diantara 7-8 dengan waktu tinggal 8 jam dengan BOD (*Biological Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) ratio 0,51. Pengolahan dengan biofilter dapat menjadi satu alternatif pengolahan limbah batik untuk mengurangi kandungan materi organik.

Kata kunci :
biofilter, COD, *seeding*, aklimatisasi, *feeding*

ABSTRACT

Name : Sucipta Laksono
Study Program : Environmental Engineering
Title : Biological Treatment of Batik Waste Using Biofilter Process

Batik is the art and also a source of income for Indonesia , the increasing of batik industry make the waste water dyes increase. Waste batik dyes hazardous when disposed into the river without treatment. The purpose of this study to determine the efficiency of biological treatment with a biofilter media treating wastewater in dye batik industry. Wastewater for this experiment comes from wastewater treatment Jababeka and already treated by physical and chemical process, Industrial wastewater *effluent* fed into a laboratory-scale biofilter media that has a volume 32 liters. Microorganisms that are bred from rumen waste water. The research process involves seeding, acclimatization, and feeding process. Seeding is the breeding process of bacteria, acclimatization is the process of adaptation of microorganisms or bacteria in wastewater batik, and feeding is a process of reduction of chemical concentrations in wastewater. The efficiency of biological treatment with a biofilter media in reducing the *Chemical Oxygen Demand* (COD) by 41% to 90% with a pH between 7-8 with a residence time of 8 hours with a BOD (*Biological Oxygen Demand*) and COD ratio of 0.51 .Treatment with the biofilter can be an alternative waste treatment to reduce the organic content of batik.

Key words :
biofilter, COD, seeding, acclimatization, feeding

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PAGE OF TITLE	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
STATEMENT OF ORIGINALITY	iv
STATEMENT OF LEGITIMATION	vi
KATA PENGANTAR	vii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Batik.....	5
2.2 Proses Produksi Batik	6
2.2.1 Lilin pada Batik	6
2.2.2 Zat Pewarna Batik (Warna)	9
2.2.2.1 Zat Warna Alami	9
2.2.2.2 Zat Warna Sintetis (Buatan)	11
2.3 Proses Pembuatan Batik.....	15
2.3.1 Perlekatan Lilin Batik	18
2.3.2 Pewarnaan Batik	19
2.3.3 Menghilangkan Lilin.....	19
2.4 Limbah Industri Batik.....	20
2.5 Parameter Penelitian	22
2.5.1 <i>BioChemical Oxygen Demand / BOD</i>	22
2.5.2 <i>Chemical Oxygen Demand / COD</i>	24
2.6 Pengolahan Limbah Cair (Fisika, Kimia, dan Biologis).....	31
2.6.1 <i>Preliminary Treatment</i>	31
2.6.1.1 <i>Screening</i>	32
2.6.1.2 Ekualisasi	32
2.6.2 <i>Primary Treatment</i>	33
2.6.2.1 Sedimentasi.....	33
2.6.2.2 Floatasi.....	34
2.6.2.3 Netralisasi	34
2.6.2.4 Koagulasi dan Flokulasi.....	35

2.6.3	<i>Secondary Treatment</i>	37
2.6.4	<i>Tertiary Treatment</i>	39
2.7	Hasil-hasil Penelitian Pengolahan Limbah Cair Industri Batik	40
2.7.1	<i>Fixed-Bed Anaerob-Aerob</i>	41
2.7.2	<i>Aerobic Roughing Filter</i>	42
2.7.3	Koagulasi dengan <i>Aerob-Anaerob</i>	42
2.7.4	Elektrokoagulasi	43
2.7.5	Aplikasi Bio-ball untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean	43
2.7.6	Pengolahan Biologis Air Limbah Pewarna Menggunakan <i>Trickling Filter</i>	46
2.7.7	Pengaruh pH pada potensi bioremediasi untuk menghilangkan konsentrasi pewarna dengan menggunakan <i>Aspergillus Niger</i>	47
2.8	Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter <i>Anaerob</i>	50
2.8.1	Media Biofilter	52
2.8.2	Biofilter <i>Aerob</i> dan <i>Anaerob</i>	52
2.8.3	Biofilter dengan Aerasi	52
2.8.4	Keuntungan Biofilter	53
2.8.5	Kriteria dan Klasifikasi Biofilter <i>Trickling Filter</i>	54
2.9	Pengolahan Limbah Batik Kota Industri JABABEKA	56
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		59
3.1	Tipe Penelitian	59
3.2	Lokasi Studi	59
3.3	Waktu dan Tempat Penelitian	59
3.4	Metode Penelitian	59
3.4.1	Kerangka Kerja	59
3.4.2	Pengambilan Sampel	60
3.4.3	Proses Biologis Penelitian Air Limbah Batik	61
3.5	Variabel Penelitian	68
3.6	Data Penelitian	68
3.6.1	Pengukuran Sampel Air Limbah Batik	68
3.6.2	Pengukuran Sampel Air Limbah Batik Setelah Melalui Pengolahan	69
3.6.3	Pengumpulan Data	69
3.7	Analisis Data	69
BAB 4 Hasil dan pembahasan penelitian		72
4.1	Perancangan Bio Reaktor (Media Biofilter)	72
4.2	Proses Pembuatan Biofilm Pada Media Biofilter (<i>Seeding</i> Bakteri)	73
4.3	Proses Pelaksanaan Aklimatisasi	78
4.4	Proses Pelaksanaan <i>Feeding</i>	84
BAB 5 PENUTUP		95
5.1	Kesimpulan	95
5.2	Saran	95
DAFTAR PUSTAKA		97
LAMPIRAN		104

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik dan Kualitas Tipe Dasar Lilin	8
Tabel 2.2 Jenis Pewarna Indigosol.....	13
Tabel 2.3 Kadar dan Beban Pencemaran Maksimum Air Limbah Tekstil Menurut Peraturan Daerah.....	21
Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Tekstil	21
Tabel 2.5 Pengendapan Partikel dalam Air.....	36
Tabel 2.6 Koagulasi pada Limbah Tekstil	37
Tabel 2.7 Parameter industri batik	41
Tabel 2.8 Pengaruh <i>Influen</i> terhadap Efisiensi Penghilangan COD	45
Tabel 2.9 Hasil Penelitian Terkait dengan Karakteristik Limbah Batik	49
Tabel 2.10 Variasi Teknologi Pengolahan Limbah Batik.....	49
Tabel 2.11 Klasifikasi <i>Trickling Filter</i>	54
Tabel 2.12 Klasifikasi Material atau Media Filter pada <i>Trickling Filter</i>	54
Tabel 2.13 Klasifikasi Jenis Air Limbah	55
Tabel 2.14 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter.....	55
Tabel 3.1 Spesifikasi Media Biofilter yang Dipergunakan.....	63
Tabel 3.2 Spesifikasi Reaktor Biofilter.....	64
Tabel 3.3 Tahapan Aklimatisasi (Durasi 3 Hari)	68
Tabel 3.4 Matrix penelitian.....	71
Tabel 4.1 Hasil Pengujian COD Limbah Perut Sapi Tanggal 24 April 2012	74
Tabel 4.2 Hasil Pengujian COD Limbah JABABEKA	76
Tabel 4.3 Tahapan Aklimatisasi.....	79
Tabel 4.4 COD <i>Influen</i> Batik JABABEKA pada Proses Aklimatisasi.....	81
Tabel 4.5 COD <i>Effluen</i> dengan Persen <i>Removal</i> Batik JABABEKA pada Saat Aklimatisasi	81
Tabel 4.6 Data <i>Influen</i> dan <i>Effluen</i> pada Proses <i>Feeding</i>	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Zat Kimia Penguat Warna.....	10
Gambar 2.2 Zat Pewarna Sintesis	11
Gambar 2.3 Reaksi Formaldehid pada Larutan Napthol.....	13
Gambar 2.4 Ikatan Molekul Indigosol	14
Gambar 2.5 Proses Pematikan Secara Tulis.....	16
Gambar 2.6 Proses Pematikan Secara Cap	16
Gambar 2.7 Proses Batik Tulis (Proses 1-5).....	17
Gambar 2.8 Proses Batik Tulis (Proses 6-11).....	18
Gambar 2.9 Proses siklus nitrogen.....	27
Gambar 2.10 Oksidasi Biologis dari Buangan organik.....	38
Gambar 2.11 Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean dengan Biofilter	44
Gambar 2.12 Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penghilangan COD di dalam Reaktor Biofilter	45
Gambar 2.13 Skematik Diagram Penelitian Skala Pilot <i>Trickling Filter</i>	47
Gambar 2.14 Grafik Hubungan antara COD dengan pH.....	47
Gambar 2.15 Diagram hubungan antara COD dengan pH	48
Gambar 2.16 Proses Pengolahan Limbah Batik di JABABEKA.....	56
Gambar 2.17 Bak Penampung dan <i>Influen</i> Air Limbah.....	57
Gambar 2.18 Bak Sedimentasi.....	57
Gambar 2.19 Bak Pembubuhan Bahan Kimia	58
Gambar 2.20 Bak Pengadukan Lambat.....	58
Gambar 2.21 Bak <i>Overflow</i> Lamela atau Bak Pengendapan	58
Gambar 3.1 Diagram Skema Penelitian.....	62
Gambar 3.2 Bioball	63
Gambar 3.3 Reaktor Biologis.....	65
Gambar 3.4 Proses <i>Seeding</i>	67
Gambar 4.1 Ukuran Bio Ball	72
Gambar 4.2 Bio Reaktor	73
Gambar 4.3 Limbah Cucian Perut Sapi	75
Gambar 4.4 Proses <i>Seeding</i>	78
Gambar 4.5 Grafik COD pada Proses Aklimatisasi.....	82
Gambar 4.6 Grafik Persen <i>Removal</i> COD	82
Gambar 4.7 Proses Aklimatisasi	84
Gambar 4.8 Proses <i>Feeding</i>	85
Gambar 4.9 Proses Pengukuran Debit	86
Gambar 4.10 Grafik COD dengan Konsentrasi N dan P serta <i>Removal</i>	88
Gambar 4.11 Grafik Hubungan antara COD dengan pH.....	92
Gambar 4.12 Grafik <i>Removal</i> pada Proses Aklimatisasi Maupun <i>Feeding</i>	94

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air merupakan salah satu unsur yang diperlukan oleh makhluk hidup salah satunya manusia. Tubuh manusia terdiri dari 55% sampai 78% air, hal ini membuat kualitas air harus tetap dijaga. Penurunan mutu air disebabkan oleh bertambahnya jumlah penduduk. Pencemaran air atau penurunan mutu air diakibatkan oleh jumlah manusia dan kegiatan manusia yang beraneka ragam serta kegiatan industri atau pabrik yang berakibat buruk bagi lingkungan. Pencemaran air ini dapat terjadi karena buangan limbah cair yang dihasilkan oleh industri atau pabrik yang tidak dikelola sebagaimana mestinya dan dibuang begitu saja ke aliran air atau permukaan tanah disekitarnya.

Industri batik secara ekonomi cukup memberikan pendapatan yang besar kepada negara, baik dari segi penyerapan tenaga kerja maupun pemasukan devisa dan pajak. Permintaan pasar untuk konsumsi lokal dan luar negeri terbuka luas sehingga memberikan peluang yang besar untuk perkembangan industri ini. Saat ini pemasaran batik selain untuk konsumsi lokal juga telah menembus pasar luar negeri antara lain pasar Eropa dan Amerika.

Walaupun industri batik sudah menggunakan teknologi modern, akan tetapi pembuatan batik secara tradisional masih menjadi usaha sebagian besar masyarakat di daerah penghasil batik seperti Jateng, DI Yogyakarta, Jatim, Jabar, dan daerah-daerah lain di luar Jawa.

Pembuatan batik secara tradisional menimbulkan sisi negatif, banyak industri batik yang mengalirkan buangan limbah cairnya ke aliran-aliran air disekitarnya, sehingga menyebabkan beberapa hal, seperti aliran air yang semakin tercemar, merusak kehidupan air (ikan, mikroorganisme, dan lain-lain), merusak ketersediaan air untuk kepentingan umum (misalnya: fasilitas rekreasi dan fasilitas belanja) serta tidak layak sebagai sumber persediaan air bersih. Aliran air tersebut juga tidak menjadi sehat sebagai persediaan air industri.

Dalam proses produksinya, industri batik banyak menggunakan bahan-bahan kimia dan air. Bahan kimia ini biasanya digunakan pada proses pewarnaan

atau pencelupan. Pada umumnya polutan yang terkandung dalam limbah industri batik dapat berupa logam berat, padatan tersuspensi, atau zat organik. Oleh karena itu apabila air buangan batik ini dialirkan langsung ke lingkungan tanpa adanya pengolahan terlebih dahulu, maka akan menurunkan kualitas lingkungan dan merusak kehidupan yang ada di lingkungan tersebut.

Limbah industri tekstil yang langsung dibuang ke sungai dapat menimbulkan pencemaran berupa: perubahan warna, bau dan rasa pada air; terhambat dan hilangnya aktivitas biologi perairan; pencemaran tanah dan air tanah; serta perubahan fisik tumbuhan, binatang dan manusia oleh zat kimia.

Berdasarkan peraturan pemerintah mengenai air buangan, persyaratan air secara fisik meliputi kekeruhan, suhu, bau dan rasa. Kualitas air secara kimia meliputi pH, kandungan senyawa dalam air, kandungan residu atau sisa. Sedangkan kualitas air secara biologis, khususnya secara mikrobiologis ditentukan oleh parameter mikroba pencemar.

Air normal memenuhi persyaratan untuk dapat digunakan dalam suatu kehidupan mempunyai pH berkisar antara 6,5 – 7,5. Air yang mempunyai pH lebih besar dari pH standar akan bersifat basa sedangkan pH lebih kecil akan bersifat asam. Air limbah dan buangan dari kegiatan industri yang dibuang ke badan air umumnya akan mengubah pH sehingga dapat mengganggu kehidupan organisme di dalam air.

Parameter pencemaran air buangan industri tekstil maupun batik berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. KEP-51/MENLH/10/1995 meliputi BOD, COD, TSS, Fenol Total, Amonia Total, Sulfida, Minyak dan Lemak, yang terakhir PH. Langkah yang harus dilakukan untuk mengurangi pencemaran, khususnya pencemaran air adalah dengan mengolah air buangan tersebut sebelum dibuang ke badan air.

Melihat permasalahan ini, perlu dilakukan suatu usaha untuk menurunkan parameter pencemar dengan melakukan pengolahan limbah cair batik secara fisika, kimiawi, dan biologis. Penelitian ini lebih ditekankan pada upaya memaksimalkan proses pengolahan biologis untuk mengurangi parameter pencemaran yang ada. Pada akhir penelitian akan dilakukan uji parameter pencemar sesuai KEP-51/MENLH/10/1995.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian tersebut diatas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

1. Apakah proses biologi dengan teknologi sederhana dapat menurunkan kadar pencemar pada limbah cair industri batik?
2. Seberapa besarkah efektifitas penggunaan proses biologis dapat menurunkan kadar COD ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui efisiensi proses pengolahan biologis pada parameter COD limbah cair industri batik.
2. Mengetahui pengaruh proses biologi terhadap kadar COD pada limbah cair industri batik.
3. Memberikan alternatif teknologi pengolahan biologis sederhana dalam mengolah limbah industri batik.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan alternatif teknologi pengolahan sederhana untuk mengolah limbah cair industri batik.
2. Memberikan teknologi pengolahan limbah biologis sederhana pada pengusaha industri batik kecil dan menengah
3. Sebagai referensi kepada penelitian berikutnya agar mencoba teknologi pengolahan biologis lainnya, sehingga kedepannya akan mendapatkan data dan menyempurnakan pengolahan biologis sederhana dalam menurunkan kadar COD pada pengolahan limbah cair industri batik.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian yang akan dilakukan adalah :

1. Limbah cair batik yang akan dipergunakan adalah limbah cair industri batik dari JABABEKA.

2. Pengolahan limbah cair batik difokuskan kepada *biological* (biologis) dengan parameter kunci penelitian pengolahan limbah industri batik adalah COD dengan pH dan BOD sebagai pendukung.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi mengenai latar belakang permasalahan, perumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan penelitian, sistematika penulisan.

BAB 2 : KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini dijelaskan teori-teori yang menjadi dasar analisis dan pembahasan. Teori-teori yang perlu dikaji untuk penelitian ini yaitu pengertian batik, komponen utama pada pembatikan, proses pembuatan batik, limbah industri batik, karakteristik limbah industri batik, proses pengolahan limbah cair (fisika, kimia, dan biologis), pengolahan limbah industri, dan proses pengolahan limbah dengan media biofilter.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi mengenai metode yang digunakan dalam penulisan skripsi, seperti penelitian yang dilakukan, langkah-langkah pengambilan data, cara pengolahan data, langkah-langkah analisis data, langkah-langkah pemecahan masalah, dan pemilihan studi literatur.

BAB 4 : PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini dilakukan pengolahan data dan analisis data dengan membandingkan kualitas air limbah industri batik sesuai dengan ketentuan pemerintah mengenai limbah industri KEP-51/MENLH/10/1995 sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan serta membahas dengan membandingkan dengan literatur yang didapat.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini terdapat kesimpulan yang diambil berdasarkan tujuan penelitian, kajian pustaka, dan analisa. Pada bab ini juga terdapat saran yang diberikan oleh penulis yang berkaitan dengan penelitian pengolahan limbah biologis.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Batik

Batik adalah karya seni rupa pada kain dengan teknik pewarnaan rintang, yang menggunakan lilin batik sebagai perintang warna (berdasarkan konsensus Nasional 12 Maret 1996). Oleh karena kerajinan batik merupakan sebuah karya seni rupa, maka nilai sebuah batik sangat ditentukan oleh kadar seninya (estetikanya). Menurut Konsensus tersebut dapat diartikan bahwa yang membedakan batik dengan tekstil pada umumnya adalah proses pembuatannya (Riyanto, dkk.1997).

Batik adalah suatu karya seni pada sehelai kain dengan berbagai corak dan warna yang dibuat dengan alat yang berupa canting dengan menggunakan lilin batik atau malam sebagai perintang warnanya kemudian dicelupkan pada zat warna. (Atikasari, 2005)

Dilihat dari unsur seninya, selembar kain batik merupakan kategori seni rupa dua dimensional. Dimana unsur pokok dari seni rupa dua dimensional terdiri dari unsur garis, warna, bidang (*space*), dan tekstur. Unsur garis pada batik terdapat pada efek goresan canting klowong atau batas-batas bidang motif maupun isian yang bersifat linier. Unsur warna merupakan elemen seni rupa yang sangat dominan, karena sangat mudah tertangkap oleh mata (*eyecatching*), yang dapat mewakili keindahan dan juga dapat dijadikan sebagai simbol. Unsur Bidang (*space*) sangat diperlukan dalam menyusun komposisi disain yang seimbang. Unsur tekstur merupakan nilai raba suatu permukaan (halus, kasar, licin, dsb). Pada teknik batik unsur ini dapat dihasilkan dengan beberapa cara seperti pemberian bermacam-macam titik (cecek), bermacam-macam isian, remukan lilin, goresan paku (sosrok) pada lilin sebelum proses pencelupan, dan lain-lain (Nurdalia, 2006).

Unsur-unsur yang membentuk kain batik harus disusun secara harmonis, agar dapat menghasilkan karya yang indah. Untuk itu diperlukan adanya ritme,

variasi, titik pusat perhatian (*centre of interest*), dominasi, baik pada unsur motif maupun pada unsur warna (Riyanto, dkk, 1997).

Banyak hal yang dapat diungkapkan dalam seni batik seperti latar belakang kebudayaan, kepercayaan adat istiadat, sifat, tata kehidupan, alam lingkungan, cita rasa, tingkat keterampilan dan lain sebagainya. Beberapa daerah di Jawa Tengah yang sampai saat ini dikenal dengan sebutan “kota batik”, antara lain, Solo dan Pekalongan. Kedua daerah tersebut dikenal sebagai kota batik, karena menghasilkan batik dalam jumlah besar dan jenis yang beragam. Di Jawa Tengah sesungguhnya tidak hanya kedua kota itu saja yang dikenal sebagai penghasil batik, namun ada daerah lain yang juga menghasilkan batik yaitu Wonogiri, Tegal dan Lasem (Isniah, 2009).

Pesona batik disukai hingga sekarang baik di dalam negeri maupun di luar negeri. Keindahan dan kecantikan batik Indonesia terletak pada begitu banyaknya perubahan dan motif yang muncul dalam perbedaan kebudayaan. Batik sebagai kekayaan Indonesia memiliki nilai seni yang tinggi. Jenis, corak, motif batik tradisional maupun modern tergolong amat banyak, namun corak dan variasinya sesuai dengan filosofi dan budaya masing-masing daerah yang amat beragam.

Batik Jawa berawal dari lingkungan Keraton dengan motif yang kaya dan dipengaruhi oleh budaya Hindu seperti pemujaan bunga kesucian teratai, naga dan tiga unsur kehidupan. Kemudian dengan hadirnya Islam motif batik berkembang kearah motif geometrik dan botanik. Khasanah budaya Bangsa Indonesia yang demikian kaya telah mendorong lahirnya berbagai corak dan jenis batik tradisional maupun modern dengan ciri kekhususan sendiri yang merupakan daya tarik dari batik (Hasanudin, 2001).

2.2 Proses Produksi Batik

2.2.1 Lilin pada Batik

Malam batik adalah bahan yang digunakan untuk menutup permukaan kain menurut desain sehingga permukaan yang tertutup tersebut menolak zat warna yang diberikan pada kain. Lilin batik merupakan campuran dari beberapa bahan pokok lilin yaitu gondorukem, damar mata kucing, parafin (putih dan

kuning), microwax, lemak binatang (kendal, gajih), minyak kelapa, lilin tawon dan lilin lanceng. Jumlah dan perbandingan pemakaiannya bervariasi tergantung tujuan penggunaannya.

Pada akhir proses pembuatan batik, seluruh lilin batik dihilangkan dari permukaan kain, dengan cara kain tersebut dimasukkan ke dalam bak yang berisi air panas, sehingga seluruh lilin batik lepas. Lilin batik pada bak disaring kemudian didinginkan sehingga akan terbentuk lilin batik yang membeku. Lilin batik sisa lorotan biasanya dipakai untuk menutup batik yang disebut tembakan yaitu menutup kain batik secara keseluruhan. Sifat-sifat pokok malam batik adalah sebagai berikut.

- Malam tawon disebut juga kote atau malam klanceng berwarna kuning suram, mudah meleleh, titik didihnya rendah 59°C , mudah melekat pada kain, tahan lama, tak berubah oleh iklim, dan mudah dilepaskan, penggunaannya banyak dicampurkan pada lilin klowong.
- Gondorukem berasal dari pinus merkusu yang telah dipisahkan terpentin dan airnya. Gondorukem dalam perdagangan disebut dengan gondo, pabrik pengolahan gondo tersebar di daerah Pekalongan, Pemalang, Ponorogo dan sebagainya. Dalam pembatikan dikenal beberapa jenis gondorukem seperti gondorukem Amerika, Hongkong, Aceh, dan Gondorukem Pekalongan.

Sifat-sifat gondorukem yaitu :

- Titik lelehnya agak tinggi sehingga memerlukan waktu yang lama untuk melelehkannya
- Tidak tahan alkali
- Mudah menembus kain dalam keadaan encer
- Mudah patah setelah dingin dan melekat

Tabel 2.1 Karakteristik dan Kualitas Tipe Dasar Lilin

No	Jenis Bahan Dasar	Titik Leleh	Nama lain	Karakteristik	Identifikasi	
					Kualitas tinggi	Kualitas rendah
A	Gondoruk em (resin)	60°-70°C	Gondo, Sionga, Songka, Harpus	Lama meleleh, Mudah menembus kain, Lengket, Mudah patah, Tidak tahan larutan alkali	Jernih, transparan	Hitam pekat atau kehitaman
B	White B.P.M. wax	50°-55°C	Paraffin, Lilin putih, Lilin londi, Lilin es	Mudah larut, Kurang lengket, Cepat beku, Mudah meleleh, Berlemak, Tahan terhadap larutan alkali	Putih jernih atau kuning muda, Bentuk kotak atau lingkaran	Berupa Pecahan mengandung kotoran, berserat, berpasir
C	Yellow B.P.M wax	50°-55°C	Paraffin, Lilin kuning	Mudah larut, Kurang lengket, Mudah lepas, Berlemak	Kuning jernih, Bentuk kotak atau bulat	Berupa pecahan mengandung kotoran, berserat, berpasir
D	Microwax	50°-60°C		Mudah larut, Lemas, Lama encer, Mudah lepas, Tahan terhadap larutan alkali	Kuning muda, Bentuk kotak	
E	"Kote" wax	50°-60°C	Lilin Palembang, Lilin timur, Lilin lebah	Keras, Tahan lama, Tahan cuaca	Kuning pucat, Berbau asam	Kuning jernih, tidak berbau, asam
F	Mata Kucing	70°-80°C	Damar, Damar mata kucing	Keras, Sulit meleleh, Cepat membeku, Mudah kering, Tahan terhadap larutan alkali	Kuning Jernih, Transparan, Bersih	Kuning kehitaman
G	Lemak	40°-50°C	Gajih, vet, pet	Mudah encer, Fleksibel	Putih seperti mentega lemak sapi atau kerbau	Mengandung kotoran, mudah leleh lemak domba

Sumber : Sewan Susanto, 1980

2.2.2 Zat Pewarna Batik (Warna)

Dalam proses pembatikan, selain proses pelilinan terdapat proses pewarnaan. Pewarnaan pada batik merupakan hal utama dalam pembuatan kain batik. Warna pada batik mempergunakan zat warna tekstil dan tidak semua jenis zat warna tekstil dapat dipergunakan memberi warna pada batik. Hanya khusus beberapa jenis saja yang dapat dipergunakan untuk proses pembatik. Yang dimaksud zat warna adalah senyawa yang dapat dipergunakan dalam bentuk larutan. Penggunaan pewarna yang berlebihan dan dibuang ke saluran tanpa diolah terlebih dahulu mengakibatkan air menjadi tercemar.

Warna air limbah yang dibuang ke saluran terbuka dapat dibedakan menjadi dua, yaitu warna sejati dan warna semu. Warna yang disebabkan oleh warna organik yang mudah larut dan beberapa ion logam disebut warna sejati, jika air tersebut mengandung kekeruhan atau adanya bahan tersuspensi dan juga oleh penyebab warna sejati, maka warna tersebut dikatakan warna semu (Chatib, 1998). Dan juga karena adanya bahan-bahan yang tersuspensi yang termasuk bersifat koloid. Kekeruhan ialah suatu istilah yang digunakan untuk menyatakan derajat kegelapan di dalam air yang disebabkan oleh bahan-bahan yang melayang.

2.2.2.1 Zat Warna Alami

Zat warna alam (natural dyes) adalah zat warna yang diperoleh dari alam tumbuh-tumbuhan baik secara langsung maupun tidak langsung. Agar zat pewarna alam tidak pudar dan dapat menempel dengan baik, proses pewarnaannya didahului dengan mordanting yaitu memasukkan unsur logam ke dalam serat (Tawas/Al).

Bahan pewarna alam yang bisa digunakan untuk tekstil diperoleh dari hasil ekstrak berbagai bagian tumbuhan seperti akar, kayu, daun, biji ataupun bunga. Pengrajin-pengrajin batik telah banyak mengenal tumbuhan-tumbuhan yang dapat mewarnai bahan tekstil, sampai saat ini sudah ditemukan sekitar 150 jenis tumbuhan yang diteliti oleh Balai Besar Kerajinan dan Batik Yogyakarta. Beberapa diantaranya adalah : daun pohon nila (*indofera*), kulit pohon soga tingi (*Ceriops candolleana arn*), kayu tegeran (*Cudraina javanensis*), kunyit (*Curcuma*), teh (*Tea*), akar mengkudu (*Morinda citrifelia*), kulit soga jambal

(*Pelthophorum ferruginum*), kesumba (*Bixa orellana*), daun jambu biji (*Psidium guajava*) (Sewan Susanto, 1973).

Ada tiga tahap proses pewarnaan alam yang harus dikerjakan yaitu: proses mordanting (proses awal/*pre-treatment*), proses pewarnaan (pencelupan), dan proses fiksasi (penguatan warna).

Proses pembuatan larutan zat warna alam adalah proses untuk mengambil pigmen pigmen penimbul warna yang berada di dalam tumbuhan baik terdapat pada daun, batang, buah, bunga, biji ataupun akar. Proses eksplorasi pengambilan pigmen zat warna alam disebut proses ekstraksi. Proses ekstraksi ini dilakukan dengan merebus bahan dengan pelarut air. Bagian tumbuhan yang di ekstrak adalah bagian yang diindikasikan paling kuat/banyak memiliki pigmen warna misalnya bagian daun, batang, akar, kulit buah, biji ataupun buahnya (Dedy, 2010). Untuk proses ekplorasi ini dibutuhkan bahan sebagai berikut:

- Kain katun (birkolin) dan sutera,
- Ekstrak adalah bahan yang diambil dari bagian tanaman di sekitar kita yang ingin kita jadikan sumber pewarna alam seperti : daun pepaya, bunga sepatu, daun alpokat, kulit buah manggis, daun jati, kayu secang, biji makutodewo, daun ketela pohon, daun jambu biji ataupun jenis tanaman lainnya yang ingin kita eksplorasi
- Bahan kimia penguat warna yang digunakan adalah tunjung (FeSO_4), tawas, natrium karbonat/soda abu (Na_2CO_3), dan kapur tohor (CaCO_3).



Gambar 2.1 Zat Kimia Penguat Warna

Sumber : Hasil Dokumentasi

2.2.2.2 Zat Warna Sintetis (Buatan)

Zat warna sintetis (*synthetic dyes*) atau zat wana kimia mudah diperoleh, stabil dan praktis pemakaiannya. Zat Warna sintetis dalam tekstil merupakan turunan hidrokarbon aromatik seperti benzena, toluena, naftalena dan antrasena diperoleh dari ter arang batubara (*coal, tar, dyestuff*) yang merupakan cairan kental berwarna hitam dengan berat jenis 1,03 - 1,30 dan terdiri dari despersi karbon dalam minyak.



Gambar 2.2 Zat Pewarna Sintesis

Sumber : Hasil Dokumentasi

Tidak semua zat warna sintetis bisa dipakai untuk pewarnaan bahan kerajinan, karena ada zat warna yang prosesnya memerlukan perlakuan khusus, sehingga hanya bisa dipakai pada skala industri. tetapi zat warna sintetis yang banyak dipakai untuk pewarnaan bahan kerajinan antara lain:

a. Zat warna naphthol

Zat warna naphthol adalah suatu zat warna tekstil yang dapat dipakai untuk mencelup secara cepat dan mempunyai warna yang kuat. Zat warna naphthol adalah suatu senyawa yang tidak larut dalam air yang terdiri dari dua komponen dasar, yaitu berupa golongan naphthol AS (*Anilid Acid*) dan komponen pembangkit warna, yaitu golongan diazonium yang biasanya disebut garam. Kedua komponen tersebut bergabung menjadi senyawa berwarna jika sudah dilarutkan. Zat warna naphthol disebut sebagai *Ingrain Coours* karena terbentuk di dalam serat dan tidak terlarut di dalam air

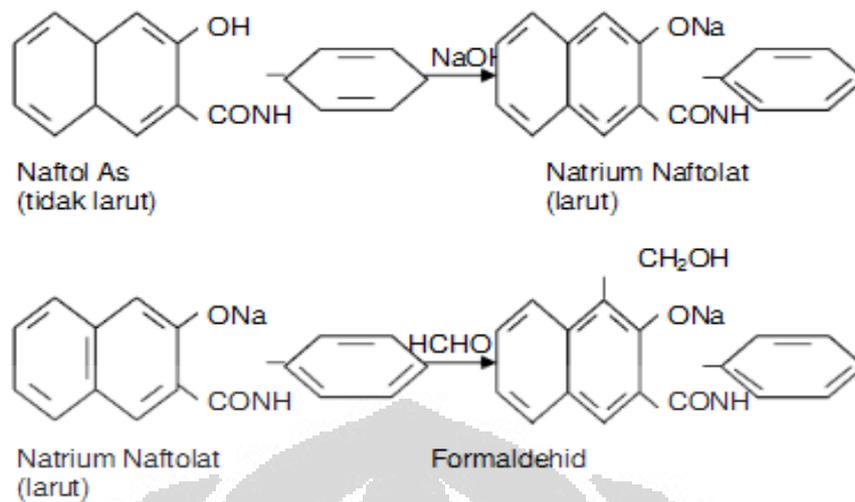
karena senyawa yang terjadi mempunyai gugus azo. Zat warna Naphtol dibedakan menjadi:

- Beta Naphtol (Zat Es)

Adalah zat warna azo yang lama, jumlah warnanya terbatas yang ada hanya merah. Orange, biru dan hijau hampir tidak ada. Golongan zat ini mempunyai ketahanan luntur yang baik, juga tahan chlor tetapi tidak begitu tahan terhadap gosokan. Zat warna golongan ini sering disebut zat warna es atau *ice colour*.

- Naphtol As

Adalah zat warna azo yang baru, jumlah warnanya banyak dimana hampir semua warna ada. Senyawa-senyawa naphtol As mempunyai daya serap terhadap sellulosa sehingga proses pengeringan setelah pencelupan dengan senyawa tersebut tidak perlu dikerjakan lagi. Demikian pula tahan gosok dan hasil celupan lebih baik karena naphtol As sedikit mengadakan migrasi ke dalam garam diazonium sewaktu proses pembangkitan. Naphtol digolongkan menjadi 2, yaitu pertama Golongan poligenetik yaitu memberikan bermacam-macam warna dengan berbagai garam diazonium. Yang termasuk jenis ini antara lain : Naphtol As, As D, As OL, As E, As GR, As, LB, As SR, As SG, As BT dan lain-lain. Kedua Golongan Naphtol yang monogenetik, yaitu yang memberikan satu arah warna saja yaitu kekuningan dengan berbagai macam garam dozonium. Yang termasuk jenis Naphtol ini, yaitu : As G, As LG, As L3G, As L4G. Garam diozanium lebih dikenal dalam praktek sebagai garam Naphtol adalah hasil reaksi diazotasi senyawa basa Naphtol yang merupakan turunan dari anilina yang selanjutnya distabilkan dalam kondisi tertentu.



Gambar 2.3 Reaksi Formaldehid pada Larutan Napthol

Sumber : Sunarto (2008)

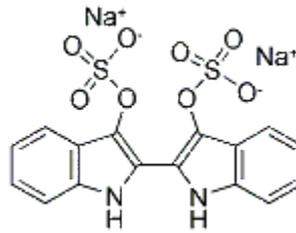
b. Zat warna indigosol

Zat warna Indigosol atau Bejana Larut adalah zat warna yang ketahanan lunturnya baik, berwarna rata dan cerah. Zat warna ini dapat dipakai secara pencelupan dan coletan. Warna dapat timbul setelah dibangkitkan dengan Natrium Nitrit dan Asam/ Asam sulfat atau Asam florida. Jenis warna Indigosol antara lain:

Tabel 2.2 Jenis Pewarna Indigosol

Indigosol Yellow	Indigosol Green IB
Indigosol Yellow JGK	Indigosol Blue 0 4 B
Indigosol Orange HR	Indigosol Grey IBL
Indigosol Pink IR	Indigosol Brown IBR
Indigosol Violet ARR	Indigosol Brown IRRD
Indigosol Violet 2R	Indigosol Violet IBBF

Sumber : MSDS



Gambar 2.4 Ikatan Molekul Indigosol

Sumber : MSDS

c. Zat warna rapid

Zat warna rapid biasa dipakai untuk coletan jenis rapid fast. Zat warna ini adalah campuran komponen naphthol dan garam diazonium yang distabilkan, biasanya paling banyak dipakai rapid merah, karena warnanya cerah dan tidak ditemui di kelompok indigosol.

d. Zat warna reaktif

Zat warna reaktif bisa digunakan untuk pencelupan dan pencapan (printing). Zat warna reaktif berdasarkan cara pemakaiannya dapat digolongkan menjadi dua, yaitu: reaktif dingin dan reaktif panas. Untuk zat warna reaktif dingin salah satunya adalah zat warna procion, dengan nama dagang Procion MX, yaitu zat warna yang mempunyai kereaktifan tinggi dan dicelup pada suhu rendah. Zat warna reaktif termasuk zat warna yang larut dalam air dan mengadakan reaksi dengan serat selulosa, sehingga zat warna reaktif tersebut merupakan bagian dari serat. Oleh karena itu sifat-sifat tahan luntur warna dan tahan sinarnya sangat baik. Nama dagang zat warna teraktif, sebagai berikut:

- Procion (produk dari I.C.I) Drimarine (produk Sandoz)
- Cibacron (produk Ciba Geigy) Primazine (produk BASF)
- Remazol (produk Hoechst) Levafix (produk Bayer)

e. Zat warna indanthrene

Zat warna indanthrene normal termasuk golongan zat warna bejana yang tidak larut dalam air. proses pencelupannya tidak perlu penambahan elektrolit karena mempunyai daya serap yang tinggi. Pemakaian reduktor dan alkali banyak dan dicelup pada suhu (40°-60°C). Contoh zat warna Indanthrene:

- Helanthrene Yellow GC MP
- Helanthrene Orange RK MP
- Helanthrene Brilian Pink RS MP
- Helanthrene Blue RCL MP
- Helanthrene Green B MP
- Helanthrene Brown BK MP

f. Zat warna pigmen

Adalah zat warna yang tidak larut dalam segala macam pelarut. Zat warna ini sebetulnya tidak mempunyai afinitas terhadap segala macam serat. Pemakaiannya untuk bahan tekstil memerlukan suatu zat pengikat yang membantu pengikatan zat warna tersebut dengan serat. Pengikat yang digunakan yaitu emulsi (campuran dari emulsifier, air dan minyak tanah) yang dicampur dengan putaran tinggi. Zat warna pigmen banyak digunakan untuk cetak saring, tidak layak digunakan sebagai pencelupan. Contoh nama dagang zat warna pigmen:

- Acram in (Bayer)
- Helizarin (BASF)
- Sandye ((Sanyo)Pristofix (Sandoz)

2.3 Proses Pembuatan Batik

Teknik membuat batik adalah proses-proses pekerjaan dari permulaan yaitu dari bahan mori batik sampai menjadi kain batik (S.K. Sewon S, 1980). Menurut Murtihadi dan Mukminatun (1979 : 55) bahwa proses membatik dibedakan menjadi dua yaitu batik tulis dan dan batik cap :

a. Batik tulis

Batik tulis yaitu kain batik yang proses pengerjaannya menggunakan alat canting untuk memindahkan lilin cair pada permukaan kain guna menutupi bagian tertentu yang dikehendaki agar tidak terkena zat warna.



Gambar 2.5 Proses Pematikan Secara Tulis

Sumber : Hasil Dokumentasi

b. Batik cap

Batik cap yaitu kain batik yang pengerjaannya dilakukan dengan cara mencapkan lilin batik cair pada kain atau mori dengan alat cap berbentuk stempel dari plat tembaga yang sekaligus memindahkan pola ragam hias.



Gambar 2.6 Proses Pematikan Secara Cap

Sumber : Hasil Dokumentasi

Proses pematikan dengan cara ditulis meliputi: (Sumber: World Batik Summit, 2011)

1. Nyungging, yaitu proses pembuatan pola atau motif pada kertas.
2. Nuaplak, yaitu pemindahan gambar pada kertas ke kain dengan cara dijiplak.
3. Nglowong, yaitu pelekatan malam dengan canting sesuai motif atau pola.
4. Ngiseni, yaitu pemberian isen-isen dan tanahan. Isen-isen yaitu motif pengisi pada ornamen utama, sedangkan tanahan ialah motif pengisi antar bidang kosong.
5. Mopok, yaitu menutupi bagian-bagian berwarna dengan malam.

6. Nyolet, yaitu pemberian warna secara setempat dengan kuas yang terbuat dari bambu atau rotan. Biasanya warna yang diberikan hanya pada bagian tertentu dengan warna bervariasi
7. Nglorod, yaitu proses penghilangan malam dengan cara merendam kain pada air mendidih hingga lilin yang menempel pada kain larut
8. Nanahi, membatik pada bagian luar motif background sesuai dengan motif yang diinginkan.
9. Mopok, menutup bagian motif yang sudah diwarnai dengan menggunakan malam.
10. Nyelup, mencelupkan kain yang telah dibatik pada zat larutan warna.
11. Nglorod, menghilangkan malam secara menyeluruh dengan mencelupkan ke air mendidih.



Gambar 2.7 Proses Batik Tulis (Proses 1-5)

Sumber : Hasil Dokumentasi



Gambar 2.8 Proses Batik Tulis (Proses 6-11)

Sumber : Hasil Dokumentasi

2.3.1 Perlekatan Lilin Batik

Menurut H. Santosa Doellah (2002) batik adalah sehelai wastra yakni sehelai kain yang dibuat secara tradisional dan terutama juga digunakan dalam matra tradisional beragam hias pola batik tertentu yang dicelup rintang dengan *malam* 'lilin batik' sebagai bahan perintang warna. Dengan demikian, suatu wastra dapat disebut batik bila mengandung dua unsur pokok teknik celup rintang yang menggunakan lilin sebagai penghalang warna dan pola yang beragam hias khas batik.

Lilin batik berfungsi sebagai penolak terhadap warna yang diberikan pada kain pada pengerjaan berikutnya atau penahan masuknya warna kedalam kain. Perlekatan lilin pada kain untuk membuat motif batik yang dikehendaki, dengan cara menuliskan menggunakan canting tulis atau dengan cara di capkan menggunakan canting cap. Agar dapat dituliskan pada batik, maka lilin batik perlu dipanaskan dahulu pada suhu $\pm 60^{\circ} - 70^{\circ}\text{C}$ (Nurdalia, 2006).

2.3.2 Pewarnaan Batik

Pewarnaan dapat berupa pekerjaan mencelup, coletan atau lukisan (*painting*). Yang dimaksud dengan proses pencelupan adalah suatu proses pemasukan zat warna kedalam serat-serat bahan tekstil, sehingga diperoleh warna yang tahan luntur. Zat warna biasanya digunakan dalam proses pencelupan. Menurut (Riyanto,dkk, 1997) yang dimaksud proses pencelupan ialah suatu proses pemasukan zat warna ke dalam serat – serat bahan tekstil, sehingga diperoleh warna yang sifatnya dapat dikatakan kekal.

Zat warna yang dipakai dapat berupa zat warna alam yang berasal dari tumbuh-tumbuhan atau zat warna sintetis. Zat warna yang banyak dipakai sebagai pewarna pada pembuatan batik adalah naphtol, sebagai warna sogas, wedelan dan warna-warna lain.

Pekerjaan mencelup dengan naphtol meliputi merendam kain dalam larutan zat warna naphtol, mengatur kain yang sudah dicelup (mengataskan kain), membangkitkan warna dengan larutan garam diazo, mencuci atau membilas kain yang telah selesai dicelup. Sering kali untuk beberapa proses dilakukan pengulangan proses pencelupan naptol yang dilanjutkan dengan proses pencelupan garam azo.

2.3.3 Menghilangkan Lilin

Menghilangkan lilin batik pada kain batik dapat berupa menghilangkan sebagian atau keseluruhan. Menghilangkan lilin sebagian atau setempat adalah melepaskan lilin pada tempat-tempat tertentu dengan cara menggaruk lilin itu dengan alat semacam pisau, pekerjaan ini disebut ”ngerok” atau ngerik”.

Menghilangkan lilin keseluruhan, dilakukan pada tengah-tengah proses pembuatan batik atau pada akhir proses pembuatan batik. Pada pembuatan kain batik secara lorodan, di tengah-tengah proses pembuatan batik tidak diadakan kerokan, tetapi kain tersebut dilorod dimana lilin dihilangkan seluruhnya. Kemudian pada warna-warna yang tidak boleh ketumpangan warna lain atau di tempat-tempat yang akan tetap putih, ditutup dengan lilin (penutupan dilakukan dengan tangan). Menghilangkan lilin keseluruhan pada akhir proses pembuatan batik, disebut ”mbabar” atau ”ngebyok” atau melorod. Menghilangkan lilin secara

keseluruhan ini dikerjakan dengan cara pelepasan di dalam air panas, di mana lilin meleleh dan lepas dari kain. (Sunarto, 2008).

2.4 Limbah Industri Batik

Produk yang dihasilkan dari suatu kegiatan industri selain menghasilkan produk yang diinginkan, juga menghasilkan limbah. Pada industri batik selain menghasilkan kain batik sebagai produk yang diinginkan, juga menghasilkan limbah padat, gas dan cair (*unwanted product*). Industri batik merupakan industri penghasil limbah cair yang sangat besar dan kompleks karena proses produksinya menghasilkan bermacam-macam air limbah (Nurdalia, 2006).

Air limbah pada industri batik dapat dengan mudah dikenal karena warnanya yang berasal dari bahan pewarna yang digunakan pada proses pembuatan batik. Cemaran warnanya bervariasi baik jenis dan jumlahnya sesuai dengan kapasitas produksinya. Kualitas limbah cair industri batik sangat tergantung jenis proses yang dilakukan, pada umumnya limbah cair bersifat basa dan kadar organik yang tinggi yang disebabkan oleh sisa-sisa pembatikan (Purwaningsih, 2008).

Pada proses pencelupan (pewarnaan) umumnya merupakan penyumbang sebagian kecil limbah organik, namun menyumbang warna yang kuat, yang mudah terdeteksi, dan hal ini dapat mengurangi keindahan sungai maupun perairan. Pada proses persiapan, yaitu proses *nganji* atau penganjian, menyumbang zat organik yang banyak mengandung zat padat tersuspensi. Zat padat tersuspensi apabila tidak segera diolah akan menimbulkan bau yang tidak sedap dan dapat digunakan untuk menilai kandungan COD dan BOD. Perubahan penggunaan kanji dengan polyvinil alkohol (PVA) semakin menambah berat badan air limbah yang ada (Sumantri, et al., 2006).

Dalam limbah batik, terdapat beberapa parameter kunci yang harus disesuaikan dengan standar baku mutu air limbah. limbah industri sering dikategorikan sebagai limbah industri tekstil. Hal ini terjadi karena tidak semua daerah merupakan daerah penghasil batik. Beberapa parameter antara lain BOD₅, COD, TSS, Fenol Total, Krom Total (Cr), Amonia Total (NH₃-N), Sulfida, Minyak dan Lemak, serta PH.

Berdasarkan literatur ada beberapa peraturan yang mengacu terhadap limbah batik, diantaranya Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 1995, Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 tahun 2010 mengenai Tata pelaksana pengendalian pencemaran air, Berikut lampiran dari peraturan-peraturan serta parameter yang diperbolehkan:

Tabel 2.3 Kadar dan Beban Pencemaran Maksimum Air Limbah Tekstil Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup

No.	Parameter atau jenis Pencemar	Satuan	Baku Mutu	Beban Pencemaran Maksimum
				Kg/ ton produksi
1.	BOD ₅	mg/L	60	1,2
2.	COD	mg/L	150	3,0
3.	TSS	mg/L	50	1,0
4.	Fenol Total	mg/L	0,5	0,01
5.	Krom Total (Cr)	mg/L	1,0	0,02
6.	Amonium Total (NH ₃ -N)	mg/L	8,0	0,16
7.	Sulfida (S)	mg/L	0,3	0,006
8.	Minyak dan Lemak	mg/L	3,0	0,06
9.	pH	-	6,0-9,0	

Sumber : Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 01 tahun 2010

Tabel 2.4 Baku Mutu Limbah Cair untuk Industri Tekstil

Parameter	Kadar Maksimum (mg/L)	BEBAN PENCEMARAN MAKSIMUM (kg/ton)							
		Tekstil Terpadu	Pencucian Kapas Pemintalan penenunan	Perekatan (sizing) Desizing	Pengikisan Pemasakan (klering Scouring)	Pemucatan (Blencing)	Merserisasi	Pencelupan (Dyeing)	Pencetakan (Printing)
BOD ₅	60	6	0,42	0,6	1,44	1,08	0,9	1,2	0,36
COD	150	15	1,05	1,5	3,6	2,7	2,25	3,0	0,9
TSS	50	5	0,35	0,5	1,2	0,9	0,75	1,0	0,3
Fenol Total	0,5	0,05	0,004	0,005	0,012	0,009	0,008	0,01	0,003
Krom Total (Cr)	1,0	0,1	-	-	-	-	-	0,02	0,006
Amonium Total (NH ₃ -N)	8,0	0,8	0,056	0,08	0,192	0,144	0,12	0,16	0,048
Sulfida (S)	0,3	0,03	0,002	0,003	0,007	0,005			
Minyak dan Lemak	3,0	0,3	0,021	0,03	0,07	0,054			
pH		6,0-9,0							
Debit Limbah Maksimum (M ³ ton Produk)		100	7	10	24	18	15	20	6

Sumber :KEP-51/MENLH/10/1995

2.5 Parameter Penelitian

2.5.1 *BioChemical Oxygen Demand / BOD*

BOD adalah jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan oleh mikroorganisme untuk mengoksidasi senyawa organik yang ada dalam limbah. Hasil analisa BOD menunjukkan besarnya kandungan senyawa organik yang dapat terbiodegradasi (Rahayu, 2007).

BOD atau *BioChemical Oxygen Demand* adalah suatu karakteristik yang menunjukkan jumlah oksigen terlarut yang diperlukan oleh mikroorganisme (biasanya bakteri) untuk mengurai atau mendekomposisi bahan organik dalam kondisi *aerobik* (Metcalf & Eddy, 1991). Ditegaskan lagi oleh Boyd (1990), bahwa bahan organik yang terdekomposisi dalam BOD adalah bahan organik yang siap terdekomposisi (*decomposable organic matter*). Mays (1996) mengartikan BOD sebagai suatu ukuran jumlah oksigen yang digunakan oleh populasi mikrobayang terkandung dalam perairan sebagai respon terhadap masuknya bahan organik yang dapat diurai.

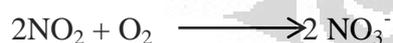
BOD adalah parameter penduga jumlah oksigen yang diperlukan oleh perairan untuk mendegradasi bahan organik yang dikandungnya, sekaligus merupakan gambaran bahan organik mudah urai (*biodegradable*) yang ada dalam air atau perairan yang bersangkutan. Bila uji BOD dilakukan tanpa perlakuan tertentu dan dengan suhu inkubasi setara suhu perairan, maka BOD dapat menggambarkan kemampuan perairan dalam mendegradasi bahan organik

Parameter BOD, secara umum banyak dipakai untuk menentukan tingkat pencemaran air buangan. Penentuan BOD sangat penting untuk menelusuri aliran pencemaran dari tingkat hulu ke muara. Sesungguhnya penentuan BOD merupakan suatu prosedur *bioassay* yang menyangkut pengukuran banyaknya oksigen yang digunakan oleh organisme selama organisme tersebut menguraikan bahan organik yang ada dalam suatu perairan, pada kondisi yang hampir sama dengan kondisi yang ada di alam. Selama pemeriksaan BOD, contoh yang diperiksa harus bebas dari udara luar untuk mencegah kontaminasi dari oksigen yang ada di udara bebas. Konsentrasi air buangan atau sampel tersebut juga harus berada pada suatu tingkat pencemaran tertentu, hal ini untuk menjaga supaya oksigen terlarut selalu ada selama pemeriksaan. Hal ini penting diperhatikan

mengingat kelarutan oksigen dalam air terbatas dan hanya berkisar ± 9 ppm pada suhu 20°C (Sawyer & Mc Carty, 1978).

Penguraian bahan organik secara biologis di alam, melibatkan bermacam-macam organisme dan menyangkut reaksi oksidasi dengan hasil akhir karbon dioksida (CO_2) dan air (H_2O). Pemeriksaan BOD tersebut dianggap sebagai suatu prosedur oksidasi dimana organisme hidup bertindak sebagai medium untuk menguraikan bahan organik menjadi CO_2 dan H_2O . Reaksi oksidasi selama pemeriksaan BOD merupakan hasil dari aktifitas biologis dengan kecepatan reaksi yang berlangsung sangat dipengaruhi oleh jumlah populasi dan suhu. Karenanya selama pemeriksaan BOD, suhu harus diusahakan konstan pada 20°C yang merupakan suhu yang umum di alam. Secara teoritis, waktu yang diperlukan untuk proses oksidasi yang sempurna sehingga bahan organik terurai menjadi CO_2 dan H_2O adalah tidak terbatas. Dalam prakteknya di laboratorium, biasanya berlangsung selama 5 hari dengan anggapan bahwa selama waktu itu persentase reaksi cukup besar dari total BOD. Nilai BOD_5 hari merupakan bagian dari total BOD dan nilai BOD_5 hari merupakan 70 - 80% dari nilai BOD total (Sawyer & Mc Carty, 1978).

Penentuan waktu inkubasi adalah 5 hari, dapat mengurangi kemungkinan hasil oksidasi ammonia (NH_3) yang cukup tinggi. Sebagaimana diketahui bahwa, ammonia sebagai hasil sampingan ini dapat dioksidasi menjadi nitrit dan nitrat, sehingga dapat mempengaruhi hasil penentuan BOD. Oksidasi nitrogen anorganik ini memerlukan oksigen terlarut, sehingga perlu diperhitungkan. Reaksi kimia yang dapat terjadi adalah :



Dalam praktek untuk penentuan BOD yang berdasarkan pada pemeriksaan oksigen terlarut (DO), biasanya dilakukan secara langsung atau dengan cara pengenceran. Prosedur secara umum adalah menyesuaikan sampel pada suhu 20°C dan mengalirkan oksigen atau udara kedalam air untuk memperbesar kadar oksigen terlarut dan mengurangi gas yang terlarut, sehingga sampel mendekati kejenuhan oksigen terlarut. Dengan cara pengenceran pengukuran BOD didasarkan atas kecepatan degradasi biokimia bahan organik

yang berbanding langsung dengan banyaknya zat yang tidak teroksidasi pada saat tertentu. Kecepatan dimana oksigen yang digunakan dalam pengenceran sampel berbanding lurus dengan persentase sampel yang ada dalam pengenceran dengan anggapan faktor lainnya adalah konstan. Sebagai contoh adalah 10% pengenceran akan menggunakan sepersepuluh dari kecepatan penggunaan sampel 100% (Sawyer & Mc Carty, 1978).

Dalam hal dilakukan pengenceran, kualitas airnya perlu diperhatikan dan secara umum yang dipakai aquades yang telah mengalami demineralisasi. Untuk analisis air laut, pengencer yang digunakan adalah *standard sea water* (SSW). Derajat keasaman (pH) air pengencer biasanya berkisar antara 6,5 - 8,5 dan untuk menjaga agar pH-nya konstan bisa digunakan larutan penyangga (*buffer*) fosfat.

2.5.2 Chemical Oxygen Demand / COD

Kualitas air ditentukan oleh berbagai macam parameter. Salah satu diantaranya adalah *Chemical Oxygen Demand* (COD) atau Kebutuhan Oksigen Kimia (KOK) yang didefinisikan sebagai jumlah oksigen (mgO_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 ml sampel air, dimana pengoksidasian $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ digunakan sebagai sumber oksigen atau oxidizing agent (G.Alerts dan SS Santika, 1987). COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan untuk mengurai seluruh bahan organik yang terkandung dalam air (Boyd, 1990).

Hal ini karena bahan organik yang ada sengaja diurai secara kimia dengan menggunakan oksidator kuat kalium bikromat pada kondisi asam dan panas dengan katalisator perak sulfat (Boyd, 1990; Metcalf & Eddy, 1991), sehingga segala macam bahan organik, baik yang mudah urai maupun yang kompleks dan sulit urai, akan teroksidasi. Dengan demikian, selisih nilai antara COD dan BOD memberikan gambaran besarnya bahan organik yang sulit urai yang ada di perairan. Bisa saja nilai BOD sama dengan COD, tetapi BOD tidak bisa lebih besar dari COD. Jadi COD menggambarkan jumlah total bahan organik yang ada. Tes COD digunakan untuk menghitung kadar bahan organik yang dapat dioksidasi dengan cara menggunakan bahan kimia oksidator kuat dalam media asam.

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasi melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air (Alaerts, 1984). Pada reaksi oksigen ini hampir semua zat yaitu sekitar 85% dapat teroksidasi menjadi CO_2 dan H_2O dalam suasana asam, dimana pengoksidasian $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ sebagai sumber oksigen terlarut. Sedangkan penguraian secara biologi (BOD) tidak semua zat organik dapat diuraikan oleh bakteri (Fardiaz, 1992).

Beberapa bahan organik tertentu yang terdapat pada air limbah, kebal terhadap degradasi biologis dan ada beberapa diantaranya yang beracun meskipun pada konsentrasi yang rendah. Bahan yang tidak dapat didegradasi secara biologis tersebut akan didegradasi secara kimiawi melalui proses oksidasi, jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi tersebut dikenal dengan *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Cheremisionoff 1978).

COD merupakan salah satu parameter indikator penting untuk pencemar di dalam air yang disebabkan oleh limbah organik, keberadaan COD di dalam lingkungan sangat ditentukan oleh limbah organik, baik yang berasal dari limbah rumah tangga maupun industri, secara umum konsentrasi COD yang tinggi dalam air menunjukkan adanya bahan pencemar organik dalam jumlah banyak (Purwaningsih, 2008).

Untuk mengetahui kadar bahan organik di dalam air, dapat dilakukan suatu pengujian berdasarkan reaksi kimia dari suatu bahan oksidan yang disebut uji COD. Uji COD yaitu suatu uji yang menentukan jumlah oksigen yang dibutuhkan oleh bahan oksidan seperti kalium dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) atau kalium permanganat (KMnO_4) sebagai sumber oksigen atau *Oxidizing Agent* yang digunakan untuk mengoksidasi bahan-bahan organik yang terdapat didalam air. (Droste, 1997).

Uji COD pada umumnya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen yang lebih tinggi dibandingkan dengan uji BOD, karena bahan-bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dan mikroorganisme dapat ikut teroksidasi dalam uji COD. Selulosa adalah salah satu contoh yang sulit diukur melalui uji BOD karena sulit dioksidasi melalui reaksi biokimia, akan tetapi dapat diukur melalui uji COD.

Metode pengukuran COD sedikit lebih kompleks, karena menggunakan peralatan khusus *reflux*, penggunaan asam pekat, pemanasan, dan titrasi (APHA, 1989, Umaly dan Cuvin, 1988). Peralatan *reflux* diperlukan untuk menghindari berkurangnya air sampel karena pemanasan. Pada prinsipnya pengukuran COD adalah penambahan sejumlah tertentu kalium bikromat ($K_2Cr_2O_7$) sebagai oksidator pada sampel dengan volume diketahui yang telah ditambahkan asam pekat dan katalis perak sulfat, kemudian dipanaskan selama beberapa waktu. Selanjutnya, kelebihan kalium bikromat ditera dengan cara titrasi. Dengan demikian kalium bikromat yang terpakai untuk oksidasi bahan organik dalam sampel dapat dihitung dan nilai COD dapat ditentukan. Kelemahannya, senyawa kompleks anorganik yang ada di perairan yang dapat teroksidasi juga ikut dalam reaksi (De Santo, 1978), sehingga dalam kasus-kasus tertentu nilai COD mungkin sedikit '*over estimate*' untuk gambaran kandungan bahan organik.

Nilai COD dapat segera diketahui setelah satu atau dua jam. Walaupun jumlah total bahan organik dapat diketahui melalui COD dengan waktu penentuan yang lebih cepat, nilai BOD masih tetap diperlukan. Dengan mengetahui nilai BOD, akan diketahui proporsi jumlah bahan organik yang mudah urai (*biodegradable*), dan ini akan memberikan gambaran jumlah oksigen yang akan terpakai untuk dekomposisi di perairan dalam sepekan (lima hari) mendatang. Lalu dengan memperbandingkan nilai BOD terhadap COD juga akan diketahui seberapa besar jumlah bahan-bahan organik yang lebih persisten yang ada di perairan.

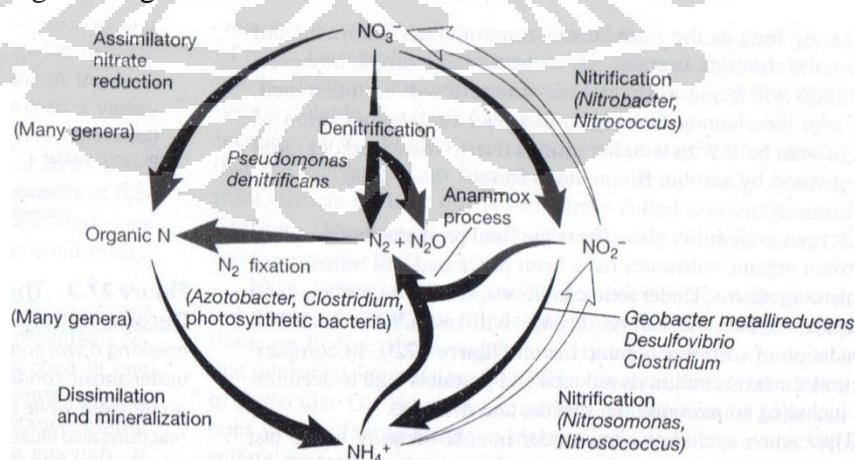
Secara umum, air yang telah tercemar limbah organik sebelum reaksi oksidasi berwarna kuning, dan setelah reaksi oksidasi berubah menjadi warna hijau. Jumlah oksigen yang diperlukan untuk reaksi oksidasi terhadap limbah organik seimbang dengan jumlah *Kalium bichromat* yang digunakan pada reaksi oksidasi. Semakin banyak *Kalium bichromat* yang digunakan pada reaksi oksidasi, berarti semakin banyak oksigen yang diperlukan.

Walaupun metode COD tidak mampu mengukur limbah yang dioksidasi secara biologis, metode COD mempunyai nilai praktis. Untuk limbah spesifik dan pada fasilitas penanganan limbah spesifik, adalah mungkin untuk memperoleh korelasi yang baik antara nilai COD dan BOD.

2.5.3 Nitrogen

Berdasarkan Willey, Sherwood, Woolverton (Microbiology, 2008), nitrogen organik diperlukan oleh bakteri untuk mensintesis dan proses nitrifikasi, biasanya nitrogen organik berbentuk larutan dan partikulat. Di dalam N total terdapat N organik, ammonia gas (NH_3), ammonium ion (NH_4^+), Nitrit (NO_2^-), dan Nitrat (NO_3^-). Nitrogen pada air limbah berupa gabungan antara materi protein dan urea, dekomposisi oleh bakteri mengubah organik menjadi ammonia. Pada lingkungan *aerob*, bakteri mengoksidasi ammonia nitrogen menjadi nitrit dan nitrat. Nitrogen nitrat pada air limbah mengindikasikan bahwa air limbah telah stabil terhadap kebutuhan oksigen. Nitrat dipergunakan oleh tanaman dan makhluk hidup untuk membentuk protein. Unsur N memiliki peranan yang sangat penting dalam penyusunan asam nukleat, asam amino dan enzim-enzim.

Nitrogen dalam air limbah pada umumnya terdapat dalam bentuk organik dan oleh bakteri berubah menjadi amonia. Dalam kondisi *aerobik* dan dalam waktu tertentu bakteri dapat mengoksidasi amonia menjadi nitrit dan nitrat. Nitrat dapat digunakan oleh algae dan tumbuh-tumbuhan lain untuk membentuk protein tanaman dan oleh hewan untuk membentuk protein hewan. Perusakan protein tanaman dan hewan oleh bakteri menghasilkan amonia. Nitrit menunjukkan jumlah zat nitrogen yang teroksidasi. Nitrit merupakan hasil reaksi dan menjadi amoniak atau dioksidasi menjadi nitrit. Kehadiran nitrogen ini sering sekali dijumpai sebagai nitrogen nitrit.



Gambar 2.9 Proses siklus nitrogen

Sumber :Microbiology (2008)

Sebagian besar nitrogen yang ditemukan dalam air permukaan adalah hasil dari drainase tanah dan air limbah domestik. Air limbah domestik yang merupakan sumber utama nitrogen berasal dari air limbah feses, urin dan sisa makanan. Besarnya kontribusi per kapita berkisar antara 8 – 12 lb nitrogen/tahun. Nitrogen ini ditemukan dalam bentuk organik (40%) dan amonia (NH_4^+) sebesar 60% (Hammer, M.J. dan Viesman, W., 2005).

Menurut Winata et al. (2000) nitrogen dalam air dapat berada dalam berbagai bentuk yaitu nitrit, nitrat, amonia atau N yang terikat oleh bahan organik atau anorganik. Nitrit dan nitrat merupakan bentuk nitrogen teroksidasi dengan tingkat oksidasi +3 dan +5. Nitrit biasanya tidak bertahan lama dan merupakan keadaan sementara proses oksidasi antara amonia dan nitrat yang dapat terjadi dalam air sungai, sistem drainase, instalasi air buangan dan sebagainya. Sedangkan nitrat adalah bentuk senyawa yang stabil dan keberadaannya berasal dari buangan pertanian, pupuk, kotoran hewan dan manusia dan sebagainya. Keberadaan nitrit dalam jumlah tertentu dapat membahayakan kesehatan karena dapat bereaksi dengan haemoglobin dalam darah, hingga darah tidak dapat mengangkut oksigen lagi. Sedangkan nitrat pada konsentrasi tinggi dapat menstimulasi pertumbuhan ganggang yang tak terbatas, sehingga air kekurangan oksigen terlarut yang bisa menyebabkan kematian ikan.

Menurut Sastrawijaya (2000), adanya amonia merupakan indikator masuknya buangan permukiman. Alaerts dan Santika (1987) menyatakan amonia dalam air permukaan berasal dari air seni, tinja dan oksidasi zat organik secara mikrobiologis yang berasal dari buangan pemukiman penduduk. Pendapat ini didukung oleh Kumar De (1997) yang menyatakan bahwa limbah domestik mengandung amonia. Amonia tersebut berasal dari pembusukan protein tanaman/hewan dan kotoran.

Menurut Kristianto (2002), tumbuhan dan hewan yang telah mati akan diuraikan proteinnya oleh organisme pembusuk menjadi amoniak dan senyawa amonium. Nitrogen dalam kotoran dan air seni akan berakhir menjadi amonia juga. Jika amonia diubah menjadi nitrat maka akan terdapat nitrit dalam air. Hal ini terjadi jika air tidak mengalir, khususnya di bagian dasar. Nitrit amat beracun di dalam air, tetapi tidak bertahan lama. Kandungan nitrogen di dalam air

sebaiknya di bawah 0,3 ppm. Kandungan nitrogen di atas jumlah tersebut mengakibatkan ganggang tumbuh dengan subur. Jika kandungan nitrat di dalam air mencapai 45 ppm maka berbahaya untuk diminum. Nitrat tersebut akan berubah menjadi nitrit di perut. Keracunan nitrit akan mengakibatkan wajah membiru dan kematian.

Menurut Waite (1984), amonia masuk ke dalam perairan melalui pembusukan organisme yang sudah mati dan limbah serta pengikatan nitrogen atmosferik oleh bakteri. Selanjutnya amonia secara cepat dioksidasi dengan memanfaatkan ketersediaan oksigen terlarut dalam air menjadi nitrit dan nitrat. Proses ini dimediasi oleh bakteri nitrosomonas dan nitrobacter yang secara esensial menghasilkan energi dari proses oksidasi tersebut. Nitrosomonas berfungsi sebagai mediator oksidasi amonia menjadi nitrit sedang nitrobacter berfungsi sebagai mediator oksidasi nitrit menjadi nitrat. Dengan demikian nitrifikasi amonia potensial terjadi pada kondisi *aerobik* sehingga memberi dampak terhadap penurunan kandungan oksigen terlarut dalam air. Sebaliknya di bawah kondisi oksigen terlarut nol (*anaerob*), populasi biologi *anaerobik* dominan dan berlangsung reaksi reduksi, yaitu nitrat direduksi menjadi nitrit, selanjutnya nitrit direduksi menjadi amonia dan nitrogen bebas.

Senyawa organik yang terdapat dalam limbah dan buangan, seperti protein, karbohidrat dan lemak, menurut Gower (1980), dimanfaatkan oleh bakteri sebagai sumber makanan. Di dalam proses ini molekul yang besar dipecah oleh enzim menjadi senyawa yang berat molekulnya lebih rendah. Misalnya protein yang diurai menjadi asam-asam amino dan kemudian didegradasi lanjut dengan menghasilkan amonia.

2.5.4 Fosfor

Phosphorus (fosfor) merupakan hal yang penting dalam pertumbuhan organisme biologi. Bentuk fosfor yang ditemukan pada bentuk cair berupa orthophosphate, polyphosphate, dan organic phosphate. Senyawa orthophosphates dipergunakan untuk metabolisme bakteri. unsur P berperan dalam pembentukan asam nukleat dan fosfolipid.

Menurut Hammer, M.J. dan Viesman, W. (2005), bentuk utama dari fosfor dalam limbah domestik cair adalah fosfor organik, ortho posphat (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}) dan poli posphat. Tipe poli posphat adalah sodium hexa meta fosfat ($\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$), sodium pyro fosfat $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$. Sebagian besar fosfor yang masuk ke dalam air permukaan berasal dari limbah manusia dan run off. Kontribusi dari non point sources dalam drainase berkisar antara 0 – 15 lb forfor/acre/tahun, sedangkan air limbah rumah tangga mengandung setidaknya 2 lb (0,9 kg) fosfor/kapita/tahun.

Phospat terdapat dalam air alam atau air limbah sebagai senyawa ortofosfat, poliphospat dan phospat organis. Setiap senyawa phospat tersebut terdapat dalam bentuk terlarut, tersuspensi atau terikat di dalam sel organisme dalam air. Di daerah pertanian ortophospat berasal dari bahan pupuk yang masuk ke dalam sungai melalui drainase dan aliran air hujan. Poliphospat dapat memasuki sungai melauai air buangan penduduk dan industri yang menggunakan bahan detergen yang mengandung phospat, seperti industri pencucian, industri logam dan sebagainya. Phospat organis terdapat dalam air buangan penduduk (tinja) dan sisa makanan. Phospat organis dapat pula terjadi dari ortophospat yang terlarut melalui proses biologis karena baik bakteri maupun tanaman menyerap phospat untuk pertumbuhannya (Winata, et al., 2000)

Phospat terlarut adalah salah satu bahan nutrisi yang menstimulasi pertumbuhan yang sangat luar biasa pada alga dan rumput-rumputan dalam danau, estuaria, dan sungai berair tenang. Batas konsentrasi phospat terlarut yang diijinkan adalah 1,0 mg/liter. Delapan puluh lima persen atau lebih dari jumlah tersebut berasal dari pembuangan limbah domestik. Menurut Peavy, H. S. et al. (1985), phospat berasal phospat berasal dari deterjen dalam limbah cair dan pestisida serta insektisida dari lahan pertanian.

2.6 Pengolahan Limbah Cair (Fisika, Kimia, dan Biologis)

Pengolahan limbah cair terutama ditujukan untuk mengurangi kandungan bahan pencemar di dalam air, seperti senyawa organik, padatan tersuspensi, mikroba patogen dan senyawa organik yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme yang ada di alam. Proses pengolahan dilakukan sampai batas tertentu sehingga limbah cair tidak mencemarkan lingkungan hidup (Gunawan, 2006).

Pengolahan limbah dengan memanfaatkan teknologi pengolahan dapat dilakukan dengan cara fisika, kimia dan biologi atau gabungan dari ketiga sistem pengolahan tersebut. Pengolahan limbah secara biologis dapat digolongkan menjadi pengolahan cara *aerob* dan pengolahan limbah dengan cara *anaerob*. Berdasarkan sistem unit operasinya teknologi pengolahan limbah dibagi menjadi unit operasi Fisik, unit operasi Kimia dan unit operasi Biologi (Ayuningtyas, 2009).

Menurut (Metcalf & Eddy, 2003) bila dilihat dari tingkatan perlakuan pengolahan maka sistem perlakuan limbah diklasifikasikan menjadi beberapa tingkat Tahap tersebut dimaksudkan untuk memudahkan dalam mengkategorikan dan melaksanakan pengolahan sesuai dengan beban dan kandungan suatu limbah cair. Tingkatan pengolahan antara lain adalah *preliminary treatment*, *primary treatment*, *secondary treatment*, dan *tertiary treatment*.

2.6.1 Preliminary Treatment

Pengolahan awal dan tahap pertama merupakan pengkondisian air limbah atau pengolahan bahan-bahan seperti batu, kain, tongkat, dan oli yang dapat mengakibatkan terganggunya unit operasi, proses, dan sistem tambahan lainnya.

Tujuannya adalah untuk meminimalkan variasi konsentrasi dan laju alir dari limbah cair dan juga menghilangkan zat pencemar tertentu. Terhadap beberapa jenis limbah cair perlu diberikan pengolahan awal untuk menghilangkan zat pencemar yang tak terbiodegradasi atau beracun, agar tidak mengganggu proses-proses selanjutnya. Sebagai contoh limbah cair yang akan ditangani secara biologis harus memenuhi kriteria tertentu yaitu: pH antara 6-9; total padatan tersuspensi < 125 mg/L; minyak dan lemak < 15 mg/L; sulfida < 50 mg/L, dan

logam-logam berat umumnya < 1 mg/L. (Gunawan, 2006). Jenis operasi atau proses yang dapat digolongkan ke dalam pengolahan awal dan tahap pertama, antara lain :

2.6.1.1 *Screening*

Penyaringan (*Screening*) merupakan tahap awal pada proses pengolahan air limbah. Proses ini bertujuan untuk memisahkan potongan-potongan kayu, plastik, dan sebagainya. *Screen* terdiri atas batangan-batangan besi yang berbentuk lurus atau melengkung dan dipasang dengan tingkat kemiringan 75° - 90° terhadap horisontal.

Screening Berfungsi untuk menghilangkan partikel-partikel besar dan limbah cair. Alat ini dipakai pada industri pengalengan, bir, dan kertas. Terdapat berbagai jenis alat penyaringan, misalnya, *bar racks*, *static screens*, dan *vibrating screens*.

Dalam pengolahan limbah cair batik, screening diperlukan karena limbah yang akan masuk kedalam unit pengolahan merupakan limbah campuran dari saluran yang sifatnya partikel yang besar dan dapat mengganggu pengolahan.

2.6.1.2 Ekualisasi

Ekualisasi bertujuan untuk mengurangi variasi laju alir dan konsentrasi limbah cair, agar mencegah pembebanan tiba-tiba (*shock load*). Bentuk alat ini umumnya adalah kolam yang dapat dilengkapi dengan pengaduk atau tanpa pengaduk, terkadang pula disertai dengan aerasi untuk mencegah kondisi septik. Ekualisasi laju alir digunakan untuk menangani variasi laju alir dan memperbaiki proses berikutnya. Di samping itu, ekualisasi juga bermanfaat untuk mengurangi ukuran dan biaya proses berikutnya. Adapun keuntungan yang diperoleh dari penggunaan ekualisasi sebagai berikut (Ayuningtyas, 2009):

- a. Pada pengolahan biologi, perubahan beban secara mendadak dapat dihindari dan pH dapat diatur supaya konstan.
- b. Pengaturan bahan-bahan kimia lebih dapat terkontrol.
- c. Pencucian filter lebih dapat teratur.
- d. *Performance* filter dapat diperbaiki.

Lokasi unit ekualisasi harus dipertimbangkan pada saat pembuatan diagram alir pengolahan limbah. Lokasi ekualisasi yang optimal dan sangat bervariasi menurut tipe pengolahan limbah yang dilakukan, karakteristik sistem pengumpulan, dan jenis air limbah. Biasanya dilaksanakan bersamaan dengan netralisasi.

2.6.2 Primary Treatment

Merupakan tahap pengolahan awal dengan tujuan untuk mereduksi material fisik seperti *suspended solid* dan bahan organik dari air limbah.

2.6.2.1 Sedimentasi

Proses pengolahan limbah cair batik mempergunakan proses sedimentasi sebagai pengendapan partikel organik yang dihasilkan campuran zat pewarna naphthol dengan penguat warna garam azo. Hal ini bertujuan untuk menurunkan TSS.

Sedimentasi adalah pemisahan partikel dari air dengan memanfaatkan gaya gravitasi. Proses ini bertujuan untuk memperoleh air buangan yang jernih dan mempermudah proses penanganan lumpur. Dalam proses sedimentasi hanya partikel-partikel yang lebih berat dari air yang dapat terpisah misalnya, kerikil dan pasir (Siregar, 2005).

Tujuan sedimentasi awal adalah untuk menghilangkan zat padat yang tersuspensi. Partikel tertentu, seperti padatan limbah kertas, pulp atau domestik, akan menggumpal pada saat partikel tersebut menuju dasar tangki sedimentasi, sehingga mempengaruhi laju pengendapan (Gunawan, 2006).

Bagian terpenting dalam perencanaan unit sedimentasi adalah mengetahui kecepatan pengendapan dari partikel-partikel yang akan dipindahkan. Kecepatan pengendapan ditentukan oleh ukuran, densitas larutan, viskositas cairan, dan temperatur.

Ini dikenal dengan pengendapan *floculant*. Partikel seperti pasir, abu dan batubara tidak menggumpal, ini dikenal dengan nama pengendapan *discrete*. Terdapat berbagai jenis tangki sedimentasi, tetapi pada umumnya padatan dikeluarkan dari dasar tangki secara mekanis.

2.6.2.2 Floatasi

Memiliki sistem yang hampir sama dengan sedimentasi, floatasi merupakan sistem pengendapan partikel zat padat yang tersuspensi. Yang membedakan adalah ukuran partikel yang akan dihilangkan. Pada pengolahan limbah cair batik, floatasi diperlukan apabila partikel padatan melalui sedimentasi tidak banyak berkurang.

Floatasi atau pengapungan digunakan untuk memisahkan padatan dari air. Unit floatasi digunakan jika densitas partikel lebih kecil dibandingkan dengan densitas air sehingga cenderung mengapung. Floatasi antara lain digunakan dalam proses pemisahan lemak dan minyak serta pengentalan lumpur (Ayuningtyas, 2009).

2.6.2.3 Netralisasi

Proses Netralisasi pada pengolahan limbah cair batik dipergunakan untuk mengatur pH air limbah yang bertujuan untuk mengoptimalkan proses koagulasi dan flokuluasi dikarenakan koagulan memiliki fungsi optimal pada pH tertentu.

Netralisasi adalah reaksi antara asam dan basa yang menghasilkan air dan garam. Dalam pengolahan air limbah pH diatur antara 6,0-9,5. Di luar kisaran pH tersebut, air limbah akan bersifat racun bagi kehidupan air termasuk bakteri. Jenis bahan kimia yang dapat ditambahkan tergantung pada jenis dan jumlah air limbah serta kondisi lingkungan setempat. Netralisasi air limbah yang bersifat asam dapat dilakukan dengan penambahan NaOH (natrium hidroksida), sedangkan netralisasi air limbah yang bersifat basa dapat dilakukan dengan penambahan H₂SO₄ (asam sulfat) (Gunawan, 2006).

Secara umum proses netralisasi digunakan untuk menetralkan limbah cair yang bersifat terlalu asam atau basa. Namun pada beberapa jenis air limbah yang mengandung zat pewarna, dengan proses netralisasi warna sudah dapat dikurangi bahkan dapat hilang sama sekali. Bahan kimia untuk menetralkan pH dipilih dengan mempertimbangkan harga, kemudahan dalam memperolehnya dan keamanan dalam penyimpanan disamping tingkat keefektifannya. Bahan kimia penetral yang sering digunakan adalah natrium hidroksida, natrium karbonat,

kalsium hidroksida hidrat, asam sulfat, asam klorida dan karbon dioksida (Nugroho, 2005).

Menurut Ayuningtyas (2009), pencampuran limbah basa dengan limbah asam dapat dilakukan untuk memperoleh proses netralisasi yang ekonomis. Untuk keperluan ini, dibutuhkan bak netralisasi dengan level cairan konstan yang bertindak sebagai tangki netralisasi. Limbah cair yang bersifat asam dapat dinetralisasi dengan melewati limbah pada unggun batu kapur, setelah ditambahkan Calsium Hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$, soda kaustik NaOH , atau soda abu Na_2CO_3 .

Terdapat dua tipe batu kapur yaitu *upflow* dan *downftow*, namun yang lebih populer adalah tipe *upflow*. Batu kapur tidak dapat digunakan apabila :

- Kandungan sulfat lebih dari 0,6%, CaSO_4 yang terbentuk akan menutupi permukaan batu kapur dan menghambat reaksi netralisasi
- Kandungan ion logam Al^{3+} dan Fe^{3+} , garam hidroksida yang terbentuk juga akan menutupi permukaan batu kapur dan menghambat reaksi netral

Kalsium Hidroksida $\text{Ca}(\text{OH})_2$ biasanya tersedia lebih murah dibandingkan senyawa basa lain atau bahkan soda abu Na_2CO_3 , sehingga menjadi bahan yang paling sering digunakan untuk netralisasi limbah cair asam.

Limbah cair basa dinetralkan dengan asam mineral kuat seperti H_2SO_4 , HCl , atau dengan CO_2 . Biasanya jika sumber CO_2 tidak tersedia, netralisasi dilakukan dengan H_2SO_4 , karena harga H_2SO_4 yang lebih murah dibandingkan HCl . Reaksi dengan asam mineral berlangsung cepat, sehingga perlu digunakan tangki berpengaduk yang dilengkapi sensor pH untuk mengendalikan laju pemasukan asam. Netralisasi limbah cair basa menggunakan CO_2 biasanya menggunakan *perforated pipe grid* yang diletakkan di bagian dasar tangki netralisasi, H_2CO_3 yang terbentuk akan bereaksi dengan senyawa-senyawa basa dalam limbah cair. Proses netralisasi dapat diselenggarakan secara ekonomis apabila tersedia gas buang pembakaran (*flue gas*) (Ayuningtyas, 2009).

2.6.2.4 Koagulasi dan Flokulasi

Menurut Sianita (2008), koagulasi merupakan pengadukan secara cepat untuk menggabungkan koagulan dengan air sehingga didapat larutan yang

homogen. Koagulasi disebabkan oleh ion – ion yang mempunyai muatan berlawanan dengan muatan partikel koloid. Ion – ion tersebut berasal dari koagulan. Penambahan ion – ion yang mempunyai muatan yang berlainan akan menimbulkan ketidakstabilan partikel koloid. Sedangkan flokulasi yaitu pengadukan secara lambat untuk menggabungkan partikel – partikel koloid yang telah mengalami destabilisasi, sehingga terbentuk flok yang dapat dengan mudah terendapkan. Kecepatan penggumpalan koloid ditentukan oleh banyaknya tumbukan – tumbukan yang terjadi antar partikel koloid dan efektivitas tumbukan yang terjadi melalui tiga cara, yaitu :

- Kontak yang diakibatkan oleh adanya gerak thermal
- Kontak yang diakibatkan oleh pengadukan
- Kontak yang terjadi akibat kecepatan mengendap masing – masing partikel tidak sama

Berikut gambaran mengenai ukuran benda-benda dan waktu yang diperlukan untuk pengendapan dengan jarak satu meter.

Tabel 2.5 Pengendapan Partikel dalam Air

Diameter Partikel (mm)	Material	Waktu Pengendapan per 1 meter
10	Kerikil	1 detik
1	Pasir	10 detik
10^{-1}	Pasir Halus	2 menit
10^{-2}	Tanah Liat	2 jam
10^{-3}	Bakteri	8 hari
10^{-4}	Partikel Koloid	2 tahun
10^{-5}	Partikel Koloid	20 tahun
10^{-6}	Partikel Koloid	200 tahun

Sumber : *Water Treatment Handbook* Vol.1 (1991)

Dari tabel terlihat bahwa partikel koloid sangat sulit mengendap dan merupakan bagian yang besar dalam polutan, serta menyebabkan kekeruhan. Untuk memisahkannya koloid harus diubah menjadi partikel yang berukuran lebih besar melalui proses koagulasi dan flokulasi.

Pada pengolahan limbah cair batik, proses koagulasi dan flokulasi dipergunakan untuk menurunkan kandungan kimia beracun yang dihasilkan oleh pewarna naphthol. Kandungan kimia diukur melalui parameter COD.

Pemilihan koagulan dan kadarnya membutuhkan studi laboratorium atau pilot plant (menggunakan *jar test apparatus*) untuk mendapatkan kondisi optimum. Aluminium Sulfat, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ adalah koagulan yang umum digunakan dalam pemurnian air.

Faktor utama yang mempengaruhi koagulasi dan flokulasi air adalah kekeruhan, padatan tersuspensi, temperatur, pH, komposisi dan konsentrasi kation dan anion, durasi dan tingkat agitasi selama koagulasi dan flokulasi, dosis koagulan, dan jika diperlukan, koagulan-pembantu.

Tabel 2.6 Koagulasi pada Limbah Tekstil

Plant	Coagulant	Dosage, mg/l	pH	Color		COD	
				Influent	Removal, %	Influent mg/l	Removal, %
1	$Fe_2(SO_4)_3$	250	7.5-11.0		90		33
	Alum	300	5-9	0.25	89	584	39
	Lime	1200			68		30
2	$Fe_2(SO_4)_3$	500	3-4, 9-11		89		49
	Alum	500	8.5-10	0.74	89	840	40
	Lime	2000			65		40
3	$Fe_2(SO_4)_3$	250	9.5-11		95		38
	Alum	250	6-9	1.84	95	825	31
	Lime	600			78		50
4	$Fe_2(SO_4)_3$	1000	9-11		87		31
	Alum	750	5-6	4.60	89	1570	44
	Lime	2500			87		44

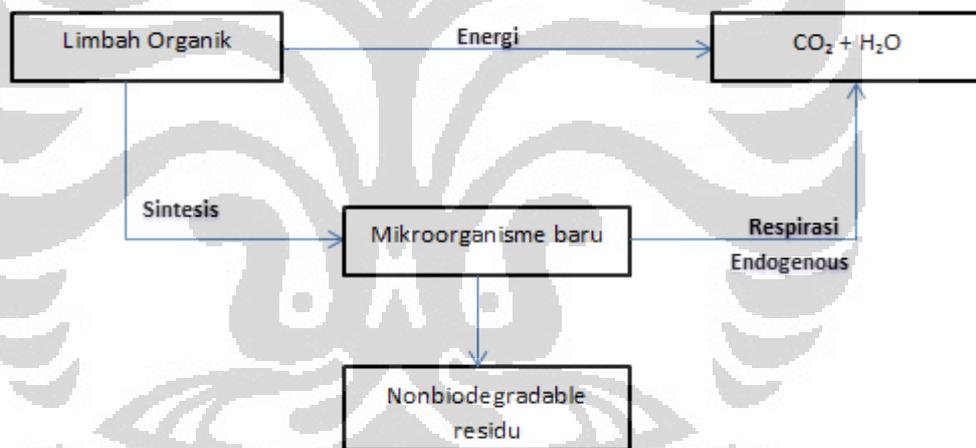
Sumber: Eckenfelder (2000)

2.6.3 Secondary Treatment

Secondary treatment yang dipergunakan merupakan pengolahan biologis dengan mempergunakan sistem Biofilter yaitu *trickling filter*. Pada pengolahan limbah cair batik, pengolahan biologis dipergunakan untuk mengurangi parameter biologis yang diukur melalui kadar BOD atau padatan serta *suspended solid*.

Secara umum proses pengolahan biologi menjadikan pengolahan air limbah secara modern lebih terstruktur, tergantung pada syarat-syarat air yang harus dijaga atau jenis air limbah yang harus dikelola. Pengolahan air limbah secara biologi bertujuan untuk membersihkan zat-zat organik atau mengubah bentuk zat-zat organik menjadi bentuk-bentuk yang kurang berbahaya. Proses pengolahan secara biologi juga bertujuan untuk menggunakan kembali zat-zat organik yang terdapat dalam air limbah (Eckenfelder, 2000).

Mikroorganisme mengkonsumsi bahan-bahan organik untuk membentuk biomassa sel baru serta zat-zat organik dan memanfaatkan energi yang dihasilkan dari reaksi oksidasi untuk metabolismenya. Deskripsi secara umum dari proses biologis ini ditunjukkan pada gambar (Gunawan, 2006).



Gambar 2.10 Oksidasi Biologis dari Buangan organik

Sumber : Gunawan (2006)

Mikroorganisme dalam proses biologis akan sangat tergantung pada zat yang terdapat dalam air buangan, apabila zat organik yang tersedia kurang maka mikroorganisme akan menopang hidupnya dengan mengkonsumsi protoplasma. Proses ini disebut respirasi endogen (*endogenous respiration*). Jika kekurangan zat organik ini berlangsung terus, mikroorganisme akan mati kelaparan atau mengkonsumsi seluruh protoplasma hingga yang tersisa adalah residu organik yang relatif stabil (Corbitt, 1992). Proses biologis untuk mengolah air buangan,

jika ditinjau dari pemanfaatan oksigennya, dapat dikelompokkan ke dalam empat kelompok utama, yaitu :

1. Proses *aerobik*
2. Proses *anaerobik*
3. Proses anoksid
4. Kombinasi antara proses *aerobik* dengan salah satu proses di atas.

Masing-masing proses ini masih dibedakan lagi berhubungan dengan pencapaian pengolahan dalam suatu sistem pertumbuhan tersuspensi, sistem pertumbuhan yang menempel pada media *inert* yang diam atau kombinasi keduanya. Disamping itu, proses biologis dapat pula dikelompokkan atas dasar proses operasinya. Ada tiga macam proses yang termasuk dalam cara pengelompokan ini, yaitu (Ayuningtyas, 2009):

1. Proses kontinyu dengan atau tanpa daur ulang
2. Proses *batch*
3. Proses semi *batch*

Proses kontinyu biasa digunakan untuk pengolahan *aerobik* limbah cair domestik dan industri, sedangkan proses *batch* atau semi *batch* lebih banyak digunakan untuk sistem *anaerobik*.

2.6.4 *Tertiary Treatment*

Merupakan tahap pengolahan lanjutan untuk menghilangkan residu suspended solid setelah pengolahan sekunder, biasanya mempergunakan granular medium filtration atau microscreens. Karbon Aktif merupakan salah satu jenis *Tertiary treatment*, penggunaan karbon aktif pada pengolahan limbah cair batik untuk mengurangi kandungan warna, melalui proses penyerapan atau adsorpsi dengan karbon aktif warna akan diserap dan karbon aktif berubah menjadi lumpur.

Adsorpsi adalah penyerapan partikel halus oleh bahan adsorben. Pada proses ini warna yang ada dalam air limbah juga akan ikut terserap. Proses penghilangan warna dengan karbon aktif saat ini banyak digunakan terutama untuk zat warna anorganik dengan konsentrasi rendah. Kelemahan dari proses ini diantaranya adalah hanya memindahkan polutan zat warna dari air limbah ke

permukaan karbon aktif. Pada fase tertentu, karbon aktif akan mengalami kejenuhan dan harus dilakukan pencucian.

Penghilangan warna dengan proses flokulasi-koagulasi dan adsorpsi sifatnya hanya memindahkan zat warna khususnya dari fase cair ke dalam fase padat, bukan menguraikan senyawa-senyawa kompleks pembentuk warna. Dengan demikian, partikel-partikel warna yang mengumpul bersama bahan koagulan-flokulan atau yang menempel pada bahan adsorben perlu diproses lebih lanjut sehingga tidak menimbulkan pencemaran lanjutan.

Karbon aktif dipergunakan untuk menghilangkan senyawa organik serta senyawa anorganik seperti nitrogen, sulfida, dan logam berat. Selain itu karbon aktif dapat dipergunakan untuk menghilangkan rasa dan bau. Baik dalam bentuk bubuk maupun granular, karbon aktif memiliki adsorpsi yang relatif rendah terhadap molekul dari spesies tertentu. Jika aktivitas biologis rendah pada karbon kontak atau pengolahan biologis, maka spesies tertentu akan sulit dihilangkan dengan karbon aktif (Metcalf & Eddy, 2003).

2.7 Hasil-hasil Penelitian Pengolahan Limbah Cair Industri Batik

Proses pewarnaan batik, biasanya menggunakan jenis warna naphthol dan indigosol. Naphthol mempunyai ikatan rangkap dua nitrogen ($-N=N-$). Penyisihan warna dari kromofor azo dapat dicapai dengan reduksi dari ikatan azo ($-N=N-$) (Michelsen et al., 1993). Pada kondisi *anaerob*, ikatan azo direduksi dan dipecah menjadi aromatik amine, dimana aromatik amine tersebut sulit didegradasi secara *anaerob*, namun dapat didegradasi secara *aerob* (Wuhrmann et al., 1980; Brown and Laboureur, 1983). Beberapa aromatik amine dilaporkan bersifat toksik dan karsinogenik (Chung et al., 1978). Maka dari itu degradasi secara *anaerob* tidak bisa merupakan pengolahan terakhir dari zat warna azo (Ganesh et al., 1994). Pengolahan lengkap yaitu rangkaian pengolahan *anaerob* dan *aerob* adalah pengolahan yang tepat untuk mendegradasi zat warna azo (Brown et al., 1983).

Menurut penelitian Ida Nurdalia (2006) Dari hasil uji laboratorium dapat dilihat bahwa limbah industri batik Clarasita, Fayza dan Ismi mempunyai nilai pH, BOD dan COD cukup tinggi (terutama BOD dan COD) jauh melebihi baku

mutu air limbah (berdasarkan BMLC Industri Tekstil lampiran B.Kep.51/MENLH/10/1995 dan Perda Provinsi Jawa Tengah No.10 Tahun 2004). Selain nilai pH, BOD dan COD yang cukup tinggi, ketiga sampel limbah tersebut juga mengandung unsur logam berat yang berbahaya yaitu Zn, Cd, Cu, Cr, dan Pb.

Tabel 2.7 Parameter industri batik

No.	Parameter	Industri Batik Clarasita	Industri Batik Fayza	Industri Batik Ismi	Keterangan
1	pH	9.42	9.31	8.61	-
2	BOD	326	407	652.8	Mg/L
3	COD	22076	1337	22613	Mg/L
4	Zn	<0.010	<0.010	0.144	Mg/L
5	Cd	<0.005	<0.005	<0.005	Mg/L
6	Cu	0.137	0.225	<0.005	Mg/L
7	Cr	<0.030	0.099	<0.030	Mg/L
8	Pb	<0.030	<0.030	<0.030	Mg/L

Sumber : Ida Nurdalia 2006

2.7.1 Fixed-Bed Anaerob-Aerob

Pada penelitian yang dilakukan oleh Setyaningsih (2002), bertujuan untuk melihat pengaruh waktu detensi, variasi konsentrasi limbah dan variasi glukosa sebagai kosubstrat dalam penyisihan warna dan penurunan organik sebagai COD dari limbah pewarnaan batik menggunakan reaktor kontinyu *fixed-bed anaerob-aerob*. Digunakan bakteri *mixed culture*, fakultatif *anaerob* yang telah diadimatisasi dengan limbah pewarnaan batik.

Dilakukan penelitian pendahuluan secara *batch* dan dapat diketahui bahwa limbah pewarnaan batik stabil pada pH netral untuk jangka waktu 4-5 hari, limbah pewarnaan batik *biodegradable*, pengolahan *anaerob* merupakan pilihan pengolahan pertama dari rangkaian pengolahan. Didapatkan hasil yang optimum pada pengenceran limbah 1:5, dengan persentase penurunan warna sebesar 69,3 % sedangkan persentase penurunan COD sebesar 56,6 %. Sedangkan pada konsentrasi optimum penambahan glukosa 500 mg/L dengan persentase penurunann konsentrasi warna sebesar 44 %, dan persentase penurunan COD sebesar 79,2 %.

Aklimatisasi reaktor kontinyu dilakukan pada kondisi operasional yaitu waktu kontak (td) : 27 jam. Persentase penurunan COD *aerob* adalah 48,9 %, pada

2.7.2 *Aerobic Roughing Filter*

Menurut penelitian Andik Yulianto (2008), salah satu alternatif pengolahan limbah cair adalah penggunaan *aerobic roughing filter*. *Aerobic roughing filter* ialah suatu unit pengolahan yang menggunakan krikil yang mempunyai ukuran material filter antara 4-20 mm yang dapat digunakan untuk memisahkan padatan dari air dan mengurangi beban organik yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk memisahkan padatan dari air dan mengurangi beban organik yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *aerobic roughing filter* dalam menurunkan kadar COD dan warna pada limbah cair industri batik.

Metode penelitian dilakukan penggunaan reaktor *aerobic roughing filter* ukuran panjang 85 cm, lebar 35 cm, dan tinggi 25 cm yang terdiri dari 2 reaktor, reaktor 1 (gravel ϕ 10 mm) dan reaktor 2 (gravel ϕ 5 mm) dengan debit aliran (Q) = 0,0123 m³/jam. Hasil pengujian COD dan warna, diketahui bahwa *aerobic roughing filter* dapat menurunkan konsentrasi COD sebesar 3,077% dan penurunan warna hingga 3,628%. Penurunan konsentrasi COD disebabkan oleh kemampuan dari kerikil sebagai media filtrasi dalam menyaring zat-zat yang lewat. Penurunan warna disebabkan karena terjadinya penguapan zat warna organik pada kondisi *aerob* setelah terlebih dahulu dilakukan pengolahan secara *anaerob* untuk memecah molekul zat warna yang terdapat pada limbah batik.

2.7.3 Koagulasi dengan *Aerob-Anaerob*

Menurut penelitian Sianita (2008), berbagai cara pengolahan limbah cair industri batik telah dilakukan untuk mendapatkan kadar COD yang sesuai dengan standart baku mutu. Penelitian ini dilakukan terhadap limbah cair industri batik Lawean Solo dengan mengkombinasikan proses *aerob* – *anaerob* dan koagulan tawas. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami proses pengolahan

limbah cair industri batik secara biokimia – kimia berdasarkan waktu tinggal sel yang dikombinasikan dengan pengendapan menggunakan koagulan.

Pengolahan secara *aerob* menggunakan lumpur aktif PT. RPI dan *anaerob* menggunakan *Effective Microorganisms* type 4 (EM₄) dilakukan secara *batch*. COD hasil pengolahan *aerob* diukur setelah 1 sampai 6 jam, sedangkan pada kondisi *anaerob* diukur setelah 1 sampai 6 hari. Untuk mengendapkan padatan tersuspensi digunakan koagulan tawas. Analisa yang dilakukan menggunakan analisa permanganometri (KmnO₄). Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah penurunan kadar COD pada proses *aerob* hingga 76,59 % dan pada kondisi *anaerob* hingga 69,43 %, masing – masing pada waktu tinggal sel 6 jam dan 6 hari.

2.7.4 Elektrokoagulasi

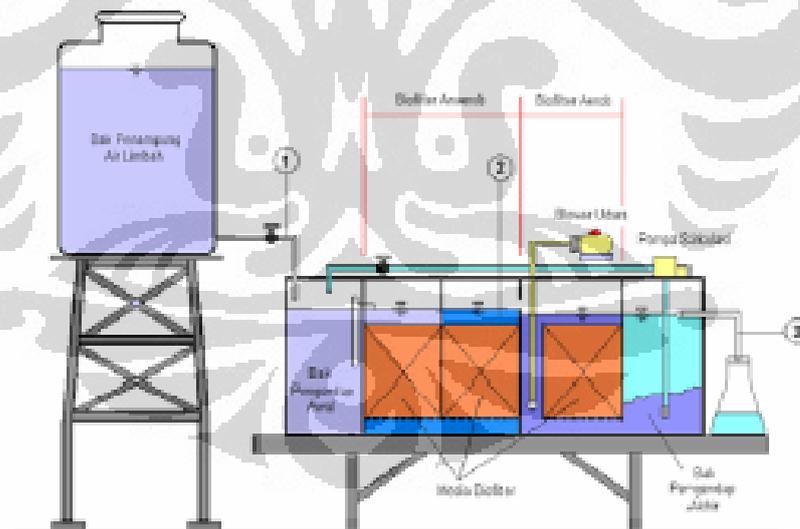
Menurut penelitian Purwaningsih (2008), elektrokoagulasi merupakan suatu proses koagulasi dengan menggunakan arus listrik searah melalui peristiwa elektrokimia yaitu gejala dekomposisi elektrolit di gunakan untuk mengolah air limbah. Penelitian ini bertujuan mengetahui tingkat efisiensi penurunan kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan kadar warna yang terkandung dalam limbah cair industri batik setelah melalui proses elektrokoagulasi. Berdasarkan hasil laboratorium, setelah dilakukan analisa menunjukkan adanya penurunan konsentrasi COD yang tidak signifikan dengan prosentase tertinggi mencapai 29,75 % terjadi pada menit ke 60, kuat arus 25 Volt, dengan jarak elektroda 3 cm, dimana limbah cair batik dalam suasana basa serta rata-rata pH pada waktu penelitian sebesar 10.

Sedangkan penurunan konsentrasi warna maximum adalah 64,46% pada menit ke 30, 12 Volt, jarak elektroda 1,5 cm. Penurunan COD dan kandungan warna di pengaruhi oleh waktu kontak, kuat arus dan jarak antar elektroda yang di gunakan pada saat melakukan pengolahan limbah cair batik dengan menggunakan elektrokoagulasi.

2.7.5 Aplikasi Bio-ball untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean

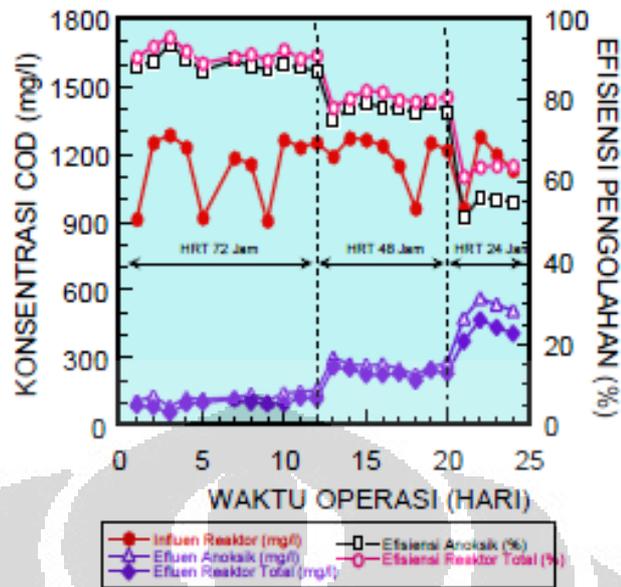
Menurut penelitian Idaman Said (2005), pengolahan air limbah industri pencucian jeans dengan proses biofilter *anaerob-aerob* menggunakan media bio-ball dengan kondisi waktu tinggal 1-3 hari di dapatkan efisiensi penghilangan COD, BOD, SS dan Warna masing-masing yakni : COD 78–91%, BOD 85–92%, total zat padat tersuspensi (TSS) 80–93%, dan warna 48–57%. Makin kecil waktu tinggal di dalam reaktor biofilter efisiensi penghilangan juga semakin kecil. Pengolahan dengan proses biofilter secara umum dapat menghilangkan polutan organik dan TSS dengan baik, tetapi untuk penghilangan warna kurang efektif.

Untuk waktu tinggal 72 jam penghilangan senyawa organik (COD) rata-rata pada zona anoksik mencapai hingga 89%, sedangkan efisiensi total (*anaerob-aerob*) 91,5%. Untuk waktu tinggal 48 jam, efisiensi penghilangan senyawa organik (COD) rata-rata pada zona anoksik 77,8%, sedangkan efisiensi total (*anaerob-aerob*) 80,5%. Untuk waktu tinggal 24 jam, penghilangan senyawa organik (COD) rata-rata pada zona anoksik 54,5%, sedangkan efisiensi total (*anaerob-aerob*) 62,9%.



Gambar 2.11 Diagram Proses Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean dengan Biofilter

Sumber : Nusa Idaman Said (2005)



Gambar 2.12 Pengaruh Waktu Tinggal terhadap Penurunan Konsentrasi dan Efisiensi Penghilangan COD di dalam Reaktor Biofilter

Sumber : Nusa Idaman Said (2005)

Tabel 2.8 Pengaruh *Influen* terhadap Efisiensi Penghilangan COD

Tanggal	Hari ke-	Influen	Efluen Anoksik	efisiensi anoksik %	effluen aerob (total)	Efisiensi (total) %
17-Apr-01	1	1215	146	88	102	91,6
18-Apr-01	2	1209	143	88,2	100	91,7
19-Apr-01	3	1203	141	88,3	96	92
20-Apr-01	4	1199	141	88,2	93	92,2
21-Apr-01	5	1210	140	88,4	93	92,3
22-Apr-01	6	1189	137	88,5	97	91,8
23-Apr-01	7	1192	139	88,3	91	92,4
24-Apr-01	8	1205	144	88	101	91,6
25-Apr-01	9	1211	145	88	101	91,7
26-Apr-01	10	1196	139	88,4	95	92,1
27-Apr-01	11	1187	139	88,3	92	92,2
28-Apr-01	12	1214	140	88,5	99	91,8
29-Apr-01	13	1193	140	88,3	92	92,3

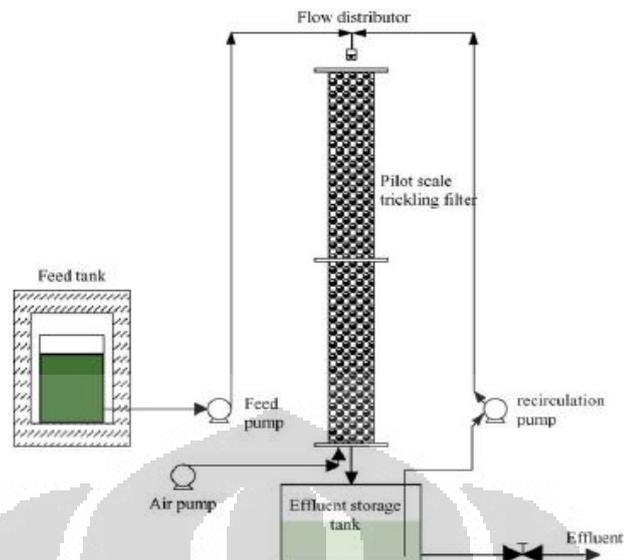
Sumber : Nusa Idaman Said (2005)

2.7.6 Pengolahan Biologis Air Limbah Pewarna Mempergunakan *Trickling Filter*

Menurut penelitian M.Kornaros (2006), dilakukan pengoperasian media *trickling filter* ini berupa *continous* dan *semi batch reactor*. Dimana terdapat bak penampung air limbah dengan volume 10 liter dengan sistem pemompaan diatur pemompaannya melalui timer digital. Selama pada proses *semi batch reactor*, unit filter ini melalui beberapa tahapan yaitu pengisian limbah dimana waktu pengoperasian adalah 1 hari yang dilanjutkan dengan fase pereaksian senyawa kimia yang berjalan selama 23 jam, dilanjutkan dengan fase pengendapan yang bertujuan untuk mengurangi padatan pada efluen, dan fase terakhir adalah pengembalian bakteri dimana media *trickling filter* diisi oleh lumpur aktif yang berasal dari bak aerasi dari pengolahan air limbah di patras (Yunani). pH air limbah diatur sehingga berada di antara 7-8. Kemudian dilakukan penambahan nitrogen dan fosfor untuk mendukung proses pertumbuhan mikroorganismenya. Nitrogen dan fosfor yang ditambahkan dalam bentuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dan KH_2PO_4 .

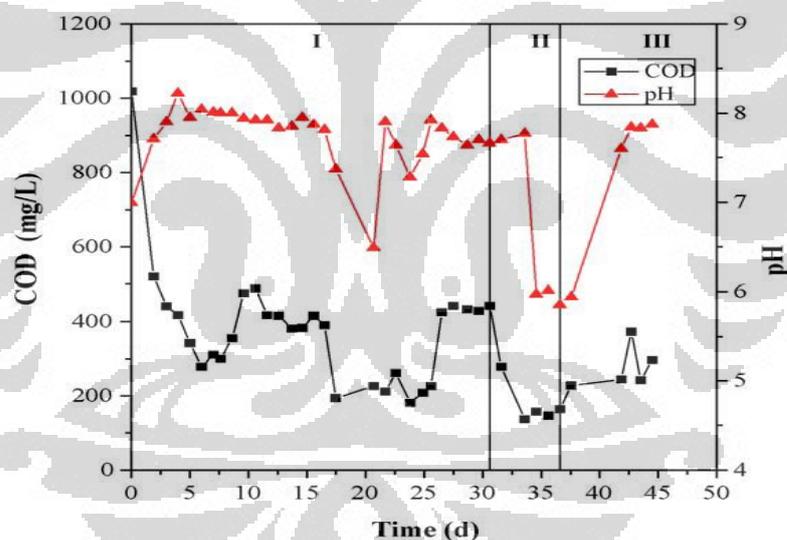
Pengoperasian media *trickling filter* diawali dengan memasukkan limbah dengan konsentrasi COD 1000 mg/l. Air limbah ini diberikan pengolahan awal terlebih dahulu dengan 10 mg/l $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dan 4,5 ml $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0,8% larutan per liter air limbah. Sistem *batch* dilakukan hingga tidak ada *Removal* COD dan proses ini berlangsung sekitar 8 hari operasi. COD air limbah yang diolah mencapai 80% yang menandakan proses aklimatisasi dari biomassa ini mampu menurunkan konsentrasi air limbah. Teknologi pengolahan *trickling filter* dengan media biofilter dapat dipergunakan untuk menurunkan konsentrasi COD, nitrogen, fosfor, dan pH. Gambar 2.13 merupakan hasil penelitian antara pengaruh pH terhadap perubahan COD.

Debit *influen* pada penelitian ini dibagi menjadi dua macam yaitu dengan 7,2 liter/hari dan 3,5 liter/hari. Hidrolik loading yang dihasilkan $1,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ dan $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Pada hidrolik loading $1,1 \text{ m}^3/\text{m}^2$ efisiensi pengurangan COD sebesar 60-70% sedangkan $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ efisiensi pengurangan COD sebesar 80-85%.



Gambar 2.13 Skematik Diagram Penelitian Skala Pilot *Trickling Filter*

Sumber : M. Kornaros & G. Lyberatos (2006)



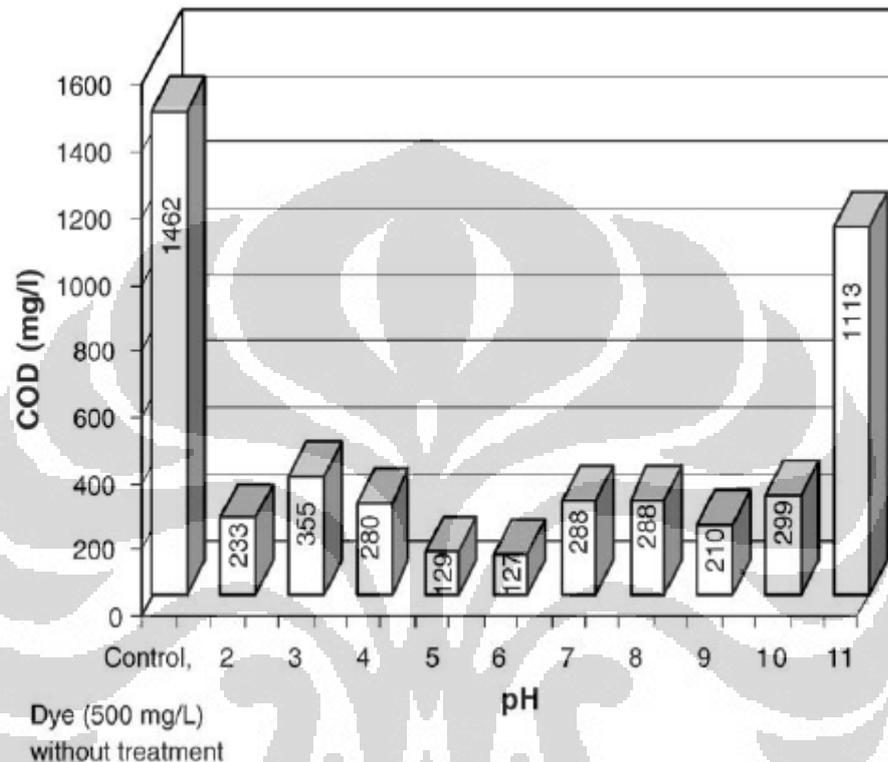
Gambar 2.14 Grafik Hubungan antara COD dengan pH

Sumber : M. Kornaros & G. Lyberatos (2006)

2.7.7 Pengaruh pH pada potensi bioremediasi untuk menghilangkan konsentrasi pewarna dengan menggunakan *Aspergillus Niger*

Menurut El-Rahim (2009), dalam industri pewarna tekstil, zat kimia yang bersifat asam dan basa sering dipergunakan sesuai dengan jenis kain yang dipergunakan. Dilakukan pengolahan biologis pada limbah pewarna tekstil dengan mempergunakan fungi *aspergillus niger*. Pengaruh pH pada pengolahan

biologis setelah diteliti antara pH 2-11. Pengolahan limbah biologis dapat mengurai limbah sebesar 92,4%, 64%, 91,4% dan 62,3 % pada pH 2, 3, 8, dan 9 dengan waktu inkubasi selama 24 jam. Pada akhir penelitian, pengolahan biologis ini dapat mengurangi nilai COD pewarna sintesis sebesar 76-91%.



Gambar 2.15 Diagram hubungan antara COD dengan pH

Sumber : Waafa M.Abd El-Rahim (2009)

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan jamur dalam media dengan nilai pH yang bervariasi memberikan pengaruh dalam pengurangan konsentrasi COD pewarna sebesar 76-91% kecuali pada pH 11, konsentrasi COD pada pH ini hanya dapat mengurangi sebesar 24%. pH 11 dalam kondisi basa ekstrim akan berdampak negatif pada pengurangan konsentrasi COD. Berdasarkan hasil di atas, pH memiliki peran penting dalam mengurangi beban organik.

Tabel 2.9 Hasil Penelitian Terkait dengan Karakteristik Limbah Batik

Parameter	Baku mutu KEP-51/MENLH/10/1995	Penelitian				Karakteristik			Data Primer	
		Batik Indah Raradjonggrang	Batik Clarasita	Batik Fayza	Batik Ismi	Minimum	maksimum	Rata-rata	I	II
PH	6.0-9.0	5,8	9,42	9,31	8,61	5,8	9,31	8,285	8,57	9,20
BOD	60	1260	326	407	652,8	326	1260	661,45	87,5	368
COD	150	3039,7	22076	1337	22613	1337	22613	12266,42	206	868
TSS	50	855	-	-	-	855	855	855	172	620
Fenol Total	0,5	0,926	-	-	-	0,926	0,926	0,926	<0,1	2,31
Krom Total (Cr)	1.0	0	0,03	0,099	0,03	0	0,03	0,03975	<0,02	<0,02
Amonia Total (NH3-N)	8.0	82,17	-	-	-	82,17	82,17	82,17	<0,03	<0,03
Sulfida	0.3	-	-	-	-	-	-	-	<0,02	<0,02
Minyak dan Lemak	3.0	60	-	-	-	60	60	60	16,4	828

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

Tabel 2.10 Variasi Teknologi Pengolahan Limbah Batik

Hasil Penelitian	Fisika	Kimia	Biologi
Elektrokoagulasi	v	V	
Koagulasi <i>anaerob</i>	v	V	V
Ozonisasi	v	V	
<i>Aerobic Roughing Filter</i>	v	V	
<i>fixed-bed anaerob-aerob</i>	v	V	v

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

2.8 Limbah Perut Sapi (Rumen) Sebagai Bakteri Pengolah Pada Media Biofilter

Limbah perut sapi atau rumen dipergunakan sebagai bakteri yang melekat (*Attach growth*) pada media biofilter. Ada tiga macam mikroba yang terdapat di dalam cairan rumen, yaitu bakteri, protozoa dan sejumlah kecil jamur. Volume dari keseluruhan mikroba diperkirakan meliputi 3,60% dari cairan rumen (Bryant, 1970). Bakteri rumen dapat diklasifikasikan berdasarkan substrat utama yang digunakan, karena sulit mengklasifikasikan berdasarkan morfologinya. Kebalikannya protozoa diklasifikasikan berdasarkan morfologinya sebab mudah dilihat berdasarkan penyebaran siliannya. (Hungate, 1966)

Bakteri merupakan jumlah besar yang terbesar sedangkan protozoa lebih sedikit yaitu sekitar satu juta/ml cairan rumen. Jamur ditemukan pada ternak yang digembalakan dan fungsinya dalam rumen sebagai kelompok selulolitik (Mc Donald, 1988). Bakteri merupakan biomassa mikroba yang terbesar di dalam rumen, berdasarkan letaknya dalam rumen, bakteri dapat dikelompokkan menjadi tiga yaitu bakteri yang bebas dalam cairan rumen (30% dari total bakteri), bakteri yang menempel pada partikel makanan (70% dari total bakteri), dan bakteri yang menempel pada epitel dinding rumen dan bakteri yang menempel pada protozoa (Preston dan Leng, 1987).

Jumlah bakteri di dalam rumen mencapai 1-10 milyar/ml cairan rumen. Selanjutnya (Yokoyama dan Johnson, 1988) menyatakan bahwa terdapat tiga bentuk bakteri yaitu bulat, batang dan spiral dengan ukuran yang bervariasi antara 0,3-50 mikron. Kebanyakan bakteri rumen adalah *anaerob*, hidup dan tumbuh tanpa kehadiran oksigen. Walaupun demikian masih terdapat kelompok bakteri yang dapat hidup dengan kehadiran sejumlah kecil oksigen, kelompok ini dinamakan bakteri fakultatif yang biasanya hidup menempel pada dinding rumen tempat terjadi difusi oksigen ke dalam rumen (Czerkawski, 1988).

Yokoyama dan Johnson (1988), mengklasifikasikan bakteri menjadi 8 kelompok didasarkan pada jenis bahan yang digunakan dan hasil akhir fermentasi. Berikut contoh-contoh spesies bakterinya :

- Bakteri Selulolitik yaitu Bakteri yang mempunyai kemampuan untuk memecah selulosa dan mampu bertahan pada kondisi yang buruk pada saat

makanan yang mengandung serat kasar yang tinggi. Contoh: *Bacteroides sussinogenes* (bentuk batang), *Ruminococcus albus* (bentuk bulat).

- Bakteri Proteolitik yang memiliki kemampuan untuk memecah protein, asam amino dan peptida lain menjadi amonia (Orskov, 1982). Contoh: *Bacteroides ruminicola*, *Selenomonas ruminantium*.
- Bakteri Methanogenik, merupakan bakteri yang dapat mengkatabolisasi alkohol dan asam organik menjadi metan dan karbondioksida. Contoh: *Methanobacterium formicium*, *Methanobrevibacter ruminantium*.
- Bakteri Amilolitik, merupakan bakteri yang dapat memfermentasikan amilum. Bakteri jenis ini relatif lebih tahan terhadap perubahan pH dibandingkan dengan bakteri selulolitik, dapat bekerja pada pH 5,7-7,0 (Orskov, 1982). Contoh: *Clostridium lochheadii*, *Streptococcus bovis*, *Bacteroides amylophilus*.
- Bakteri yang memfermentasikan gula dimna bakteri yang memfermentasikan amilum, sebagian besar mampu memfermentasikan gula sederhana. Contohnya: *Eurobacterium ruminantium*, *Lactobacillus ruminus*. (Hungate, 1966)
- Bakteri Lipolitik, merupakan bakteri rumen yang dapat menghidrolisis lemak menjadi gliserol dan asam lemak . Hal ini dapat berlangsung karena adanya enzim lipase yang dapat memecah lemak Contohnya: *Anaerovibrio livolytica*, *Veillonella alcalescens*.
- Bakteri pemanfaat Asam Contohnya: *Selonomonas* dan *Veillonella alcalescens*.
- Bakteri Hemiselulotitik, Hemiselulosa adalah karbohidrat yang terdapat dalam tanaman yang tidak larut dalam air tetapi larut dalam asam dan alkali. Hemiselulosa ini terdapat dalam tanaman yang menjadi pakan temak dalam jumlah besar. Contohnya: *Ruminococcus sp*, *Butyrvibrio fibriosolvans*. Serta ditambah beberapa contoh spesies protozoa dan jamur diantaranya antara lain *Isotricha intestinalis* (memfermentasi gula, pati dan pektin), *Dasytricha ruminantium* (pencerna pati, maltosa, dan glukosa), *Entodinium caudatum* dan *Diplodinium sp*. Sedangkan jamur *Neocalimastik sp* dan *Orpinomyces* kelompok fungsi selulolitik (Winugroho dkk, 1997) .

2.9 Pengolahan Air Limbah Dengan Proses Biofilter *Anaerob*

Biofilm atau biofilter tercelup adalah proses pengolahan air limbah dilakukan dengan cara mengalirkan air limbah ke dalam reaktor biologis yang di dalamnya diisi dengan media penyangga untuk pengebang-biakan mikroorganisme dengan atau tanpa aerasi.

2.9.1 Media Biofilter

Media biofilter yang digunakan secara umum dapat berupa bahan material organik atau bahan material anorganik. Untuk media biofilter dari bahan organik misalnya dalam bentuk tali, bentuk jaring, bentuk butiran tak teratur (*random packing*), bentuk papan (*plate*), bentuk sarang tawon dan lain-lain. Sedangkan untuk media dari bahan anorganik misalnya batu pecah (*split*), kerikil, batu marmer, batu tembikar, batu bara (kokas) dan lainnya.

2.9.2 Biofilter *Aerob* dan *Anaerob*

Di dalam proses pengolahan air limbah dengan sistem biofilter tercelup *aerobik*, sistem suplai udara dapat dilakukan dengan berbagai cara. Beberapa cara yang sering digunakan antara lain aerasi samping, aerasi tengah (pusat), aerasi merata seluruh permukaan, aerasi eksternal, aerasi dengan “*air lift pump*”, dan aerasi dengan sistem mekanik. Masing-masing cara mempunyai keuntungan dan kekurangan. Sistem aerasi juga tergantung dari jenis media maupun efisiensi yang diharapkan. Penyerapan oksigen dapat terjadi disebabkan terutama karena aliran sirkulasi atau aliran putar kecuali pada sistem aerasi merata seluruh permukaan media. Untuk proses *anaerobik* dilakukan tanpa pemberian udara atau oksigen. Posisi media biofilter tercelup di bawah permukaan air.

2.9.3 Biofilter dengan Aerasi

Di dalam proses biofilter dengan sistem aerasi merata, lapisan mikroorganisme yang melekat pada permukaan media mudah terlepas, sehingga seringkali proses menjadi tidak stabil. Tetapi di dalam sistem aerasi melalui aliran putar, kemampuan penyerapan oksigen hampir sama dengan sistem aerasi

dengan menggunakan difuser, oleh karena itu untuk penambahan jumlah beban yang besar sulit dilakukan. Berdasarkan hal tersebut diatas belakangan ini penggunaan sistem aerasi merata banyak dilakukan karena mempunyai kemampuan penyerapan oksigen yang besar. Jika kemampuan penyerapan oksigen besar maka dapat digunakan untuk mengolah air limbah dengan beban organik (*organic loading*) yang besar pula. Oleh karena itu diperlukan juga media biofilter yang dapat melekatkan mikroorganisme dalam jumlah yang besar. Biasanya untuk media biofilter dari bahan anaorganik, semakin kecil diameternya luas permukaannya semakin besar, sehingga jumlah mikroorganisme yang dapat dibiakkan juga menjadi besar pula (Ir. Nusa Idaman Said, M.Eng., 2005).

2.9.4 Keuntungan Biofilter

Proses dengan Biofilter “*Anaerob*” ini mempunyai beberapa keuntungan yakni :

- Adanya air buangan yang melalui media kerikil yang terdapat pada biofilter mengakibatkan timbulnya lapisan lendir yang menyelimuti kerikil atau yang disebut juga biological film. Air limbah yang masih mengandung zat organik yang belum teruraikan pada bak pengendap bila melalui lapisan lendir ini akan mengalami proses penguraian secara biologis. Efisiensi biofilter tergantung dari luas kontak antara air limbah dengan mikroorganisme yang menempel pada permukaan media filter tersebut.
- Biofilter juga berfungsi sebagai media penyaring air limbah yang melalui media ini. Sebagai akibatnya, air limbah yang mengandung suspended solids dan bakteri E.coli setelah melalui filter ini akan berkurang konsentrasinya.
- Pengelolaannya sangat mudah.
- Biaya operasinya rendah.
- Dibandingkan dengan proses lumpur aktif, Lumpur yang dihasilkan relatif sedikit.
- Dapat digunakan untuk air limbah dengan beban BOD yang cukup besar.
- Dapat menghilangkan padatan tersuspensi (SS) dengan baik.

2.9.5 Kriteria dan Klasifikasi Biofilter Trickling Filter

Tabel 2.11 Klasifikasi *Trickling Filter*

Design Characteristics	Low or standard rate	Intermediate rate	High rate	High rate	Roughing
Type of Packing	Rock	Rock	Rock	Plastic	Rock/Plastic
Hydraulic loading, m ³ /m ² .d	1-4	4-10	10-40	10-75	40-200
Organic Loading, kg BOD/m ³ .d	0.07-0.22	0.24-0.48	0.4-2.4	0.6-3.2	>1.5
Recirculation ratio	0	0-1	1-2	1-2	0-2
Filter flies	Many	Varies	Few	Few	Few
Sloughing	intermittent	Intermittent	Continuous	Continuous	Continuous
Depth, m	1.8-2.4	1.8-2.4	1.8-2.4	3.0-12.2	0.9-6
BOD Removal efficiency, %	80-90	50-80	50-90	60-90	40-70
Effluent quality	Well nitrified	Some nitrification	No nitrification	No nitrification	No nitrification
Power, kW/10 ³ m ³	2-4	2-8	6-10	6-10	10-20

Sumber : Metcalf & Eddy (2003)

Tabel 2.12 Klasifikasi Material atau Media Filter pada *Trickling Filter*

Packing Material	Nominal size, cm	Approx unit weight, kg/m ³	Approx specific surface area, m ² /m ³	Void Space, %	Application
River Rock (small)	2.5-7.5	1250-1450	60	50	N
River Rock (large)	10-13	800-1000	45	60	C,CN,N
Plastic-conventional	61 x 61 x 122	30-80	90	>95	C,CN,N
Plastic- high specific surface area	61 x 61 x 122	65-95	140	>94	N
Plastic random packing-conventional	Varies	30-60	98	80	C,CN,N
Plastic random packing- high specific surface area	Varies	50-80	150	70	N

*C = BOD Removal, N = Tertiary nitrification, CN = Combined BOD dan nitrification

Sumber : Metcalf & Eddy (2003)

Tabel 2.13 Klasifikasi Jenis Air Limbah

Type of Wastewater	k_1 value, (L/s) ^{0.5} /m ²
Domestic	0.210
Fruit canning	0.181
Kraft mill	0.108
Meat packing	0.216
Pharmaceutical	0.221
Potato processing	0.351
Refinery	0.059
Sugar processing	0.165
Synthetic dairy	0.170
Textile mill	0.107

Sumber : Germain (1966) dalam Metcalf & Eddy (2003)

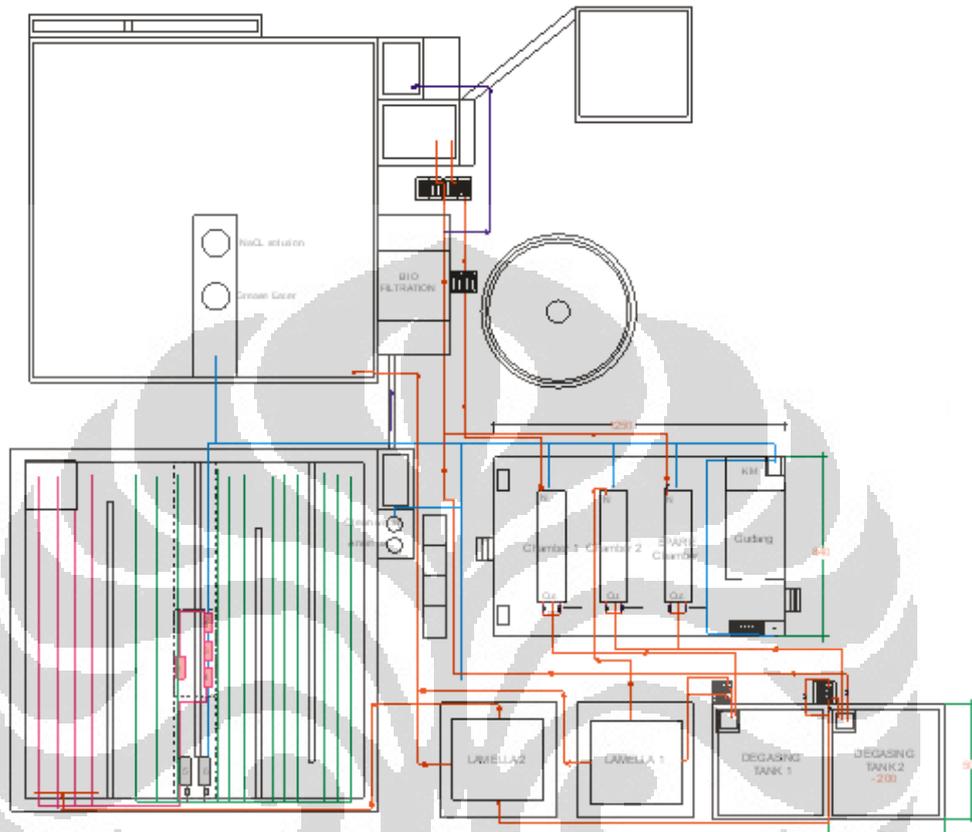
Tabel 2.14 Perbandingan Luas Permukaan Spesifik Media Biofilter

No.	Jenis Media	Luas Permukaan Spesifik (m ² /m ³)
1	Trickling filter dengan batu pecah	100-200
2	Modul sarang tawon (honeycomb modul)	15-240
3	Tipe Jaring	50
4	Bio-ball	200-235
5	RBC	80-150

Sumber : Nusa Idaman Said (2005)

2.10 Pengolahan Limbah Batik Kota Industri JABABEKA

Pengolahan limbah industri JABABEKA akan dipaparkan sesuai dengan gambar proses alir sebagai berikut ini :



Gambar 2.16 Proses Pengolahan Limbah Batik di JABABEKA

Sumber : JABABEKA Infrastruktur (2012)

Proses pengolahan limbah batik di JABABEKA meliputi proses penangkapan lemak yang mempergunakan grease trap, dilanjutkan dengan proses pengendapan pertama atau sedimentasi kemudian unit yang dipergunakan adalah koagulasi dengan mempergunakan bahan kimia dengan nama dagang chemiflok yang merupakan alum, pengadukan lambat pada pengolahan ini mempergunakan pompa dengan debit yang besar. Pada saat pompa dijalankan akan terjadi turbulen yang dianggap hampir sama dengan pengadukan cepat, untuk pengadukan lambat tetap menggunakan bak pengaduk. Sebelum masuk ke pengadukan lambat, limbah diberikan senyawa kimia tambahan berupa Ferro Sulfat dengan nama dagang SBN sehingga efisiensi menjadi lebih besar. Setelah melalui proses kimia, limbah batik kembali diendapkan pada *overflow* lamela sebelum menuju ke unit biologis yaitu

activated sludge dengan lumpur aktif dari oxidation ditch pengolahan limbah JABABEKA. Lumpur yang dihasilkan dari tiap unit dibawa ke *belt filter press*.



Gambar 2.17 Bak Penampung dan *Influen* Air Limbah

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2012)



Gambar 2.18 Bak Sedimentasi

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2012)



Gambar 2.19 Bak Pembubuhan Bahan Kimia

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2012)



Gambar 2.20 Bak Pengadukan Lambat

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2012)



Gambar 2.21 Bak *Overflow* Lamela atau Bak Pengendapan

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2012)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tipe Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen pengolahan air limbah industri batik. Penelitian dilakukan pada skala laboratorium dengan membuat design pengolahan biologis mempergunakan media biofilter yaitu *trickling filter*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui efisiensi kinerja dari media biofilter dalam mengurangi kadar pencemar yang terdapat pada air limbah batik sehingga *effluen* yang dihasilkan sudah sesuai dengan baku mutu.

3.2 Lokasi Studi

Lokasi studi untuk pengambilan sampel yang digunakan adalah kota industri JABABEKA, dengan COD *Influen* limbah batik JABABEKA yang didapat dari hasil pengujian laboratorium berkisar antara 400 mg/l sampai 1400 mg/l.

3.3 Waktu dan Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilaksanakan di laboratorium Teknik Lingkungan Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia dengan sampel yang diambil dari kota industri JABABEKA. Penelitian dilaksanakan dari bulan Februari - Juni 2012.

3.4 Metode Penelitian

3.4.1 Kerangka Kerja

Pada umumnya, penelitian eksperimental dilakukan dengan menempuh langkah-langkah seperti berikut (Sukardi, 2003):

1. Melakukan kajian secara induktif yang berkait erat dengan permasalahan yang hendak dipecahkan.
2. Mengidentifikasi dan mendefinisikan masalah.

3. Melakukan studi literatur dan beberapa sumber yang relevan, memformulasikan hipotesis penelitian, menentukan variabel, dan merumuskan definisi operasional dan definisi istilah.
4. Membuat rencana penelitian yang didalamnya mencakup kegiatan:
 - a. Mengidentifikasi variabel luar yang tidak diperlukan, tetapi memungkinkan terjadinya kontaminasi proses eksperimen;
 - b. menentukan cara mengontrol;
 - c. memilih rancangan penelitian yang tepat;
 - d. menentukan populasi, memilih sampel (contoh) yang mewakili serta memilih sejumlah subjek penelitian;
 - e. membagi subjek dalam kelompok kontrol maupun kelompok eksperimen;
 - f. membuat instrumen, memvalidasi instrumen dan melakukan studi pendahuluan agar diperoleh instrumen yang memenuhi persyaratan untuk mengambil data yang diperlukan;
 - g. mengidentifikasi prosedur pengumpulan data. dan menentukan hipotesis.
5. Melaksanakan eksperimen.
6. Mengumpulkan data kasar dan proses eksperimen.
7. Mengorganisasikan dan mendeskripsikan data sesuai dengan variabel yang telah ditentukan.
8. Menganalisis data dan melakukan tes signifikansi dengan teknik statistika yang relevan untuk menentukan tahap signifikansi hasilnya.
9. Menginterpretasikan hasil, perumusan kesimpulan, pembahasan, dan pembuatan laporan

3.4.2 Pengambilan Sampel

Sampel dalam penelitian ini merupakan sampel yang berasal kota industri JABABEKA, sampel pada penelitian ini adalah sejumlah contoh air limbah hasil pengolahan batik yang diambil setelah dilakukan proses pembatikan. Dalam merencanakan pengolahan air limbah pada skala laboratorium, dilakukan pertimbangan beberapa hal seperti:

1. Asal/sumber air limbah,

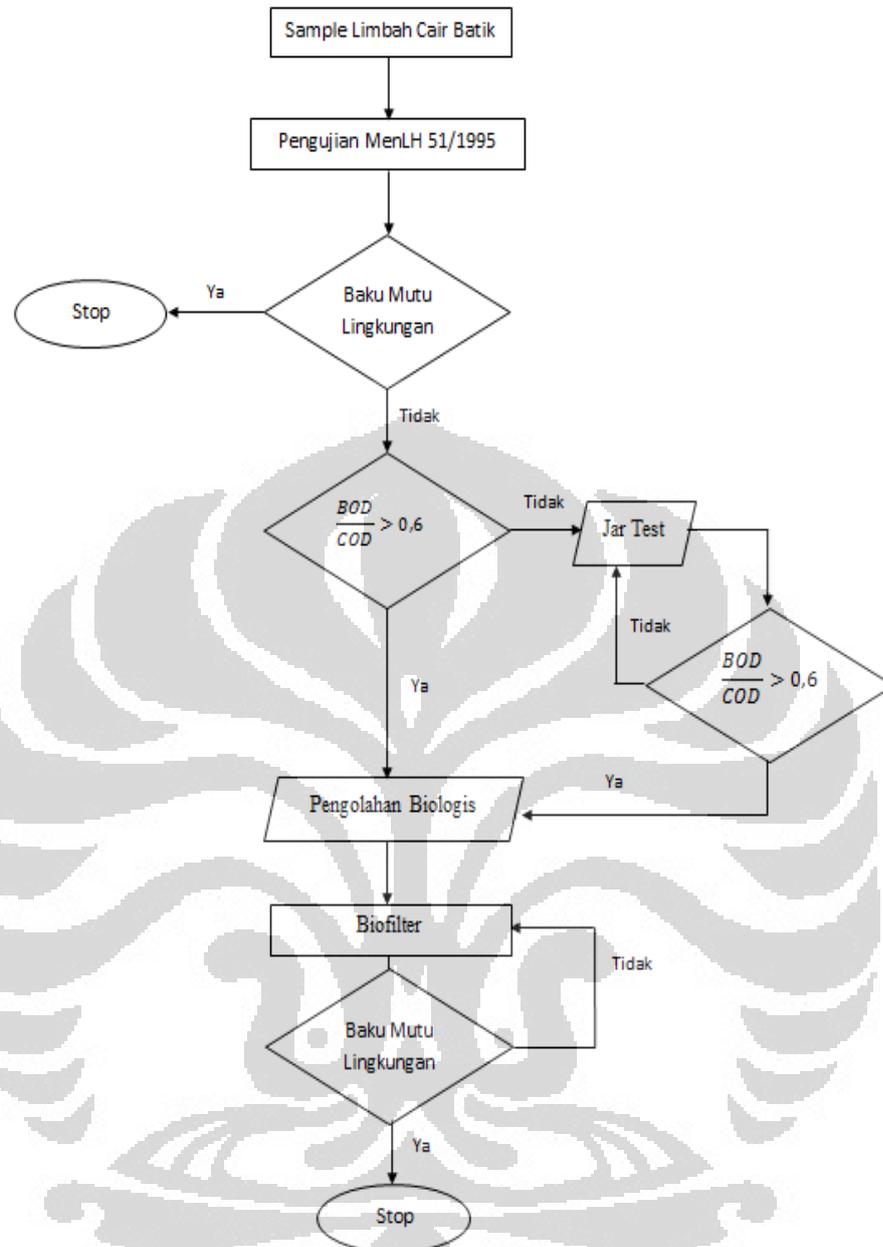
2. Volume limbah yang akan diolah,
3. Bahan pencemar yang terkandung dalam limbah,
4. Kandungan yang akan dihilangkan,
5. Pembuangan *effluen* limbah,
6. Regulasi yang berlaku

3.4.3 Proses Biologis Penelitian Air Limbah Batik

Prinsip pengujian sampel melalui proses biologis. Berdasarkan literatur yang didapatkan untuk melakukan penelitian ini, air limbah harus diolah terlebih dahulu melalui pengolahan fisika dan kimia. Penelitian ini akan terfokus pada proses biologis dengan pemantauan parameter COD. Apabila memantau BOD harus dilakukan selama lima hari, sehingga dalam penelitian ini digunakan parameter COD.

Sebagai pengolahan lanjut, pengolahan biologis memiliki beberapa aturan dimana pengolahan biologis bisa dilakukan apabila perbandingan antara BOD dengan COD sekitar 0,65 (Said dan Ineza 2002).

Pengolahan biologis dilakukan dengan mempergunakan bakteri Rumen yang berasal dari perut sapi sebagai bakteri pengolah untuk mengurai senyawa kimia yang terkandung pada air limbah batik. Pada penelitian ini, bakteri Rumen akan *diseeding* dan dimasukkan ke dalam air limbah batik yang sudah memenuhi kriteria BOD dengan COD ratio untuk pengolahan biologis atau telah melalui proses pretreatment terlebih dahulu yang kemudian dilanjutkan dengan proses *feeding*. Sistem yang dipergunakan pada saat proses *seeding* ada *batch* kemudian dilanjutkan sistem continuous pada proses *feeding*.



Gambar 3.1 Diagram Skema Penelitian

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

Proses pengolahan biologis dengan media biofilter pada penelitian ini memerlukan beberapa hal yaitu:

a. Media Biofilter

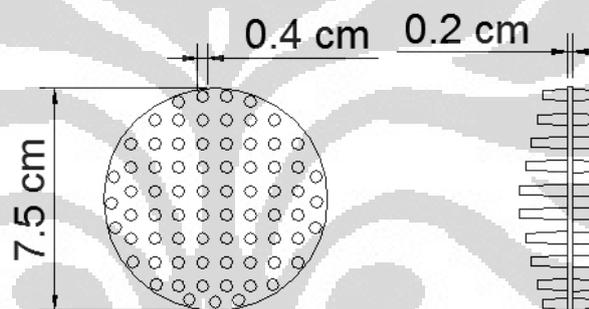
Media Filter yang dipergunakan adalah media dari bahan plastik PVC tipe bio-ball dengan spesifikasi tabel 3.1. Sedangkan bentuk media bio-ball dapat dilihat pada gambar 3.2. Pemilihan media biofilter berupa bio-ball

dipergunakan karena media bio-ball relatif lebih murah sehingga aplikatif dalam pengolahan limbah tingkat UKM serta relatif lebih mudah didapat.

Tabel 3.1 Spesifikasi Media Biofilter yang Dipergunakan

Type	Bio ball
Material	PVC
Bentuk	Bola
Ukuran	Diameter 7,5 cm
Luas Spesifik	$\pm 230 \text{ m}^2/\text{m}^3$
Porositas Rongga	0,92
Warna	Hitam

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)



Gambar 3.2 Bioball

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

Design volume media biofilter disesuaikan dengan kebutuhan dan visibilitas untuk mendapatkan air. Dalam pembuatan design ini hal yang pertama kali ditentukan adalah volume. Volume unit media filter sebesar 45 Liter yang kemudian dibuat menjadi sebuah kubus terbuat dari bahan akrilik yang memiliki tebal 8 mm dengan tinggi 40 cm serta lebar dan panjang yang sama yaitu sebesar 30 cm.

Media biofilter yang dipergunakan adalah bioball yang terbuat dari plastik dan berbentuk pipih, bentuk seperti ini dipergunakan karena luasan yang dipergunakan sama sehingga sistem *attach growth* akan lebih mudah karena sistem ini tergantung luas permukaan. Bioball merupakan tempat proses

biologis berlangsung, dengan kata lain bioball merupakan media tempat bakteri pengurai limbah berada. Bioball yang dipergunakan memiliki diameter sebesar 7,5 cm dengan memiliki banyak rongga sebanyak 73 buah dengan tinggi yang bervariasi. Volume 1 unit bioball berdasarkan perhitungan sebesar 30 cm³. Bioball diletakkan secara vertikal akan tetapi media bioball diletakkan di unit secara tidak teratur dengan tujuan untuk memperluas daerah penyerapan air limbah pada waktu limbah masuk ke media biofilter ini.

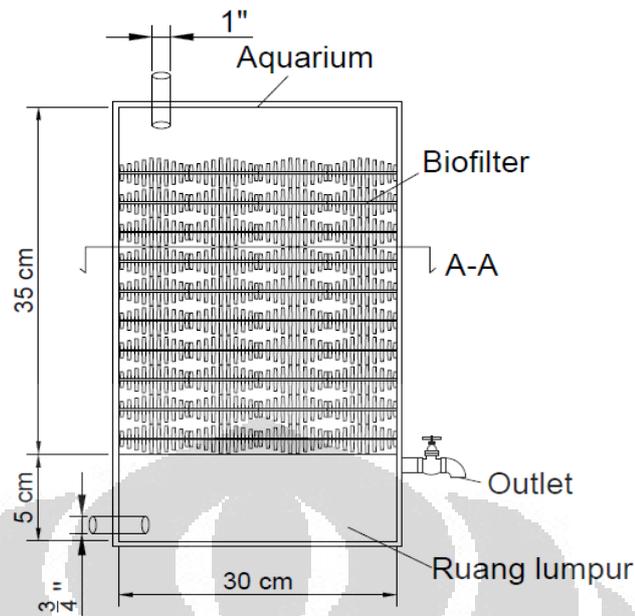
b. Model Reaktor

Pengolahan air limbah dilakukan dengan cara mengoperasikan reaktor biologis yang terdiri dari bak pretreatment, dan biofilter *anaerob*. Pada skala laboratorium akan dibuat reaktor dengan lebar 30 cm dengan panjang 30 cm serta tinggi 40 cm. Spesifikasi reaktor dan perlengkapannya ditunjukkan pada tabel 3.5.

Tabel 3.2 Spesifikasi Reaktor Biofilter

Uraian	Keterangan
Reaktor :	
• Bahan	Kaca, tebal 8 mm
• Tinggi	40 cm
• Panjang	30 cm
• Lebar	30 cm
• Volume	36 liter

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)



Gambar 3.3 Reaktor Biologis

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

Dalam media biofilter ini dibuat menjadi beberapa bagian dimana terdapat ruang lumpur, sebagai penyangga bioball dibuat penyangga dengan bahan akrilik yang dilubangi sehingga ruang lumpur dapat terbuat. Outlet dibuat lebih tinggi atau lebih tepatnya berada di batasan penyangga bertujuan untuk menghindari penumpukan lumpur sehingga air limbah dapat tetap berjalan tanpa terhambat oleh lumpur yang dihasilkan dari proses biologis.

Untuk mengatasi pengendapan media biofilter dibuat ruang lumpur sebesar 5 cm dari dasar media, kemudian dibuat pipa pembuangan yang terletak dibawah dasar media dengan ukuran pipa sebesar $\frac{3}{4}$ inch. Selain ruang pengendapan, media biofilter dilengkapi dengan penutup yang diberikan saluran untuk masuknya air ke dalam media biofilter. Media biofilter dibuat tertutup bertujuan untuk mengisolasi atau melindungi sistem dari pengaruh udara luar yang memungkinkan mengubah sistem pengolahan dikarenakan udara diluar media biofilter juga mengandung senyawa-senyawa dan bakteri yang dapat mengubah proses.

Air limbah yang telah mengalami proses pretreatment dari IPAL di JABABEKA ditampung ke dalam tangki penampung atau wadah penampung, selanjutnya dialirkan ke media biofilter. Dikarenakan sistem pengoperasian

merupakan proses *batch* maka air limbah hanya akan dimasukkan ke dalam reaktor biofilter. Waktu yang diperlukan untuk pengisian wadah media filter ditentukan oleh waktu tinggal. Yang dimaksud dengan waktu tinggal adalah lamanya air limbah menempati reaktor biologis.

a. Proses Pengembangbiakan Mikroorganisme (*Seeding*)

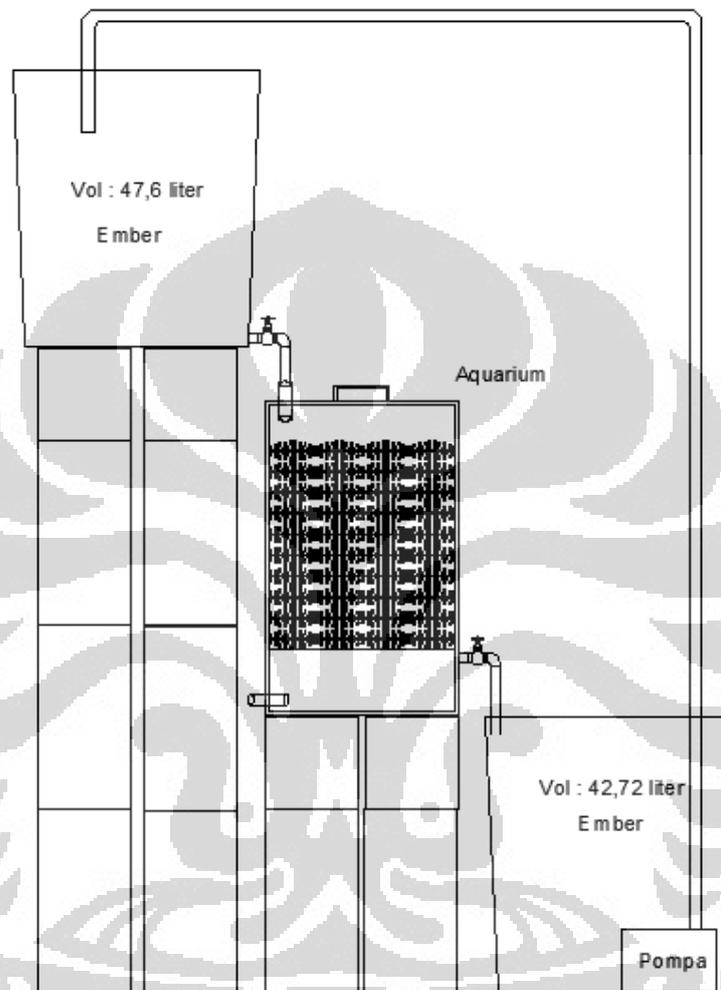
Seeding atau disebut juga sebagai pembiakan mikroba merupakan langkah awal dari penelitian reaktor biologis. Dalam tahapan ini dilakukan upaya untuk menumbuhkan mikroorganisme pada media filter. Mikroorganisme ini sangat berperan penting dalam proses pengolahan biologis ini. Di dalam penelitian ini, *seeding* dilakukan secara alami yaitu dengan langsung membiakkan mikroorganisme di dalam reaktor. Bakteri yang dipergunakan berupa bakteri yang berasal dari perut sapi atau rumen sapi. Rumen sapi berasal dari Rumah Potong Hewan Cakung, bakteri yang diambil berupa air limbah cucian dari perut sapi

Air limbah perut sapi dipilih untuk pembiakan ini dikarenakan limbah perut sapi kaya akan sumber nutrisi yang diperlukan mikroorganisme untuk hidup pada air limbah perut sapi tidak perlu ditambahkan nutrisi dan juga di dalam air tersebut terkandung berbagai mikroorganisme yang tahan terhadap limbah dengan tingkat konsentrasi kimia tinggi. Dengan demikian, proses pembiakan tidak perlu memakan waktu terlalu lama.

Sistem *seeding* yang dipergunakan pada penelitian ini merupakan sistem *batch* konvensional yang mempergunakan gravitasi serta debit untuk resirkulasi mempergunakan keran. Pada sistem ini dipergunakan 2 ember dengan volume yang melebihi reaktor, ember 1 memiliki volume 47,6 liter dan memiliki keran untuk mengalirkan air pada permukaan ember. Sedangkan ember 2 memiliki volume 42,72 liter dan tidak memiliki keran untuk pembuangan. Pada sistem ini dipergunakan pompa dengan head sebesar 2 meter sehingga air dapat dipompakan ke ember pertama.

Debit yang dipergunakan untuk proses *seeding* ini diambil dari waktu tinggal. Waktu tinggal yang dipergunakan adalah 8 jam sehingga, dengan volume reaktor sebesar 32 liter maka didapat debit sebesar 4 liter per jam setara dengan 1,1 ml per detik. Untuk mendapatkan debit ini keran pada unit

diatur serta pompa di set dengan timer sehingga 8 jam sekali dilakukan pemompaan hingga terbentuk biofilm. Setelah lapisan lendir atau biofilm telah tumbuh dapat dilakukan aklimatisasi.



Gambar 3.4 Proses *Seeding*

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

b. Adaptasi atau Aklimatisasi

Aklimatisasi adalah pengadaptasian mikroorganisme terhadap air buangan yang akan diolah. Pengadaptasian dilakukan dengan cara mengganti air limbah perut sapi secara perlahan dengan air limbah batik. Lapisan biofilm yang terbentuk akan semakin menebal. Akhir dari aklimatisasi adalah ketika air limbah perut sapi telah 100 % tergantikan dengan air limbah batik. Dalam proses pengadaptasian ada beberapa hal yang diperhatikan yaitu

temperatur serta pH. Bakteri dapat hidup di lingkungan dengan suhu kamar dan tingkat keasaman netral. Waktu pentahapan dilakukan selama 3 hari sebelum dilanjutkan ke tahap berikutnya.

Tabel 3.3 Tahapan Aklimatisasi (Durasi 3 Hari)

Tahapan	Air limbah domestik (%)	Air limbah batik (%)
Tahap I	90	10
Tahap II	80	20
Tahap III	70	30
Tahap IV	60	40
Tahap V	50	50
Tahap VI	40	60
Tahap VII	30	70
Tahap VIII	20	80
Tahap IX	10	90
Tahap X	0	100

Sumber : Nusa Idaman Said (2005)

3.5 Variabel Penelitian

Variasi waktu pengambilan sampel yang melalui reaktor antara lain dari hari ke 0 sampai hari ke 7. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan pengolahan limbah batik dalam mengurangi kandungan COD dari limbah batik. Parameter yang dipakai dalam proses biologis antara lain konsentrasi COD, BOD, nitrogen, fosfor, dan pH yang dihasilkan dari proses pengolahan dengan media trickling filter. Waktu tinggal yang dipergunakan adalah 8 jam.

3.6 Data Penelitian

3.6.1 Pengukuran Sampel Air Limbah Batik

Untuk mengetahui kandungan kimia dan senyawa organik pada air limbah, dilakukan pengukuran sampel air limbah batik telah mengalami

pengolahan pretreatment. parameter yang akan ditinjau yaitu COD. Titik pengambilan merupakan air limbah yang telah mengalami proses kimiawi.

3.6.2 Pengukuran Sampel Air Limbah Batik Setelah Melalui Pengolahan

Untuk mengetahui hasil pengolahan terhadap limbah batik, maka dilakukan pengujian terhadap parameter kunci yang dilakukan pada penelitian ini yaitu COD pada skala laboratorium. Hal ini bertujuan untuk melihat seberapa efektif perlakuan yang diberikan kepada limbah batik.

3.6.3 Pengumpulan Data

Data yang diambil dari penelitian ini adalah data COD pada saat limbah mengalami proses *seeding* dan *feeding*. Pada saat proses *seeding* data yang diambil hanya data konsentrasi COD. Kemudian pada proses *feeding* data yang diambil adalah data konsentrasi COD kadar Nitrogen, Fosfor, dan pH yang terkandung dalam limbah cair tersebut. Data yang didapatkan akan dibuat grafik perubahan konsentrasi tiap harinya sehingga perubahan yang terjadi dapat dilihat.

3.7 Analisis Data

Air limbah industri batik setelah melalui proses biologi yang mempergunakan metode Bikromat dengan COD akan dibandingkan antara air limbah tanpa perlakuan dengan air limbah yang mengalami perlakuan. Hasil dari analisis akan diketahui berapa besar pengaruh kadar COD setelah dilakukan pengolahan biologi. Setelah melalui proses akan dilihat tingkat efisiensi antara nilai sebelum dan sesudah proses, seperti rumus dibawah ini. Perhitungan efisiensi:

$$E = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \times 100\%$$

Dimana :

E = Efisiensi

S₁ = Konsentrasi COD sebelum Treatment

S₂ = Konsentrasi COD setelah Treatment

Konsentrasi unsur C, N, dan P pada air limbah industri batik melalui proses biologis diperoleh dengan beberapa metode. Untuk P mempergunakan metode spektrofotometri.

$$P = \frac{mg}{l} \times fp \times \frac{P}{PO_4} \rightarrow P = \frac{mg}{l} \times fp \times \frac{31}{95}$$

Sedangkan untuk mendapatkan nilai N untuk persiapannya mempergunakan metode Kurmice dengan analisa dengan metode spektrofotometri No.420 dengan panjang 610 nm.

$$N = \frac{mg}{l} \times \frac{fp}{10} \times 1000 \times \frac{N}{NH_3} \rightarrow N = \frac{mg}{l} \times \frac{fp}{10} \times 1000 \times 0,7766$$

Untuk mendapatkan nilai BOD yang terkandung dalam air limbah dengan metode titrimetri.

$$DO \frac{mg}{l} = \frac{B}{B - 2} \times 5,6 \times 10 \times N \times V$$

Perhitungan konsentrasi COD yang terkandung dalam air limbah :

$$COD \frac{mg}{l} = \frac{(Vol\ blanko - vol\ sample) \times 0,05 \times 8000}{2,5} \times Fp$$

Keterangan

B = volume botol sampel BOD = 250 ml

B - 2 = volume air dalam botol sampel setelah ditambah 1 ml larutan $MnCl_2$ dan 1 ml NaOH - KI.

5,6 = konstanta yang sama dengan ml oksigen ~ 1 mg tiosulfat

10 = volume $K_2Cr_2O_7$ 0,01 N yang ditambahkan

N = normalitas tiosulfat

V = volume tiosulfat yang dibutuhkan untuk titrasi.

Mg/l = konsentrasi yang dihasilkan analisa DR 2000

Fp = Faktor pengencer

Tabel 3.4 Matrix penelitian

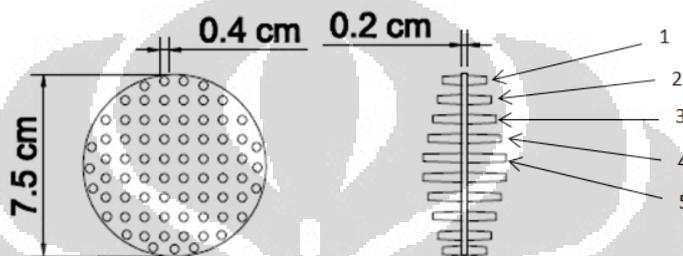
Metode	Variabel	Satuan	Status Data	Sumber Data	Periode Pengamatan	Standar Pengujian	Keterangan
<i>Seeding</i> dan Aklimatisasi	COD	mg/L	<ul style="list-style-type: none"> • Primer • Sekunder 	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Sample • Literatur 	April- Mei 2012	SNI 06-6989.15-2004 Air dan air limbah - Bagian 15 : Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dengan refluks terbuka secara titrimetri	Pengukuran COD setelah melalui media filter akan menunjukkan tingkat keberhasilan desain trickling. Diharapkan COD akan masuk ke dalam parameter air limbah buangan
<i>Feeding</i>	<i>Biologis</i> BOD	mg/L	<ul style="list-style-type: none"> • Primer • Sekunder 	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Sample • Literatur 	Juni 2012	SNI 6989.72:2009 Air dan air limbah - Bagian 72 : Cara uji Kebutuhan Oksigen Biokimia (BioChemical Oxygen Demand / BOD)	BOD diukur pada saat limbah yang telah mengalami jar test kemudian setelah melalui media filter. Akan dilihat besarnya <i>Removal</i> setelah melalui media filter yang berisi bakteri <i>anaerob</i>
	<i>Kimia</i> pH	-	<ul style="list-style-type: none"> • Primer 	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Sample 	Juni 2012	SNI 06-6989.11-2004 Air dan air limbah - Bagian 11 : Cara uji derajat keasaman (pH) dengan menggunakan alat pH meter	pH terlalu Asam atau Basa akan membunuh bakteri dalam media filter
	COD	mg/L	<ul style="list-style-type: none"> • Primer • Sekunder 	<ul style="list-style-type: none"> • Uji Sample • Literatur 	Juni 2012	SNI 06-6989.15-2004 Air dan air limbah - Bagian 15 : Cara uji kebutuhan oksigen kimiawi (KOK) dengan refluks terbuka secara titrimetri	Pengukuran COD setelah melalui media filter akan menunjukkan tingkat keberhasilan desain trickling. Diharapkan COD akan masuk ke dalam parameter air limbah buangan

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

BAB 4
HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

4.1 Perancangan Bio Reaktor (Media Biofilter)

Pada Penelitian pengolahan limbah biologis dengan metode *trickling filter* dengan ukuran media yang dibuat untuk skala pilot. Media *trickling filter* yang terbuat bahan berupa akrilik dan media biofilter yaitu bioball.



Gambar 4.1 Ukuran Bio Ball

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

Perhitungan Vol Bioball

$$\text{Volume} = \pi \times r^2 \times t$$

$$\text{Volume Permukaan} = \pi \times 0,2 \times 3,75^2 = 8,83125 \text{ cm}^3$$

Jumlah titik 1 = 24 buah dengan tinggi 0,8 cm

$$\text{Volume 1} = \pi \times 0,2^2 \times 0,8 \times 24 = 2,41152 \text{ cm}^3$$

Jumlah titik 2 = 22 buah dengan tinggi 1,1 cm

$$\text{Volume 2} = \pi \times 0,2^2 \times 1,1 \times 22 = 3,03952 \text{ cm}^3$$

Jumlah titik 3 = 11 buah dengan tinggi 1,4 cm

$$\text{Volume 3} = \pi \times 0,2^2 \times 1,4 \times 11 = 2,41152 \text{ cm}^3$$

Jumlah titik 4 = 11 buah dengan tinggi 1,5 cm

$$\text{Volume 4} = \pi \times 0,2^2 \times 1,5 \times 11 = 2,0724 \text{ cm}^3$$

Jumlah titik 5 = 5 buah dengan tinggi 1,6 cm

$$\text{Volume 5} = \pi \times 0,2^2 \times 1,6 \times 5 = 1,0048 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume Total Pori} = 10,46 \text{ cm}^3 \times 2 = 20,92 \text{ cm}^3$$

$$\text{Volume Bioball} = \text{Volume permukaan} + \text{Volume Total Pori}$$

$$20,92 \text{ cm}^3 + 8,83125 \text{ cm}^3 = 29,735 \approx 30 \text{ cm}^3$$

Maka volume bioball per buah 30 cm^3

Perhitungan volume media biofilter

Jumlah bioball = 160 buah

Volume 1 bioball = 30 cm^3

$Vol Total = (40 \times 30 \times 30) - (160 \times 30) = 31,2 \text{ liter}$



Gambar 4.2 Bio Reaktor

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2012)

4.2 Proses Pembuatan Biofilm Pada Media Biofilter (*Seeding Bakteri*)

Pertumbuhan bakteri melalui beberapa fase yaitu fase lag, fase eksponensial, fase stasioner, dan fase penurunan populasi atau fase kematian. Fase stasioner (*Stationary phase*). Populasi mikroba memasuki fase stasioner melalui beberapa hal, kekurangan nutrisi, perubahan pH, kandungan oksigen yang mengakibatkan penurunan kecepatan pertumbuhan. Selama fase ini, jumlah sel yang hidup tetap konstan untuk periode yang berbeda, bergantung pada bakteri, tetapi akhirnya menuju periode penurunan populasi.

Fase penurunan populasi atau fase kematian (*Senescence and Death*). Pada saat medium kehabisan nutrisi maka populasi bakteri akan menurun jumlahnya, pada saat ini jumlah sel yang mati lebih banyak daripada sel yang hidup.

Dalam proses pengolahan biologis dengan sistem attach growth, bakteri dibiarkan hidup di media trickling yang berupa bioball. Pengolahan dengan proses pertumbuhan terlekat (*attach growth*) dilakukan dengan mengmobilisasi mikroba pada padatan pendukung membentuk lapisan tipis yang disebut dengan biofilm.

Biofilm adalah lapisan yang terbentuk oleh koloni sel-sel mikroba dan melekat pada permukaan substrat, berada dalam keadaan diam, karakter berlendir, dan tidak mudah terlepas (Madigan et al, 1997). Biofilm merupakan suatu agregat mikroba sejenis maupun berbeda jenis yang melekat pada permukaan substrat biologis maupun non biologis, dimana satu sel dengan sel yang lainnya saling terikat dan melekat pada substrat dengan perantara suatu matrik *extracellular polymeric substance* (EPS) atau disebut juga *exopolysaccharide* (Hall-Stoodley, 2004; Madigan et al, 1997).

Untuk membentuk biofilm dilakukan proses *seeding*, dengan cara mengalirkan air cucian perut sapi secara kontinyu ke dalam reaktor biofilter. Akan tetapi karena terbatasnya air cucian perut sapi, maka proses dilakukan dengan meresirkulasi air cucian perut sapi ke bio reaktor.

Sebelum dilakukan *seeding* atau proses pembentukan biofilm, dilakukan pengujian kadar COD dari air cucian perut sapi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kadar COD yang terkandung pada air limbah perut sapi.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian COD Limbah Perut Sapi Tanggal 24 April 2012

Hasil Pengujian Limbah Perut Sapi Tanggal 24 April 2012					
	1	2	Rata-rata	COD	
Blanko	1,6	1,4	1,5	-	
5x	0,3	0,4	0,35	368	1840
10x	1,1	0,8	0,95	176	1760
20x	1,2	1,2	1,2	96	1920
25x	0,8	1,35	1,075	136	3400
50x	1,2	1,3	1,25	80	4000
100x	1	1,1	1,05	144	14400

Sumber :Hasil Pengolahan (2012)



Gambar 4.3 Limbah Cucian Perut Sapi

Sumber : Hasil Dokumentasi

Pengujian kandungan COD pada limbah perut sapi dilakukan beberapa kali dengan sampel yang sama. Hal ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi yang mendekati kebenaran, air cucian perut sapi mengalami pengenceran sebesar 5x, 10x, 20x, 25x, 25x, 50x, dan 100x dengan perlakuan secara duplo. Didapatkan pada pengenceran 5x, 10x, 20x data hampir mendekati kebenaran, berdasarkan statistik jumlah angka yang banyak muncul merupakan data yang hampir mendekati kebenaran. Pada 20x, 25x, 50x, 100x data diabaikan karena hasil COD yang terlalu jauh, hal ini terjadi karena penggunaan konsentrasi FAS untuk mengukur COD dengan metode titrimetri terlalu besar, dengan kemampuan buret meneteskan sebesar 0,05 dengan konsentrasi FAS yang besar mengakibatkan 1 tetes sudah berpengaruh cukup besar terhadap perubahan warna COD. Melalui data pada tabel 4.1, dapat diperkirakan bahwa COD air cucian perut sapi atau bakteri rumen sebesar 1840 mg/l.

Setelah mendapatkan data COD dari bakteri rumen, dilakukan pengukuran COD limbah batik. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kandungan senyawa kimia yang terkandung pada limbah batik tersebut. Data COD limbah batik diperoleh langsung dari pihak *Waste Water Treatment Plant* JABABEKA.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian COD Limbah JABABEKA

Tanggal	pH Inf	DO Inf	COD Inf	COD Ov-lam	COD Eff
01-Mar-12		1,1	2285	952	324
02-Mar-12			1999	809	286
03-Mar-12			1714	809	265
04-Mar-12		1,35	1904	1142	343
05-Mar-12		1,3	1714	1000	305
06-Mar-12		1,3	1999	1095	267
07-Mar-12		1,2	1347	1010	242
08-Mar-12		2,3	1778	1010	388
09-Mar-12	9,26	1,5	1454	1010	420
10-Mar-12	9,1	2,4	1293	889	194
11-Mar-12	9,13	1,7	1131	808	194
12-Mar-12	9,61	2,3	1374	889	372
13-Mar-12	10,46	1,8	1616	929	372
14-Mar-12	10,17	2,2	1535	970	388
15-Mar-12	10,19	1,1	2020	970	404
16-Mar-12	10,53	1,2	1939	1293	388
17-Mar-12	10,47	1,3	1293	682	242
18-Mar-12	10,82	1,2	1454	768	242
19-Mar-12	11,73	2,3	1454	485	194
20-Mar-12	10,81	2,1	1374	1050	275
21-Mar-12	10,6	1,3	1454	1616	388
22-Mar-12	11,49	1,5	1697	1131	356
23-Mar-12	11,2	2,1	2020	1697	339
24-Mar-12	11,19	1,6	1778	1050	356
25-Mar-12	11,41	1,5	1535	606	242
26-Mar-12	11,44	1,7	1858	1050	388
27-Mar-12	11,74	1,5	1535	1379	404
28-Mar-12	11,91	1,4	1939	1616	372
29-Mar-12	11,83	1,3	2020	1535	372
30-Mar-12	11,77	1,2	1697	1374	404
31-Mar-12	11,55	1,2	1535	1212	291
01-Apr-12	11,49	1,3	1778	1374	356
02-Apr-12	9,03	1,3	1516	1432	303
03-Apr-12	8,82	1,5	1011	842	101
04-Apr-12	11,6	2,3	1095	758	202
05-Apr-12	8,95	1,1	1264	1264	253
06-Apr-12	10	1,3	1685	1516	253
07-Apr-12	9,23	1,4	1853	1432	286
08-Apr-12			2022	1179	758
09-Apr-12	11,21	1,6	2022	1348	674
10-Apr-12			1685	842	505
11-Apr-12			1853	1685	286
12-Apr-12			1853	1348	421
13-Apr-12			1685	1179	379
14-Apr-12			898	421	379
15-Apr-12	9,17		1454	682	409
16-Apr-12	11,6		2359	1179	590
	10,8	1,58	1616	1115	353

Sumber : Jababeka Infrastruktur (2012)

COD *influen* adalah kondisi COD pada saat baru memasuki unit pengolahan batik, sedangkan COD *Overflow* Lamela adalah COD limbah yang telah mengalami proses kimia dengan penambahan koagulan serta melalui proses pengadukan cepat dan lambat. COD *effluen* adalah COD pada saat limbah keluar setelah melalui proses pengolahan.

Data COD limbah cair batik menunjukkan angka yang bervariasi, konsentrasi limbah cair batik yang dihasilkan disesuaikan dengan jumlah penggunaan pewarna batik. Melalui data ini diperoleh rata-rata COD *influen* yang dihasilkan sebesar 1616 mg/l sedangkan COD *Overflow* Lamela yang dihasilkan sebesar 1115 mg/l, dan yang terakhir COD *effluen* sebesar 352 mg/l. Pada penelitian ini dipergunakan limbah *overflow* lamela, hal ini karena pada saat pembuatan konsep penelitian telah diteliti terlebih dahulu bahwa BOD dan COD ratio kurang dari 0,6 sehingga harus melalui proses kimia terlebih dahulu. Sehingga dilakukan pendekatan pada penelitian ini dengan melakukan pendekatan konsentrasi COD limbah batik berkisar antara 1115 mg/l.

Untuk memulai proses pengolahan biologis, hal yang pertama dilakukan dengan proses penyetaraan yang bertujuan untuk menyamakan nutrisi yang dimiliki oleh limbah cair batik dengan jumlah mikroorganisme yang terkandung dalam limbah perut sapi. Maka pada proses ini, konsentrasi COD dari air limbah bakteri rumen mengalami pengenceran sebanyak 2 kali sehingga setara dengan konsentrasi COD limbah batik. Hal ini dapat dilihat melalui tabel 4.1 konsentrasi COD perut sapi antara 1840 mg/l sampai 1920 mg/l, dan melalui tabel 4.2 konsentrasi COD limbah cair batik sebesar 1115 mg/l.



Gambar 4.4 Proses *Seeding*

Sumber : Dokumentasi Pribadi (2012)

4.3 Proses Pelaksanaan Aklimatisasi

Proses aklimatisasi adalah pengadaptasian mikroorganisme terhadap air buangan yang akan diolah. Pengadaptasian dilakukan dengan cara mengganti air limbah domestik secara perlahan dengan air limbah dari industri batik. Pada proses pengadaptasian dilakukan resirkulasi air limbah, yang bertujuan untuk mengurangi kecenderungan bakteri rumen mati karena belum sempat beradaptasi pada lingkungan yang tercemar atau berbeda dari bakteri itu berada. Akhir dari aklimatisasi adalah ketika lapisan biofilm yang terbentuk semakin tebal dan efisiensi penurunan konsentrasi COD yang cukup tinggi dan stabil serta air buangan perut sapi telah 100% tergantikan dengan air buangan industri batik. Aklimatisasi dilakukan hingga konsentrasi *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan tidak mengalami perubahan yang cukup besar, dimana pada saat tersebut bakteri dianggap telah aktif untuk degradasi. (Wirda dan Handajani 2009). Tahapan proses aklimatisasi dapat dilihat pada Tabel 4.3 dengan kebutuhan air pada aklimatisasi adalah 32 liter.

Tabel 4.3 Tahapan Aklimatisasi

Tanggal <i>Influen</i> Limbah Batik	Tahapan	Perencanaan				Pelaksanaan			
		Air Rumen Sapi		Air Limbah Industri Batik		Air Rumen Sapi		Air Limbah Industri Batik	
25-Apr	Tahap 0	100%	32 liter	0%	0 liter	100%	32 liter	0%	0 liter
	Tahap 1	90%	28,8 liter	10%	3,2 liter	91,9%	32 liter	9,1%	3,2 liter
05-Mei	Tahap 2	80%	25,6 liter	20%	6,4 liter	83,3%	32 liter	16,7%	6,4 liter
	Tahap 3	70%	22,4 liter	30%	9,6 liter	76,9%	32 liter	23,1%	9,6 liter
13-Mei	Tahap 4	60%	19,2 liter	40%	12,8 liter	71,4%	32 liter	0,3	12,8 liter
	Tahap 5	50%	16 liter	50%	16 liter	66,7%	32 liter	33,30%	16 liter
19-Mei	Tahap 6	40%	12,8 liter	60%	19,2 liter	62,5%	32 liter	37,50%	19,2 liter
	Tahap 7	30%	9,6 liter	70%	22,4 liter	58,8%	32 liter	41,20%	22,4 liter
27-Mei	Tahap 8	20%	6,4 liter	80%	25,6 liter	55,6%	32 liter	44,40%	25,6 liter
	Tahap 9	10%	3,2 liter	90%	28,8 liter	52,6%	32 liter	47,40%	28,8 liter
	Tahap 10	0%	0 liter	100%	32 liter	50%	32 liter	50%	32 liter

Sumber :Hasil Olahan (2012)

Pada kenyataannya proses aklimatisasi pada penelitian ini memiliki proses yang hampir sama dengan proses yang dilakukan Nusa idaman Said 2005, tetapi yang membedakan adalah tidak dibuangnya air rumen sapi sehingga dapat dibuat tahapan proses aklimatisasi yang baru. Dalam proses aklimatisasi, sampel limbah batik yang dipergunakan diambil sebanyak 5 kali. penelitian ini merupakan skala pilot maka dibuat sistem dimana *influen* air limbah pada reaktor memiliki konsentrasi yang berbeda. Dikarenakan keterbatasan dalam mengambil air limbah batik, dalam 1 kali proses pengambilan sampel air limbah batik dipergunakan untuk 2 pentahapan aklimatisasi seperti pada tabel 4.3.

Berdasarkan proses yang baru menghasilkan volume yang berlebih yaitu sebesar 32 liter bakteri rumen sapi dan 32 liter limbah industri batik. Tahapan aklimatisasi seperti ini terjadi karena pada dasarnya untuk mengadaptasikan bakteri pada lingkungan yang berbeda sehingga bakteri tidak mengalami “*shock*”

yang dapat membuat bakteri yang telah terbentuk melalui biofilm atau layer biofilm menjadi mati dan tidak dapat mengurai kandungan kimia. Melalui tahapan aklimatisasi yang baru terjadi perbandingan 1:1 antara kedua limbah sedangkan pada perencanaan limbah bakteri rumen akan tergantikan oleh limbah batik.

Proses aklimatisasi ini sama dengan proses *seeding*, dimana terjadi resirkulasi air limbah dengan jangka waktu 3 hari per tahapan. Debit air limbah pada saat proses resirkulasi disesuaikan pula sesuai dengan waktu tinggal 8 jam yaitu sebesar 1,11 ml/s. Akan tetapi pada kenyataannya sulit sekali mendapatkan debit yang stabil sebesar 1,11ml/s sehingga debit untuk resirkulasi ini sering kali berubah-ubah. Pada proses resirkulasi ini yang menjadi perhatian adalah biofilter atau media biofilter yang sedang membentuk biofilm harus tetap terendam oleh air limbah walaupun sempat terjadi biofilter tidak terendam karena debit yang mengecil karena terdapat penyumbatan di keran pengatur.

Pada Tahap 0 dimana air limbah merupakan limbah perut sapi, layer biofilm mulai terbentuk dapat dijelaskan bahwa bakteri berada dalam fase lag (*Lag Phase*), ketika mikroorganisme yang dipindahkan ke media kultur yang baru, biasanya tidak ada peningkatan jumlah sel segera terjadi, sehingga periode ini disebut fase lag. meskipun pembelahan sel tidak terjadi dalam waktu yang singkat dan tidak ada kenaikan jumlah massa, sel tersebut bersintesis membentuk komponen baru. Fase ini, ditandai dengan peningkatan komponen makromolekul, aktivitas metabolik, dan kerentanan terhadap zat kimia dan faktor fisik. Fase lag merupakan suatu periode penyesuaian yang sangat penting untuk penambahan metabolisme pada kelompok sel, menuju tingkat yang setara dengan sintesis sel maksimum.

Setelah sel dianggap mencapai maksimum atau sudah stabil kemudian ditambahkan 10 persen limbah batik dengan konsentrasi COD 1454 mg/l . Untuk melihat perubahan pada sistem, dilakukan pengujian sampel pada saat 10% selama 3 hari berturut-turut untuk melihat konsentrasi COD yang merupakan indikator bakteri tetap hidup. Hal ini dilakukan karena masa kritis proses aklimatisasi adalah pada saat tahap pertama, apabila terlalu cepat menuju tahap kedua dan selanjutnya ada kemungkinan bakteri atau biofilm menjadi rusak. Setelah Melalui tahapan pertama, pengujian COD pada tahap kedua dan tahap

selanjutnya hingga tahap kesepuluh dilakukan setiap 3 hari sekali. Sebuah bakteri tunggal dalam kondisi pertumbuhan yang tidak terbatas, bisa menghasilkan biomassa sekitar 3 hari (J. Postgate 1994).

Tabel 4.4 COD *Influen* Batik JABABEKA pada Proses Aklimatisasi

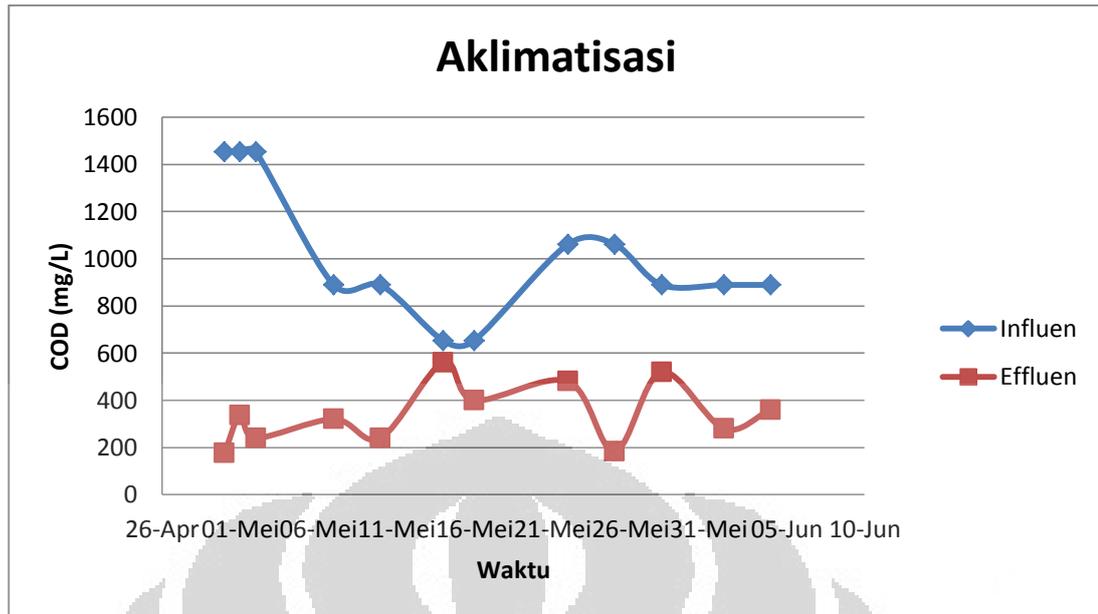
Tanggal	Inlet		<i>Overflow</i> Lamela	
25-Apr	1999	Ppm	1454	ppm
05-Mei	1550	Ppm	898	ppm
13-Mei	816	Ppm	653	ppm
19-Mei	1632	Ppm	1061	ppm
27-Mei	1050	Ppm	889	ppm

Sumber :Hasil Pengolahan (2012)

Tabel 4.5 COD *Effluen* dengan Persen *Removal* Batik JABABEKA pada Saat Aklimatisasi

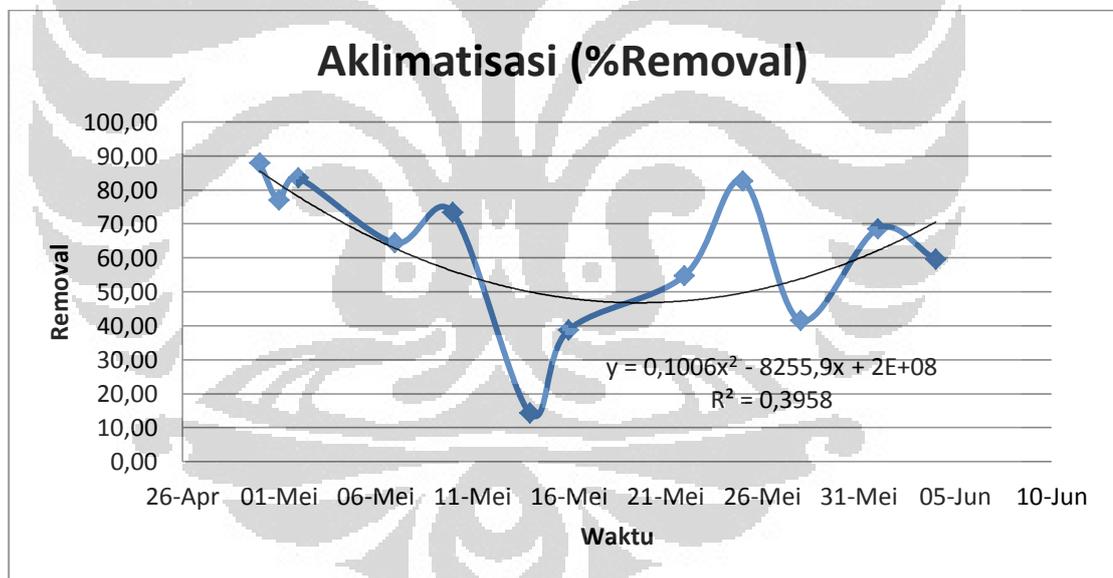
Hari ke	Tanggal	COD		<i>Removal</i>
1	30-Apr	176	Ppm	87,895%
2	01-Mei	336	Ppm	76,891%
3	02-Mei	240	Ppm	83,493%
8	07-Mei	320	Ppm	64,365%
11	10-Mei	240	Ppm	73,273%
15	14-Mei	560	Ppm	14,241%
17	16-Mei	400	Ppm	38,744%
23	22-Mei	480	Ppm	54,759%
26	25-Mei	184	Ppm	82,657%
29	28-Mei	520	Ppm	41,507%
33	01-Jun	280	Ppm	68,503%
36	04-Jun	360	Ppm	59,505%

Sumber :Hasil Pengolahan (2012)



Gambar 4.5 Grafik COD pada Proses Aklamatisasi

Sumber :Hasil Pengolahan (2012)



Gambar 4.6 Grafik Persen *Removal* COD

Sumber :Hasil Pengolahan (2012)

Pada proses aklamatisasi, dapat dilihat bahwa data COD mengalami kenaikan dan penurunan yang bersifat fluktuatif. Reaktor dijaga pada kondisi pH 6,5– 7,5 yang merupakan kondisi optimum untuk pertumbuhan bakteri rumen sapi tersebut (Wirda dan Handajani 2009).

Hal ini terjadi karena fase hidup bakteri yang memungkinkan pada saat pengukuran bakteri mengalami kematian, penambahan limbah batik dengan konsentrasi yang berbeda membuat bakteri harus beradaptasi kembali sehingga pada saat penambahan limbah cair, *Removal* dari bakteri tersebut relatif lebih besar. Jika melihat data aklimatisasi, secara garis besar konsentrasi COD setelah mengalami resirkulasi akan mengalami penurunan. Apabila dilihat dari segi *Removal*, pada proses aklimatisasi *Removal* mencapai 87%.

Pengambilan sampel sebanyak 5 kali menyatakan bahwa lingkungan atau tempat tinggal dari bakteri berubah sebanyak 5 kali pula sehingga perlu pengadaptasian setiap penggantian sampel limbah batik. Ketika substrat berlebih ditambahkan ke *batch* reaktor, bakteri menyalurkan energi untuk mensintesis sel baru dan mengurangi energi untuk pemeliharaan sel untuk bertahan hidup. Pertumbuhan bakteri secara cepat merupakan respon normal bakteri ketika terjadi penambahan nutrisi secara mendadak. Perubahan ini terjadi karena bakteri beradaptasi dengan lingkungan baru yang memiliki nutrisi berlebih (Dawes, 1990; Dawes dan Sutherland, 1992).

Masa pengadaptasian ini menyatakan bahwa bakteri berada pada fase Pertumbuhan eksponensial (*exponential phase*). Selama fase eksponensial, mikroorganisme tumbuh dan membelah diri pada tingkat maksimal yang memungkinkan bakteri menghasilkan potensi genetik, keadaan natural pada media, dan kondisi untuk bakteri bertumbuh atau berkembang biak. Selama fase ini, masa dan volume sel meningkat oleh faktor yang sama dalam arti rata-rata komposisi sel dan konsentrasi relatif metabolisme tetap konstan. Selama periode ini pertumbuhan seimbang, kecepatan peningkatan dapat diekspresikan dengan fungsi eksponensial alami. Sel membelah dengan kecepatan konstan yang ditentukan oleh sifat intrinsik bakteri dan kondisi lingkungan. Dalam hal ini terdapat keragaman kecepatan pertumbuhan berbagai mikroorganisme.

Fase eksponensial pada bakteri perut sapi ini merupakan pertumbuhan shift down dimana dibagi menjadi 2 bagian yaitu *shift up* yaitu kondisi dimana mikroorganisme berpindah dari lingkungan yang sedikit nutrisi ke lingkungan yang kaya akan nutrisi, yang kedua adalah *shift down* dimana mikroorganisme berpindah dari lingkungan yang kaya nutrisi ke lingkungan yang sedikit nutrisi.

Pada saat penambahan sampel limbah batik kedua, ketiga, dan kelima bakteri mengalami kondisi *shift down*, sedangkan pada saat penambahan sampel limbah keempat bakteri mengalami kondisi *shift up* (Willey, Sherwood, Woolverton Microbiology, 2008).

Dikarenakan mengalami proses resirkulasi, COD yang merupakan nutrisi untuk bakteri tersebut semakin mengecil seiring dengan waktu resirkulasi dilakukan.



Gambar 4.7 Proses Aklimatisasi

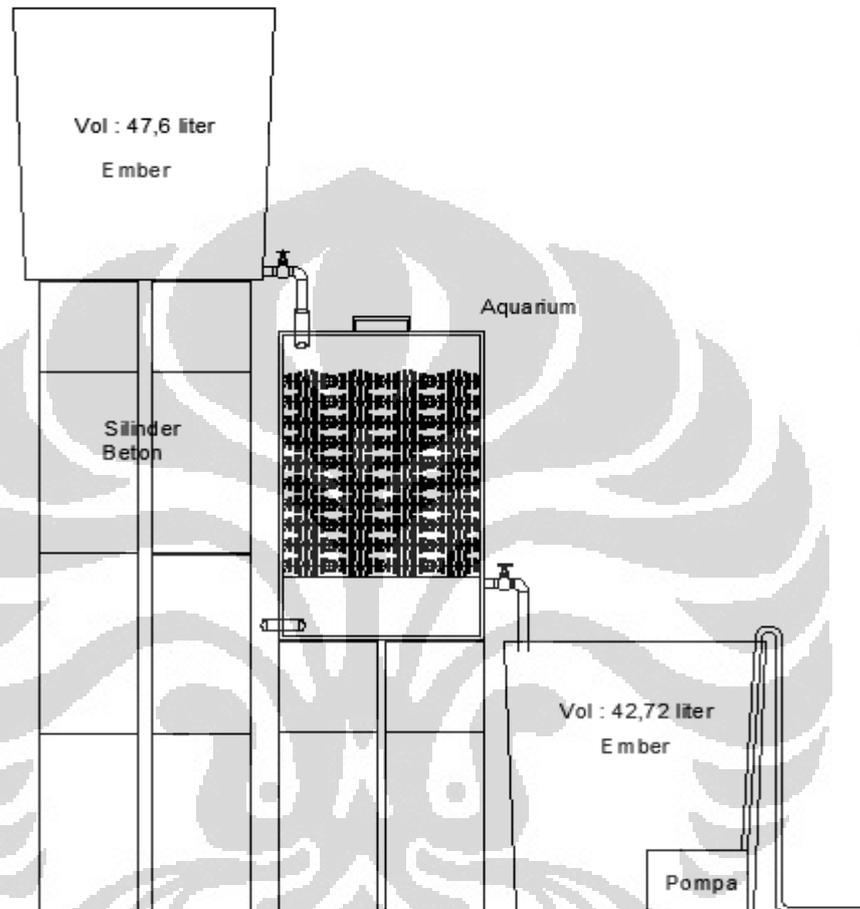
Sumber : Dokumen Pribadi (2012)

4.4 Proses Pelaksanaan *Feeding*

Metode pada proses *feeding* ini hampir sama dengan metode *seeding*, yang membedakan adalah jika pada saat proses *seeding* limbah yang sama diresirkulasi sedangkan pada saat *feeding* limbah yang dipergunakan tidak mengalami resirkulasi. Hal ini dapat dilihat melalui gambar 4.8. Sistem yang dipergunakan tetap sistem yang sama akan tetapi limbah *effluen* yang tertampung di bak penampung akhir dibuang ke saluran pembuangan bukan dikembalikan ke bak penampung awal.

Sistem yang dilakukan adalah sistem tertutup, karena sistem *batch* diproses berdasarkan pendekatan *anaerob*. Selain itu sistem tertutup berfungsi

untuk mengurangi pengaruh udara luar masuk ke dalam bio reaktor ini. Air limbah yang telah mengalami perawatan atau melalui media biofilter ini dipompakan menuju saluran.



Gambar 4.8 Proses *Feeding*

Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

Pada proses *feeding* waktu tinggal bakteri pada unit harus sesuai yaitu 8 jam. Dikarenakan sistem berjalan tanpa mempergunakan pompa, sering terjadi perubahan debit. Hal ini dipengaruhi oleh gravitasi, pada saat volume bak pengumpul atas berkurang maka debit yang dihasilkan berubah menjadi lebih kecil. Pengaruh gravitasi terasa sangat besar dikarenakan debit yang terlalu kecil dalam proses *feeding* ini. Melihat karakteristik seperti ini, dilakukan pengontrolan unit selama 2 jam yang bertujuan untuk mengukur debit ini. Pengukuran debit

yang dikeluarkan mempergunakan gelas ukur berukuran 10 ml dan *stop watch* (gambar 4.9).



Gambar 4.9 Proses Pengukuran Debit

Sumber : Dokumen Pribadi (2012)

Feeding merupakan modifikasi terhadap lingkungan dengan penambahan nutrisi (biostimulasi), aerasi, serta harus memperhatikan faktor-faktor penting untuk menjamin kondisi mikroba agar dapat tumbuh dan berkembang biak. Faktor-faktor tersebut di antaranya adalah oksigen, kandungan nutrisi, pH, waktu tinggal, dan kelembaban (Syakti, 2005).

Pada proses *feeding* ini, bakteri rumen atau perut sapi mencapai fase stasioner. Bakteri sudah terbiasa dengan kondisi air limbah batik pada saat proses aklimatisasi yang ditandai dengan fase eksponensial.

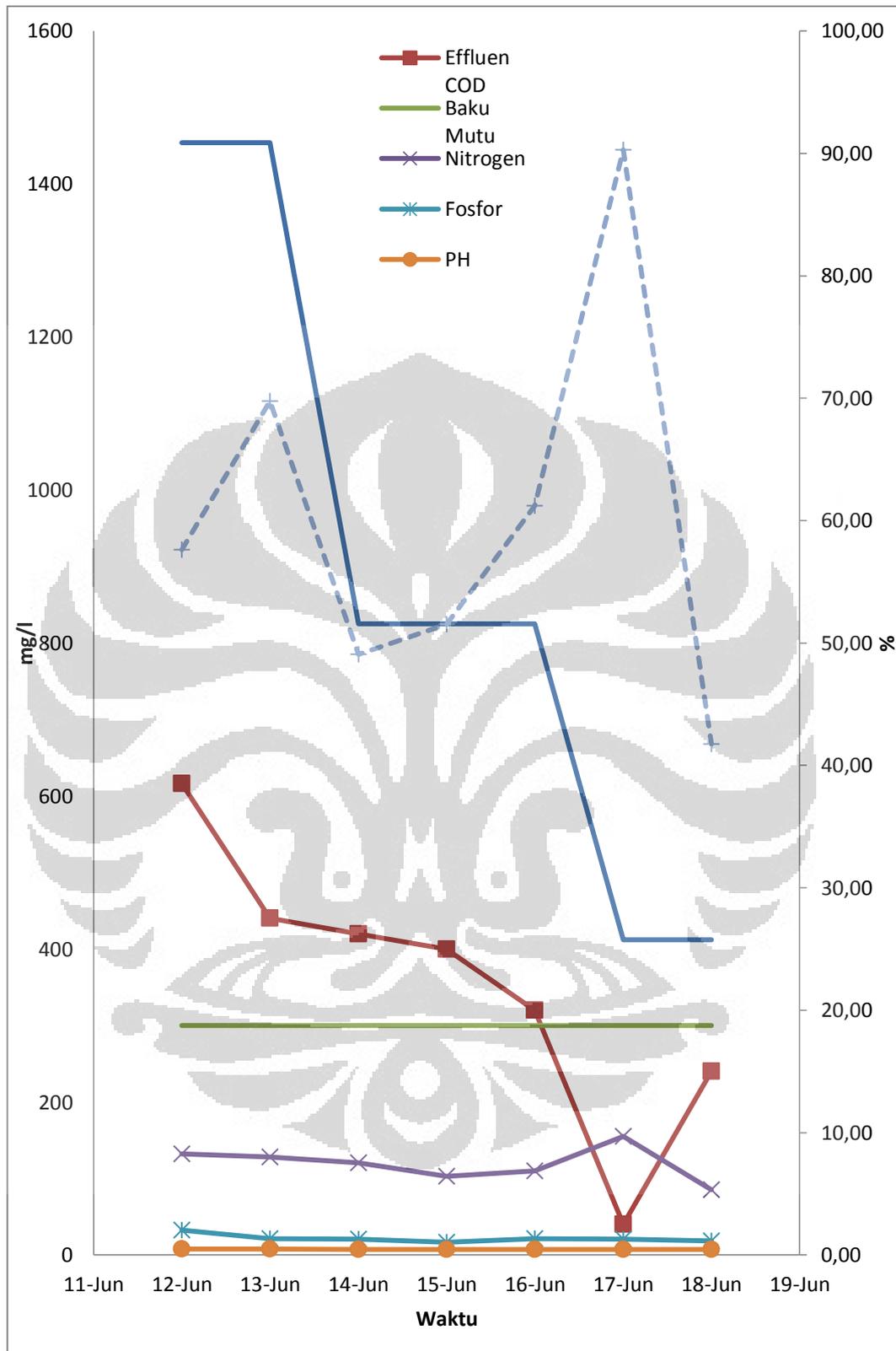
Pengambilan sampel pada proses *seeding* dilakukan tiap harinya pukul 08.00 WIB. Sampel diambil sebanyak 200 ml dan diuji pada Laboratorium Lingkungan, Parameter yang diuji antara lain COD, PH, N total, dan P. Teknik pendekatan konvensional yang biasa digunakan untuk pengukuran biomassa adalah dengan mengukur partikulat *Chemical Oxygen Demand* (COD) (Ekama et al., 1986 Henze, 1995).

Pada kenyataannya, teknik pengukuran pertumbuhan bakteri menggunakan perkiraan perubahan biomassa bakteri yang dibuat sebagai fungsi waktu (mg COD) (Ekama et al, 1986;. Henze dkk, 1987; Henze dkk , 1995). Melihat besarnya pengaruh kelima parameter ini yaitu COD, ph, karbon, fosfor, dan nitrogen maka dilakukan pengujian sampel pada saat proses *feeding*. Berikut hasil pengujian pada laboratorium.

Tabel 4.6 Data *Influen* dan *Effluen* pada Proses *Feeding*

Data <i>Influen</i> dan <i>Effluen</i> Batik JABABEKA pada Saat <i>Feeding</i>											
Tanggal	COD <i>Influen</i>		Tanggal	COD <i>Effluen</i>		<i>Removal</i>	N <i>Effluen</i>		P <i>Effluen</i>		pH
11-Jun	1454	mg/l	12-Jun	616	mg/l	57,63%	132,5	mg/l	32,7	mg/l	7,62
			13-Jun	440	mg/l	69,74%	128	mg/l	21,5	mg/l	7,81
13-Jun	825	mg/l	14-Jun	420	mg/l	49,09%	120,4	mg/l	20,56	mg/l	7,53
			15-Jun	400	mg/l	51,51%	103,1	mg/l	16,44	mg/l	7,51
			16-Jun	320	mg/l	61,21%	109,97	mg/l	21,11	mg/l	7,38
15-Jun	412	mg/l	17-Jun	40	mg/l	90,29%	154,97	mg/l	20,88	mg/l	7,18
			18-Jun	240	mg/l	41,75%	85,42	mg/l	18,33	mg/l	7,14

Sumber :Hasil Pengolahan (2012)



Gambar 4.10 Grafik Penelitian COD dengan Konsentrasi N dan P serta *Removal*

Sumber :Hasil Pengolahan (2012)

Data yang diperoleh diolah ke dalam bentuk grafik, COD limbah batik mengalami penurunan limbah tiap harinya dengan kondisi *effluen* yang berubah-ubah. Hasil pengolahan data antara COD *influen* dan *effluen* menghasilkan data yang paling utama yaitu *Removal* COD yang merupakan kemampuan media biofilter dalam mengolah air limbah batik. Kemampuan media mengurangi konsentrasi senyawa COD sebesar 41% sampai 90 % dengan *Removal* rata-rata sebesar 60% dengan waktu tinggal 8 jam. Menurut Idaman Said (2005), semakin kecil waktu tinggal di dalam reaktor biofilter maka semakin kecil pula efisiensi penghilangan konsentrasi. Untuk waktu tinggal 48 jam efisiensi penghilangan senyawa organik sebesar 77,8%. Berdasarkan perbandingan kedua data tersebut maka dapat diperkirakan bahwa penambahan waktu dari 8 jam menjadi 48 jam akan meningkatkan efisiensi *Removal*. Menurut M.Kornaros (2006), bila pada reaktor semi *batch trickling filter* mempergunakan waktu tinggal selama 24 jam maka *Removal* COD berada di sekitar 70% apabila waktu tinggal 48 jam maka *Removal* COD bisa mencapai 95%. Melalui penelitian ini didapatkan kesimpulan semakin lama waktu tinggal pada suatu reaktor maka persen *Removal* akan semakin besar.

Pada grafik pada gambar 4.10 dapat dilihat bahwa air limbah yang masuk ke dalam baku mutu mulai terjadi pada hari ke-5 sampai hari ke-7 dimana COD *effluen* dari media biofilter berubah menjadi dibawah 300 mg/l, terjadi penurunan konsentrasi yang sangat besar pada hari ke-6 dan kemudian naik kembali pada hari ke-7. Penurunan dapat terjadi karena pada hari ke-6 dan ke-7 kadar COD *influen* berkurang, hal ini kemungkinan merupakan penyebab utama konsentrasi COD masuk ke standar baku mutu. Percobaan dengan media biofilter pada penelitian ini bekerja dengan optimum pada saat loading *influen* antara 400 mg/l sampai 800 mg/l. Menurut penelitian Rieska (2008) pada sistem *anaerobic baffle reactor* (ABR) menjelaskan semakin besar konsentrasi COD pada *influen* akan semakin kecil pula efisiensi penyisihan yang terjadi (Mathiot *et al.*, 1992; Borja *et al.*, 1994 dalam Nachaiyasit 2003). Semakin besar pembebanan organik *influen* maka semakin besar pula bahan organik tidak terlarut yang terkandung, sehingga menghasilkan bahan organik terlarut resisten yang meningkatkan konsentrasi COD *effluen*. Sedangkan pada penelitian Idaman Said (2005) melalui tabel 2.8

dapat dilihat bahwa perubahan konsentrasi COD *influen* dalam kondisi yang berbeda tetapi tidak signifikan hanya akan mempengaruhi sedikit efisiensi *Removal COD*.

Berdasarkan literatur Metcalf & Eddy (2003), penurunan COD pada air limbah dipengaruhi oleh konsentrasi nitrogen dan fosfor. Jika melihat pada grafik, nitrogen yang terkandung pada air limbah diuji tiap harinya serta mengalami penurunan dan hanya mengalami kenaikan pada hari ke-6. Hal yang serupa juga terjadi pada kandungan fosfor dari air limbah. Fosfor mengalami penurunan akan tetapi pada hari ke-5, konsentrasi fosfor menaik dan mengalami penurunan kembali pada hari berikutnya.

Jika melihat dari waktu pengambilan data pada gambar 4.10, pada tanggal 17 juni atau hari ke-6 *feeding* data yang diperoleh berbeda cukup jauh dari data waktu lainnya. Hal ini mungkin disebabkan karena pada saat pengujian sampel hari ke-6, untuk kandungan nitrogen tidak mempergunakan polyvinyl yang berfungsi untuk menghilangkan pengganggu sehingga kandungan nitrogen dapat terbaca dengan baik. Untuk data fosfor terjadi perubahan data pada tanggal 16 juni atau hari ke-5. Hal ini mungkin terjadi karena sampel tidak langsung diuji dengan kata lain sampel yang didapat pada hari sabtu diuji pada hari senin, jika membandingkan data fosfor pada hari ke-5 sampai ke-7 penurunan tetap terjadi.

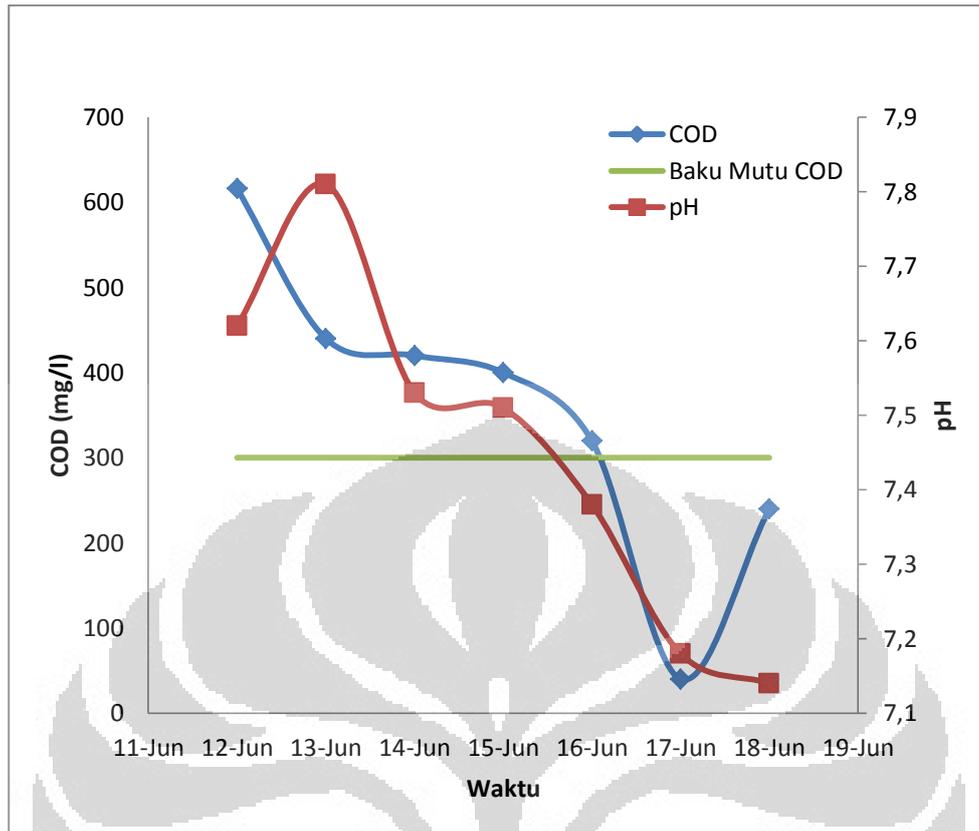
Secara keseluruhan, penelitian ini masih sesuai dengan teori yang dijelaskan oleh beberapa literatur. Dapat dijelaskan bahwa data baik COD, N, P, dan pH mengalami perubahan dimana kondisi air limbah *effluen* menjadi lebih baik. Perubahan atau penurunan COD disertai dengan penurunan nitrogen dan fosfor. Sebagaimana fungsinya apabila proses biologis terjadi maka nitrogen dan fosfor semakin mengecil dan kandungan kimia total atau COD juga semakin mengecil karena terurai oleh bakteri pengolah. Hal ini dapat dijelaskan bahwa peran mikrobiologi melalui proses nitrifikasi dan fiksasi merupakan hasil penguraian senyawa nitrogen pada limbah.

Perubahan kandungan N organik bisa terjadi karena mengalami proses pada gambar 4.11. Seperti yang dijelaskan sebelumnya N organik terdiri dari ammonia, nitrit, dan nitrat. Ketika senyawa ini bertemu dengan bakteri pengurai atau bakteri perut sapi, terdapat kemungkinan bakteri melakukan proses pada

siklus nitrogen dimana bakteri mengubah amonia tersebut menjadi nitrit, kemudian bakteri pada perut sapi merubahnya menjadi nitrat (NO_3) yang dilanjutkan dengan perubahan nitrit atau nitrat menjadi nitrogen bebas yang sering disebut denitrifikasi. Metabolisme nitrogen adalah proses penting untuk mengubah nutrisi menjadi bentuk yang dapat diubah oleh biosintesis asam amino menjadi asam amino siap untuk diubah menjadi protein (Warda 2010).

Bakteri perut sapi akan memecah protein hasil sisa mereka menjadi amonium, kemudian nitrit atau nitrat dan akhirnya menjadi gas nitrogen yang mana akan dilepaskan ke atmosfer dan dipergunakan oleh manusia.

Pada suatu proses pengolahan biologis menurut Metcalf Eddy (2003), perbandingan optimum C : N : P pada proses *aerobik* adalah 100:5:1 (C:N=20 - 30 and N:P=5). Konsentrasi C merupakan kandungan organik yang dapat dinyatakan dengan BOD. Bila melihat perbandingan BOD : N : P ratio, hasil penelitian ini tidak memasuki standar dimana hasil berada pada range (100-60) : (5-3) : 1. BOD yang diperoleh pada pengujian tanggal 18 juni 2012 sebesar 175 mg/l dan dilakukan pengambilan sampel 8 jam untuk BOD sebesar 143 mg/l. Perbandingan BOD : N : P ratio sebesar 175 : 85 : 18 setara dengan 10 : 5 : 1. Perbedaan waktu dilakukan karena pada penelitian ini waktu tinggal adalah 8 jam yang menandakan setelah 8 jam, maka air limbah pada media biofilter telah berganti dengan air limbah yang baru. Jika mengacu pada data, telah terjadi penurunan BOD dan telah memenuhi baku mutu No.51/MENLH/10/1995 Appendix C maka konsentrasi BOD sebesar 150 mg/l.



Gambar 4.11 Grafik Hubungan antara COD dengan pH

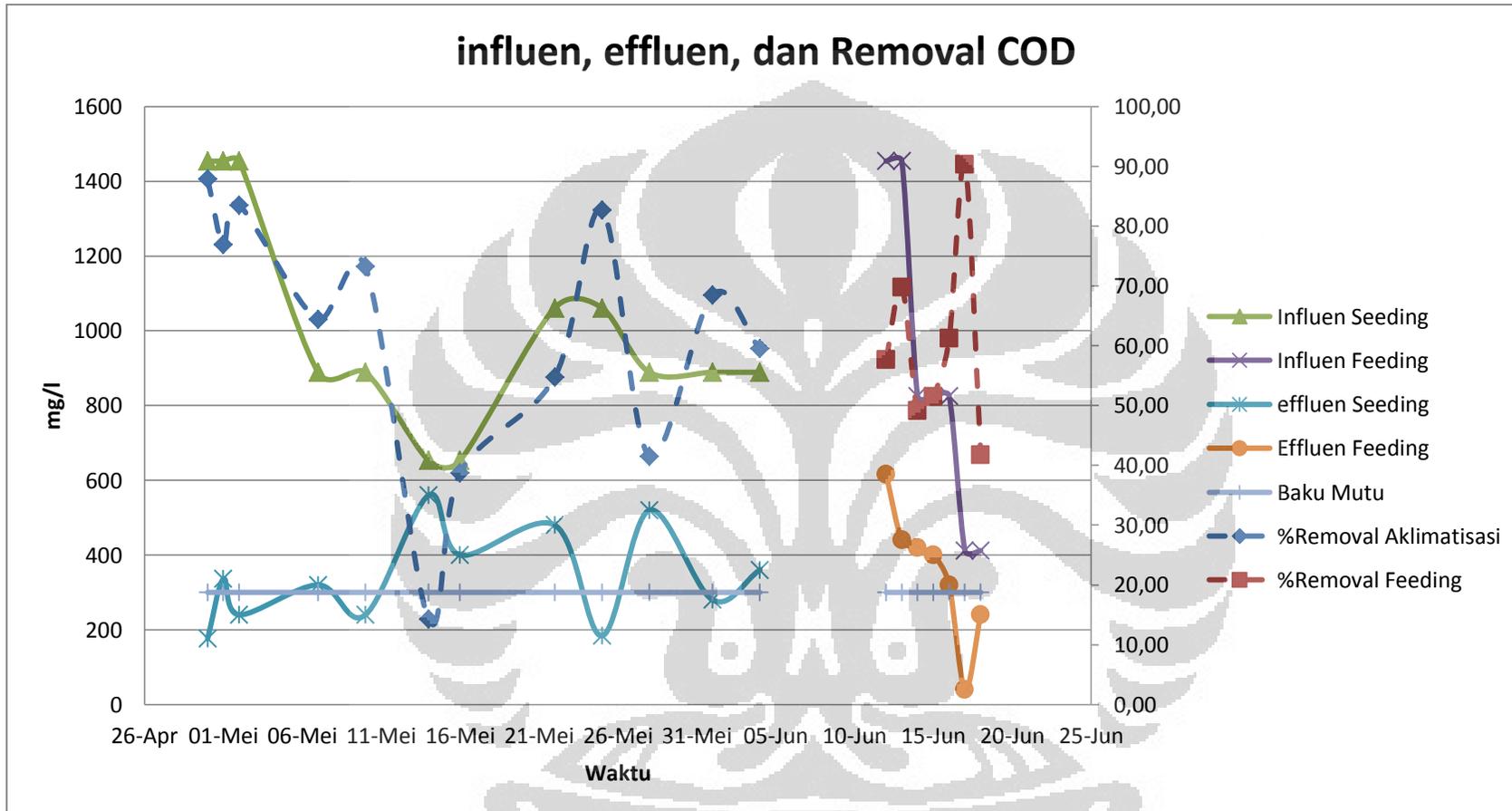
Sumber : Hasil Pengolahan (2012)

Pada grafik pH, secara garis besar masih berada pada kondisi normal dimana pH masih berada di sekitar 7-8. Berdasarkan literatur Eckenfelder (2000) bakteri dapat hidup pada pH 6-8. Pada tanggal 12 Juni besar COD 626 mg/l dengan pH 7,62 sedangkan pada tanggal 18 juni besar COD 240 mg/l dengan pH 7,14. pH air limbah yang telah mengalami pengolahan menjadi semakin membaik dan mendekati pH normal. Menurut penelitian El-Rahim (2009) Pengaruh ph pada pengolahan biologis setelah diteliti antara pH 2-11. Melalui gambar 2.14 pengolahan limbah biologis dapat mengurai limbah sebesar 92,4%, 64%, 91,4% dan 62,3 % pada pH 2, 3, 8, dan 9 dengan waktu inkubasi selama 24 jam. Sedangkan menurut Ugwuanyi (2004) pengolahan *aerobik* termofilik (TAD) pengaruh pH pada proses pengolahan sebesar 6,0; 7,0; 8,0; 9,0 dan 9,5. Dan melalui penelitian ini dijelaskan bahwa pada pH 7,0 *Removal* COD lebih efisien dibandingkan pada pH lain. Menurut M.Kornaros dan G.Lyberatos (2006) Gambar 2.13 merupakan hasil penelitian antara pengaruh pH terhadap perubahan

COD. Dengan mempergunakan limbah pewarna dengan konsentrasi COD 1000 mg/l sebagai *influen* dengan debit 7,2 liter/hari yang dilakukan secara konstan dan terus menerus, *Removal* COD yang signifikan terjadi pada saat pH mendekati kondisi netral.

Secara lebih ringkas, hasil penelitian yang meliputi proses aklimatisasi dan *feeding* dimana terdapat *influen* COD, *effluen* COD, dan *Removal* COD serta baku mutu No.51/MENLH/10/1995 Appendix C dijelaskan pada Gambar 4.13

Pengolahan limbah batik dengan *activated sludge* (*Suspended growth*) di JABABEKA memiliki *Removal* rata-rata berdasarkan tabel 4.2 sebesar 68,34%. Sedangkan dengan media biofilter (*Attached growth*) pada penelitian ini berdasarkan gambar 4.10 sebesar 60%. Melihat perbedaan ini menjelaskan bahwa besar *Removal* dengan *activated sludge* lebih besar dibandingkan dengan biofilter. Dengan melihat efisiensi sistem biofilter yang belum sesuai dengan literatur menjelaskan bahwa tidak tertutup kemungkinan media biofilter dapat memiliki efisiensi yang sama bahkan lebih optimum hal ini dikarenakan sistem *attached growth* memiliki efisiensi yang lebih tinggi.



Gambar 4.12 Grafik *Removal* pada Proses Aklimatisasi Maupun *Feeding*

Sumber :Hasil Pengolahan (2012)

BAB 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengolahan dan analisa data pada penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pengolahan biologis media biofilter Dengan waktu tinggal selama 8 jam menghasilkan penurunan COD 41-90% dengan rata-rata *Removal* sebesar 60% diikuti dengan pH yang relatif normal yaitu pada pH 7. Pengolahan biologis pada penelitian ini bekerja optimum pada saat loading *influen* sebesar 400 mg/l sampai 800 mg/l. Pengolahan dengan media biofilter tidak hanya mengurangi COD tetapi juga mengurangi konsentrasi nitrogen dan fosfor pada limbah cair batik.
2. Melalui penelitian dapat dibuktikan bahwa proses biologis dengan mempergunakan bakteri perut sapi dapat mengurangi konsentrasi COD yang terkandung dalam limbah cair industri batik
3. Media biofilter merupakan pengolahan sederhana dibandingkan dengan sistem pengolahan lumpur aktif. Sistem pengolahan ini mempergunakan sebuah wadah yang berisi biofilter yang telah memiliki lapisan biofilm sebagai bakteri pengurai limbah batik. Media biofilter dapat menjadi alternatif dalam mengolah limbah cair batik bagi pelaku industri batik.

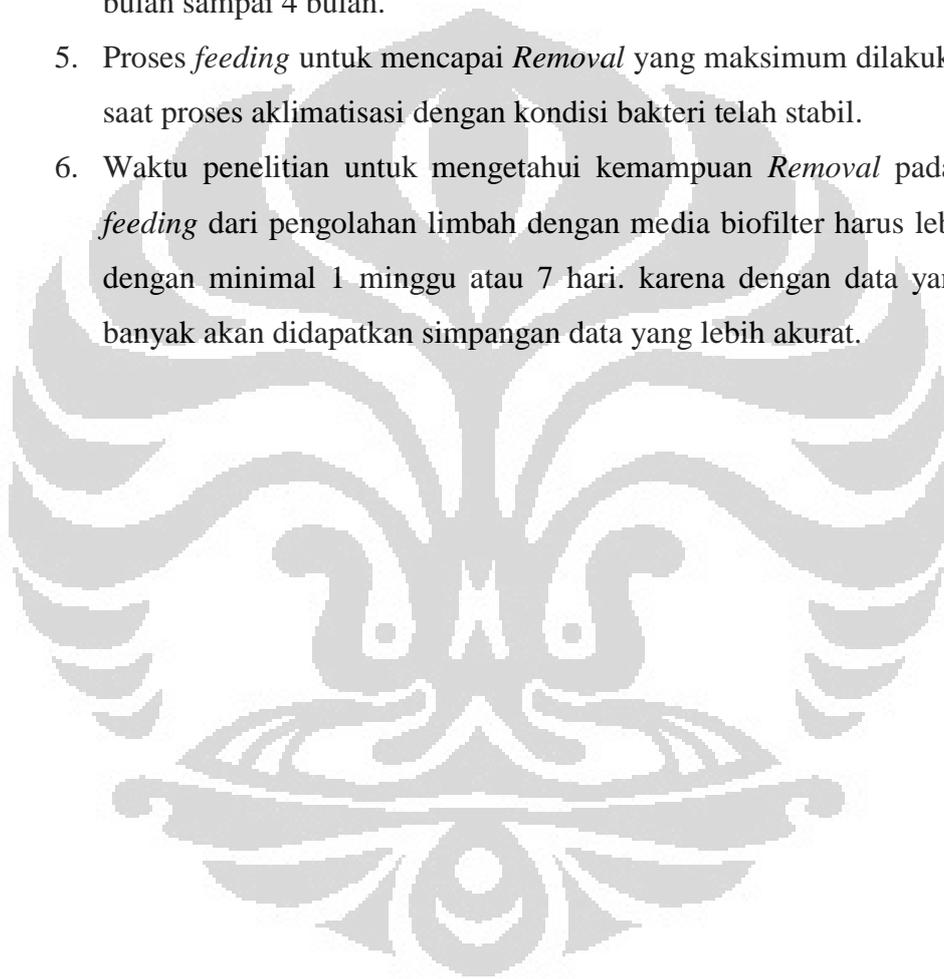
5.2 Saran

Berdasarkan data-data sebelumnya, maka ditarik beberapa saran agar penelitian selanjutnya dapat lebih maksimal:

1. Sistem pengolahan biologis dengan media biofilter bersifat kontinu sehingga diperlukan debit yang stabil, pada penelitian ini dibuat sistem yang hampir sama dengan fungsi dari pompa. Akan lebih baik jika pada penelitian ini mempergunakan pompa sehingga waktu tinggal tetap stabil.
2. Dalam penelitian pengolahan limbah biologis yang bersifat kontinu baik dalam proses *seeding*, aklimatisasi, dan *feeding* tidak diperbolehkan ada

jeda waktu, hal ini dapat mengakibatkan data untuk menganalisa pertumbuhan bakteri menjadi tidak akurat.

3. Pada saat proses *seeding* dilakukan, diperlukan pengujian kandungan nutrisi terhadap sampel air limbah sehingga dapat memenuhi kriteria pengolahan biologis.
4. Proses aklimatisasi pada penelitian ini berlangsung selama 35 hari, untuk proses yang lebih ideal sehingga bakteri stabil memerlukan waktu 3 bulan sampai 4 bulan.
5. Proses *feeding* untuk mencapai *Removal* yang maksimum dilakukan pada saat proses aklimatisasi dengan kondisi bakteri telah stabil.
6. Waktu penelitian untuk mengetahui kemampuan *Removal* pada proses *feeding* dari pengolahan limbah dengan media biofilter harus lebih lama dengan minimal 1 minggu atau 7 hari. karena dengan data yang lebih banyak akan didapatkan simpangan data yang lebih akurat.



DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, dan Santika, S.S. 1984. *Metode penelitian air*. Usaha Nasional Surabaya. Indonesia.
- Anthony F. Strickland and Warren S. Perkins, *Decolorization of Continuous Dyeing Wastewater by Ozonation*. Auburn University May 1995
- Astuti, Fitri. 2004. *Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Dengan Koagulan & Penyaringan (Studi Kasus di CV Batik Indah Rara Djonggrang)*. Ilmu Lingkungan. UGM. Yogyakarta.
- Atikasari Antun 2005 *Kualitas Tahan Luntur Warna Batik Cap di Griya Batik Larissa Pekalongan* Universitas negeri semarang
- Ayuningtyas, Ratna Dewi. 2009. *Proses Pengolahan Limbah Cair di RSUDDr. Moewardi Surakarta*. Universitas Sebelas Maret. Jawa Tengah
- Benny Chatib, dkk, 1985, “ *Sanitasi Lingkungan* “ Kerja Sama Direktorat Jendral Migas dan Lap- ITB Bandung
- Brady ,R. D. , 1992, *Activated Carbon Process in Waste Water Plant Design*, 3rd edition., Mc Graw-Hill Book, New York.
- Bryant, M .P. 1967 . Microbiology of the Rumen In Sweeson, M .J. 1970 . Duke,s physiology of the Domestic Animal, Cornell University Press, London .
- Chang, D.J. Smalley, T. Conway. 2002. *Gene Expression Profiling Of Escherichia Coli Growth Transitions: An Expanded Stringent Response Model*. Mol. Microbiol., 45 (2002), pp. 289–306.
- Chatib, B. 1998. *Pengelolaan Air Limbah*. ITB. Bandung.
- Cheremisinoff, P. N., 1978, *Carbon Adsorption for Pollutant Control*, Prentice-Hall, New Jersey.
- Czerkawski, J.W. 1988 . An Introduction to Rumen Studies . 1 st . ed . Studies Pergamon Press . New York.
- Dawes, E. A. 1990. *Growth and survival of bacteria. In Bacteria in Nature: Structure, Physiology and Genetic Adaptability* (Edited by Poindexter J. S. and Leadbetter E. R.), pp. 67–187. London : Plenum Press.

- Dawes, I. W. and Sutherland, I. W. 1992. *Microbial Physiology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford
- Eckenfelder, W. Wesley Jr. 2000 *Industrial water pollution control*. MC. Graw-Hill. New York. America.
- Ekama, G. A., Dold, P. L., and Marais, G. V. R. 1986. *Procedures For Determining Influent COD Fractions And The Maximum Specific Growth Rate Of Heterotrophs In Activated Sludge*. *Wat. Sci. Technol.* 18, 91–114.
- El-Rahim, Wafaa M. Abd. 2009. *The Effect of pH on Bioremediation Potential for the Removal of direct violet textile dye by Aspergillus Niger*. Egypt
- Erlera, Dirk., Pollardc, Peter., and Knibba, Wayne. (2003). *Effects Of Secondary Crops On Bacterial Growth And Nitrogen Removal In Shrimp Farm Effluent Treatment Systems*. Bribie Island Aquaculture Research Centre (BIARC), P.O. Box 2066, Bribie Island, Queensland 4507, Australia.
- Fierz-David, Hans Eduard 1949. *Fundamental Processes Of Dye Chemistry*. New York: Interscience Publishers, Inc.
- Gower, A. M. 1980. *Water Quality in Catchment Ecosystems*. John Willey & Sons. New York.
- Hall-Stoodley, L, J.W. Costerton, P. Stoodley. 2004. *Bacterial biofilms: from the natural world to infectious disease*, *Nat. Rev. Microbiol.*, 2:2, 95–108. doi:10.1038/nrmicro821. PMID 15040259. (<http://www.nature.com/nrmicro/journal/v2/n2/abs/nrmicro821.html>).
- Hasanudin. 2001. *Batik Pesisiran: Melacak Pengaruh Etos Dagang Santri pada Ragam Hias Batik*. Bandung: Kiblat.
- HeFang., HuWenrong, LiYuezhong. 2004. *Biodegradation mechanisms and kinetics of azo dyes 4BS by a microbial consortium*. *Chemosphere*. 57:293-301.
- Henze, M. 1995. *Basic Biological Processes*. In *Wastewater Treatment*. Springer-Verlag, London.
- Henze, M. et al. 1987. *A General Model For Single-Sludge Wastewater Treatment Systems*. *Wat. Res.* 21(5), 505–515.

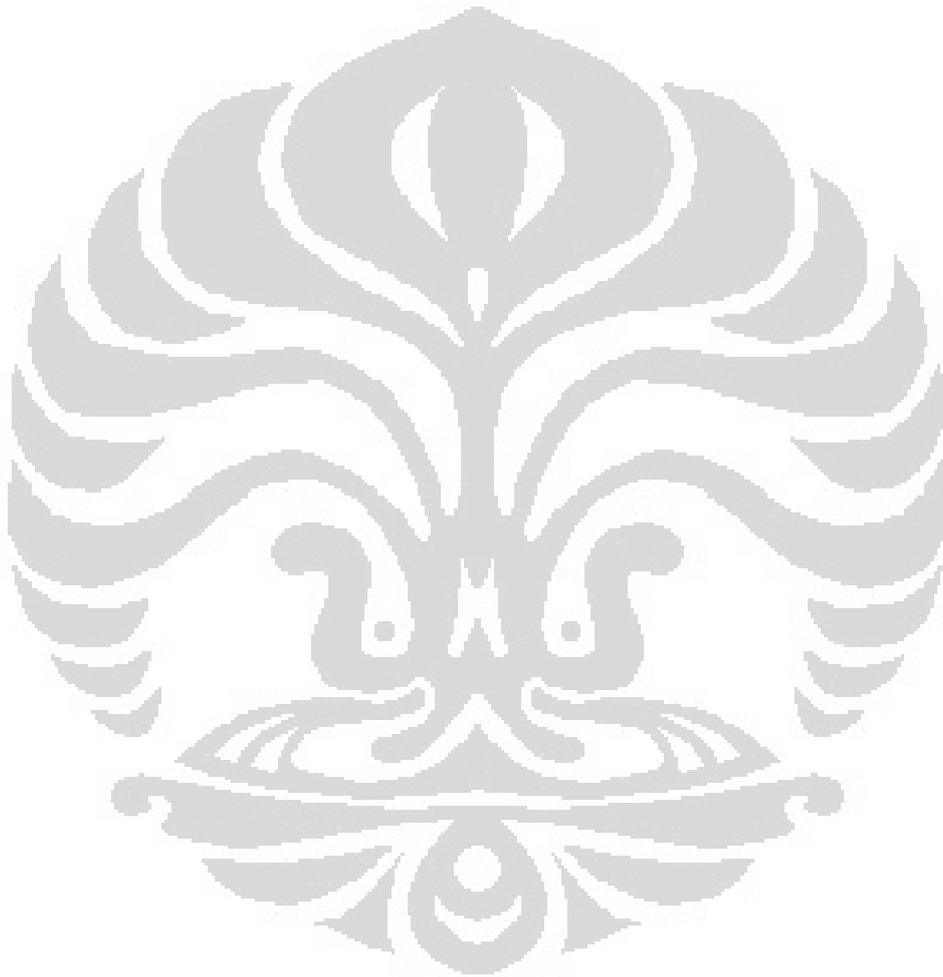
- Hungate, R. E. 1966. *The Rumen and its Microbes*. Academic Press. New York.
- I. Gu' ltekin, N.H. Ince, 2005. *Degradation of aryl-azo-naphthol dyes by ultrasound, ozone and their combination: Effect of a-substituents*. Institute of Environmental Sciences, Bogazici University, 34342 Bebek, Istanbul, Turkey
- Isniah Beta Aris. 2009. *Revitalisasi Batik Semarang*. Undip Semarang 1970-2007
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor Keputusan 51 Tahun 1995 tentang Baku Mutu Air Limbah Industri.
- Kim, S. 2002. *COD Reduction and Decolorization of Textile Effluent Using a Combined Process*. Journal of Bioscience and Bioengineering. Vol 95 no:1, 2003.
- Kristianto, P. 2002. *Ekologi Industri*. Penerbit ANDI. Yogyakarta.
- Kumar De. 1987. *Environmental Chemistry*. Willey Eastern Limited. New Delhi.
- Liu, H. 2009. *Determination of the Apparent Reaction Rate Constants for Ozone Degradation of Substituted Phenols and QSPR/QSAR Analysis*. School of Biological and Chemical Engineering, Jiaying University. People's Republic of China. 2009.
- Madigan, M.T., Martinko, J.M. and J. Parker. 1997. *Brock: Biology of Microorganisms*, 8th ed., Prentice-Hall, Inc., USA.
- Mahida, U.N. 1984. *Pencemaran Air dan Pemanfaatan Limbah Industri*. Cetakan pertama. Jakarta. C.V.Rajawali.
- Manurung, Renita. 2004. *Perombakan Zat Warna Azo Reaktif Secara Anaerob – Aerob* Jurusan Teknik Kimia Universitas Sumatera Utara
- McDonald, P. Edwards, R. A. Greenhalq, J.F.D. *Animal Nutrition*. 4th ed Longman Scientific and technical, Hongkong.
- Metcalf & Eddy 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. MC. Graw-Hill. New York. America.
- Milasari, Nurita Ika. 2010. *Pengolahan Limbah Cair Kadar Cod Dan Fenol Tinggi Dengan Proses Anaerob Dan pengaruh Mikronutrient Cu*. Teknik Kimia Undip Semarang.
- Muljadi, 2009. *Efisiensi Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cetak Dengan Metode Fisika-Kimia Dan Biologi Terhadap Penurunan*

- Parameter Pencemar (Bod, Cod, Dan Logam Berat Krom (Cr).*
Universitas Sebelas Maret Surakarta
- Murtihadi dan Mukminatun. 1979. *Pengetahuan Teknologi Batik.* Jakarta: Dikmenjur.
- Nachaiyasit S. *et al.* , 2003. *The effect of shock loads on the performance of an anaerobic baffled reactor (ABR).. Step changes in feed concentration at constant retention time*
- Nurdalia, Ida. 2006.*Kajian Dan Analisis Peluang Penerapan Produksi Bersih Pada Usaha Kecil Batik Cap.* UNDIP Semarang
- Orskov, O .R . 1982 . Protein Nutrition In Rument, Academic Press London.
- Peavy, Heward S., Donald R. Rowe dan George Tchobanoglous. 1985. *Environmental Enginiering.* Mc. Graw Hill – Int. editions. Singapore.
- Postgate, J. 1994. *The Outer Reaches of Life,* USA : Cambridge University, Press.
- Preston and Leng. 1987. *Matching Ruminant Production Systems With Available Resource in the Tropik and Sub Tropik* Penambul Books Armidale . New South Wales, Australia.
- Qasim, S.R., Motley, E.M., dan Zhu, G. 2000. *Water Work Engineering: Planning, Design & Operation.* USA: Prentice Hall PTR, Texas
- Reynold, Tom, D. 1982. *Unit Operation and Process in Environmental Engineering.* Texas ANM University. Brooks/Cole Engineering Division. Monterey. California.
- Riezka, Ashila Munazah. 2008. *Penyisihan Organik Melalui Dua Tahap Pengolahan dengan Modifikasi ABR dan Constructed Wetland pada Industri Rumah Tangga.* Bandung.
- Riyanto, Didik.1997. *Katalog Batik Indonesia.* Yogyakarta : Balai Besar dan Pengembangan Industri Kerajinan batik, Proyek Pengembangan dan Pelayanan Teknologi Industri Kerajinan Batik
- Said dan Ineza. 2002. *Uji performance pengolahan air limbah rumah sakit dengan proses biofilter tercelup.* Jakarta : Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan.

- Said, Nusa Idaman. 2005. *Aplikasi Bio-Ball Untuk Media Biofilter Studi Kasus Pengolahan Air Limbah Pencucian Jean*. Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT
- Said, Nusa Idaman. 2005. *Tinjauan Aspek Teknis Pemilihan Media Biofilter Untuk Pengolahan Air Limbah*. Kelompok Teknologi Pengelolaan Air Bersih Dan Limbah Cair, Pusat Pengkajian Dan Penerapan Teknologi Lingkungan, BPPT.
- Santaniello, R.M. 1971. *Water Quality Criteria and Standart for Industrial Pollution Control Handbook*. H. F. Lund (ED). Mc Graw-Hill Inc. New York.
- Sastrawidana. 2009. *Isolasi bakteri dari lumpur limbah tekstil dan aplikasinya untuk pengolahan limbah tekstil menggunakan system kombinasi anaerob-aerob*. [Disertasi] Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Sastrawijaya, T. 2000. *Pencemaran Lingkungan* . Rineka Cipta. Bandung.
- Soemarwoto, O. 1991.
- Sawyer, Clair N., McCarty, Perry L. dan Parkin, Gene F. (), *Chemistry for Environmental Engineering*, 4th edition, McGraw-Hill Inc. New York, 1994
- Setyaningsih, Pudji. 2002 *Penyisihan Warna Dan Biodegradasi Organik Limbah Pewarnaan Batik Menggunakan Reaktor Kontinyu Fixed-Bed Anaerob-Aerob*
- Sianita, Dwi. 2008 *Kajian Pengolahan Limbah Cair Industri Batik, Kombinasi Aerob – Anaerob Dan*. UNDIP Semarang.
- Sugiharto, 1987, “*Dasar-dasar Pengelolaan Limbah Industri* “ Cetakan Pertama, Jakarta. Penerbit UI-Press
- Sulaeman. 2003. *Pemanfaatan Sisa Larutan Bekas Pencelupan Batik*. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses. Teknik Kimia. UNDIP Semarang.

- Sumarno, Ir. MS, Indro Sumantri, Ir.Meng., (1999), *Pengolahan Limbah Cair Industri Kecil Batik dengan Bak Anaerobik Bersekat*. Semarang : Seminar Nasional Rekayasa Kimia Dan Proses 1999.
- Susanto, S.K. Sewan. 1980. *Seni Kerajinan Batik Indonesia*. Balai Penelitian Batik dan Kerajinan. Lembaga Penelitian dan Pendidikan Industri, Departemen Perindustrian R.I. Yogyakarta.
- Susanto, S.K. Sewan. 1981. *Teknologi Batik Seri Soga Batik*. Departemen Perindustrian R.I. Badan Penelitian Dan Pengembangan Industri. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Kerajinan dan Batik. Yogyakarta.
- Tchobanoglous, G. and Burton, F. L., (1991), *Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse*, 3th ed. McGraw-Hill Book Co., Singapore.
- Viessman. W. Jr. dan Hammer. M.J. 1985. *Water Supply and Pollution Control*. 4th. Editon. Harper and Row Publishers. New. York
- Waite, T.D. 1984. *Principles of Water Quality*. Academic Press, INC London.
- Warda, William et al. 2010. *Transcriptional Characterization Of Salmonella TA100 In Log And Stationary Phase: Influence Of Growth Phase On Mutagenicity Of MX*. National Health and Environmental Effects Research Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, USA.
- Willey, Sherwood, Woolverton. 2008. *Prescott, Harley, Klein Microbiology*. USA: The McGraw-Hill Companies
- Winata, I. N. A, et. al. 2000. *Perbandingan Kandungan P dan N Total dalam Air Sungai di Lingkungan Perkebunan dan Persawahan*. Jurnal ILMU DASAR, Vol. 1 No.I. Universitas Jember. Jember.
- Winugroho, M . Tanner, J .C, Pernabowo, P . 1992 . Pemanfaatan Jerami Padi Melalui manipulasi Mikroba Rumen Domba dan Kerbau dalam Proceeding BPT Bogor .
- Winugroho, M., Yantiyati . W., Suharyono, Typuk Artiningsih, Yeni . W. dan Cornelia Hendratno . 1995/1997 . Laporan Riset Unggulan Terpadu III. Balitnak Ciawi Bogor.

- Wirda dan Handajani. 2009. *Penyisihan Senyawa Organik Pada Biowaste Fasa Cair Dengan Variasi Air Pencuci Pada Rasio 1:2 Dalam Reaktor Batch*.
- Yokoyama, M. T . and Johnson, K .A. 1988 . *Microbiology of The Rumen and Intestin* . Prentice Hall . New Jersey.
- Zaoyan, Y., Ke, S., Guangliang, S., Fan, y" Jinshan, D. dan Haunian. 1992 *Anaerobic-aerobic Treatment of a Dye Wstewater by Combination of RBC with Activated Sludge*, *Wat. Sci. Tech*.



LAMPIRAN

Metode Titrasi Winkler

1. Prinsip

Pengukuran BOD terdiri dari pengenceran sampel, inkubasi selama 5 hari pada suhu 20⁰C dan pengukuran oksigen terlarut sebelum dan sesudah inkubasi.

Penurunan oksigen terlarut selama inkubasi menunjukkan banyaknya oksigen yang dibutuhkan oleh sampel air.

Oksigen terlarut dianalisa dengan menggunakan metode titrasi Winkler.

2. Pereaksi

a. Larutan Buffer Fosfat

8,5 gr KH₂PO₄, 21,75 gr K₂PO₄, 33,4 gr Na₂HPO₄.7H₂O dan MgSO₄ serta 1,7 gr NH₄CL dilarutkan dalam 500 ml aquadest dan diencerkan hingga volume 1 liter dan pH 7,2.

b. Larutan Magnesium Sulfat

22,5 gr MgSO₄.7H₂O dilarutkan dan diencerkan dengan aquadest hingga volume 1 liter

c. Larutan Kalsium Klorida

22,5 gr CaCl₂ dilarutkan dan diencerkan hingga volume 1 liter

d. Larutan Ferri Klorida

27,5 gr FeCl₃ dilarutkan dan diencerkan dengan aquadest hingga volume 1 liter

e. Bibit air kotor (seed)

Air limbah domestik yang banyak menggunakan mikroorganisme dan telah diaklimitasi

f. Pembuatan air pengenceran (AP)

1 ml bibit air kotor (seed), 1 ml larutan buffer fosfat, 1 ml larutan FeCl₃, 1 ml larutan CaCl₂, dan 1 ml larutan MgSO₄ ditambahkan ke dalam 1 liter aquadest. Lalu aerasi selama 30 menit agar air pengencer jenuh dengan oksigen.

3. Cara Kerja

a. Membuat larutan pengencer yang jenuh oksigen seperti dijelaskan pada pembuatan pereaksi di atas

b. Menentukan angka pengenceran sampel :

Menentukan angka pengenceran dengan berdasarkan literatur atau berdasarkan hasil pengukuran angka permanganat

c. Melakukan pengenceran

Pengenceran contoh air dengan air pengencer yang telah disediakan. Setelah diencerkan, masukkan ke dalam 2 buah botol BOD yang telah dikalibrasi volumenya. Salah satu botol BOD tersebut disimpan dalam inkubator 20⁰C selama 5 hari, sedangkan botol yang lainnya diperiksa kandungan oksigen terlarutnya dengan metode titrasi Winkler.

Untuk percobaan blanko disiapkan 6 botol BOD. Masing-masing botol diisi dengan air pengencer. Tiga botol pertama diinkubasikan selama 5 hari pada temperatur 20⁰C. Sedangkan tiga botol lainnya ditentukan kandungan oksigennya (DO).

d. Pemeriksaan oksigen terlarut

Pemeriksaan oksigen terlarut dapat dilakukan dengan menggunakan alat DO meter atau dengan metode totrasi Winkler

Metode Refluk Tertutup

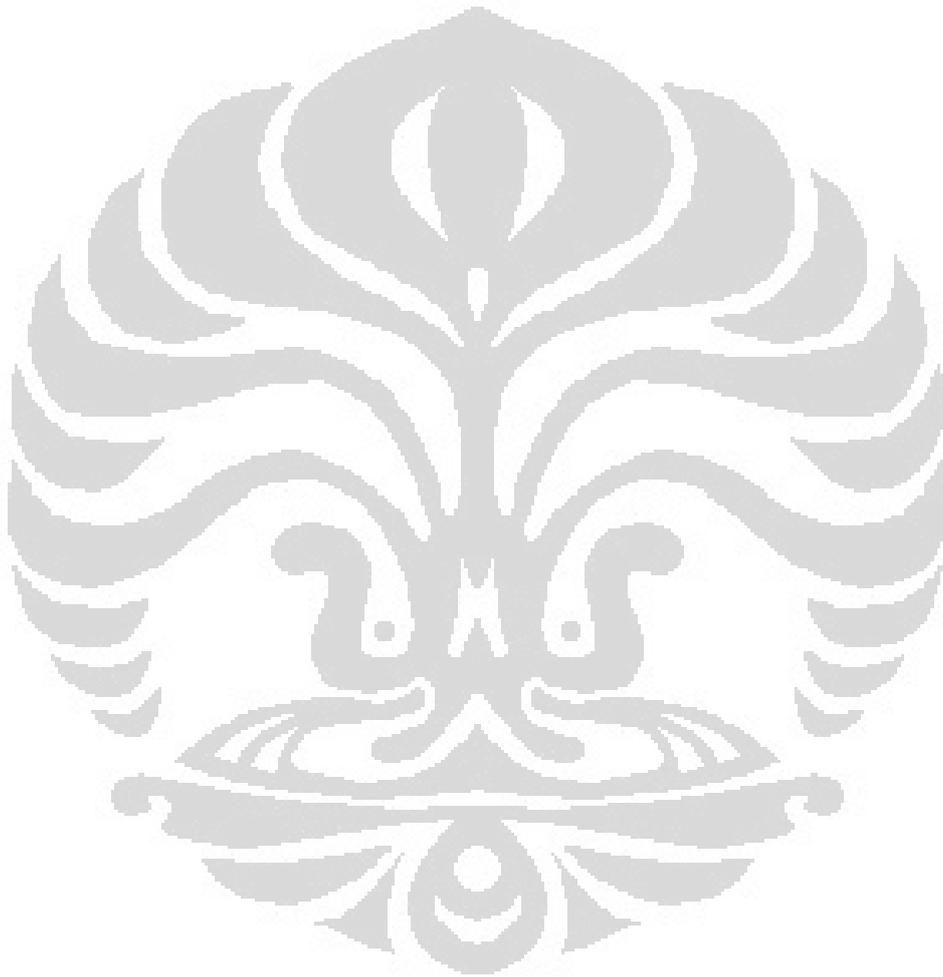
1. Persiapan
 - a. Tabung digestion, terbuat dari gelas jenis borosilikat dengan ukuran 16x100 mm, 19x150 mm, 25x150 mm, dengan tutup plastik TFE
 - b. Heating block, terbuat dari alumunium dengan kedalaman lubangnya 45-50 mm, yang dapat dioperasikan pada suhu 150⁰C.
2. Pereaksi
 - a. Larutan standar kalium dikromat 0,0167 M (0,1N)
 - b. Pereaksi asam sulfat
 - c. Larutan indikator ferroin
 - d. Larutan ferro sulfat (FAS) 0,1 M
 - e. Larutan standar kalium hidrogen ftalat
3. Cara Kerja
 - a. Tabung digestion telah bersih dibilas dengan larutan H₂SO₄ 20% sebelum digunakan. Kemudian contoh air dimasukkan ke dalam tabung digestion tersebut dengan ketentuan volume sebagai berikut:

Ukuran tabung digestion	Volume conth air (ml)	Volume (ml)	Volume asam sulfat (ml)	Penambahan air sampai volume akhir
16x100 mm	2,5	1,5	3,5	7,5
20x150 mm	5,0	3,0	7,0	15
25x150 mm	10,0	6,0	14,0	30,0

- b. Kemudian tabung ditutup dengan rapat, dikocok hingga bercampur dengan sempurna (hati-hati dalam mengocok, karena asam sulfat pekat). Tabung digestion dipanaskan dalam heating block pada suhu 105⁰C selama 2 jam dinginkan sampai temperatur kamar.
 - c. Kemudian pindahkan ke dalam labu erlenmeyer kecil secara kuantitatif, dengan menggunakan aquadest sebagai pembilas sampai volume akhir spserti dicantum pada tabel di atas. Kemudian dimasukkan magnetic

Lampiran 2: Pengukuran COD (lanjutan)

- d. stirring bar, tambah 0,05 – 0,1 ml larutan ferroin. Titrasi dilakukan dengan larutan FAS 0,1 M sambil dikocok dengan magnetic stirring.
- e. Titik akhir titrasi diperlihatkan dengan perubahan warna dari kuning-hijau kemudian merah, titrasi dihentikan pada saat terjadi perubahan warna merah.
- f. Lakukan percobaan blanko dengan menggunakan aquadest dan dikerjakan sama seperti di atas.



Pengukuran pH

1. Prinsip

Metode pengukuran pH berdasarkan pengukuran aktifitas ion hidrogen secara potensiometri/ elektrometri dengan menggunakan pH meter.

2. Bahan

- Sampel yang akan diukur
- Air suling

3. Peralatan

- pH meter dengan pelengkapannya
- beaker glass 100 ml

4. Prosedur

- Sampel yang akan diuji dituang ke dalam beaker glass 100 ml
- elektroda dibilas terlebih dahulu sebelum mengukur sampel
- elektroda dicelupkan ke dalam beaker glass yang berisi sampel, diamati hingga pH meter menunjukkan pembacaan yang tetap

Pengukuran Total Nitrogen
Metode Kurnice (Speltrofotometri)

1. Prosedur N-organik

a. Peralatan

- Cawan porselen
- Labu kjeldahl
- Botol semprot
- Pipet 10 ml
- Timbangan analitik
- *Hot plate*
- Kertas saring
- Labu erlenmeyer
- Corong
- Gelas ukur
- Kuvet
- DR 2000

b. Bahan

- Selenium
- K_2SO_4
- Defada aloy
- Parafin
- H_2SO_4 pekat
- H_2SO_4 2 N
- NaOH 40%
- Nessler reagen

c. Prosedur

- Timbang 1 gram sampel yang telah dihilangkan kadar airnya
- Masukkan pada labu kjeldahl, lalu tambahkan masing-masing 1 gram selenium, K_2SO_4 , dan defada aloy
- Tambahkan 5 ml parafin dan 10 ml H_2SO_4 pekat

Lampiran 4: Pengukuran Total Nitrogen (lanjutan)

- Panaskan di atas *hot plate* dengan temperatur 315°C selama 30 menit dalam ruang asam
- Encerkan dengan 40 ml air suling
- Saring dengan kertas saring
- Ambil 10 ml dan masukkan ke dalam labu kjeldahl
- Tambahkan 40 ml air suling, 1 gram selenium, dan 5 ml parafin
- Masukkan 10 ml asam sulfat 2 N pada erlenmeyer
- Pasang alat kjeldahl, destruksi akan berlangsung selama 1,5 jam
- Setelah itu, encerkan H₂SO₄ hasil destruksi lalu masukkan dalam kuvet. Siapkan pula blanko dalam kuvet. Tambahkan ke dalam kuvet Nessler reagen
- Ukur pada DR 2000

2. Prosedur N-NH₄

a. Peralatan

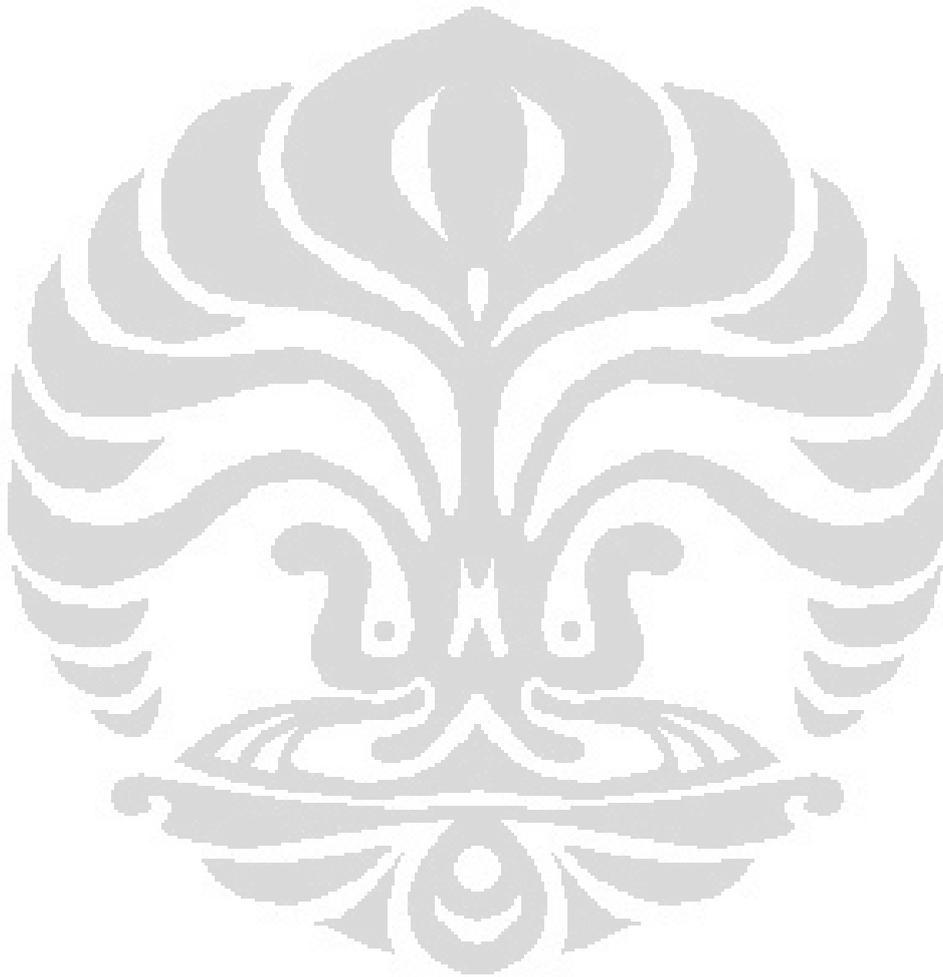
- Cawan porselen
- Labu kjeldahl
- Botol semprot
- Pipet 10 ml
- Timbangan analitik
- *Hot plate*
- Kertas saring
- Labu erlenmeyer
- Corong
- Gelas ukur
- Kuvet
- DR 2000

b. Bahan

- Selenium
- K₂SO₄
- Defada aloy
- Parafin

Lampiran 4: Pengukuran Total Nitrogen (lanjutan)

- H₂SO₄ pekat
 - Nessler reagen
- c. Prosedur
- Hasil dari penyaringan N-organik diambil 2 ml dan diencerkan
 - Hasil pengenceran masukkan dalam kuvet. Siapkan pula blanko dalam kuvet. Tambahkan ke dalam kuvet Nessler reagen
 - Ukur pada DR 2000



**Pengukuran kadar Fosfor(P_2O_5)
Metode spektrofotometer**

1. Prinsip kerja
Sampel yang telah dipreparasi direaksikan dengan *Molybdate reagent* dalam suasana asam dengan asam amino yang kemudian diperiksa dengan metode spektrofotometri dengan panjang gelombang 530 nm.
2. Bahan
 - Sampel yang sudah dipreparasi.
 - *Molybdate reagent*.
 - *Amino acid reagent*.
3. Alat
 - Gelas ukur 100 mL.
 - Pipet volumetri 1 mL.
 - Kuvet spektrofotometer.
 - Spektrofotometer DR 2000.
 - *Beaker glass* 600 mL.
4. Cara Kerja
 - Masukkan nomor metode yaitu 487 untuk P di spektrofotometer, tekan READ/ENTER.
 - Atur *wavelength* hingga 530 nm di display.
 - Tekan READ/ENTER.
 - Masukkan 25 mL sampel yang telah dipreparasi ke dalam gelas ukur.
 - Tambahkan 1 mL *Molybdate reagent*.
 - Tambahkan 1 mL *amino acid reagent*, lalu diaduk.
 - Tekan SHIFT, TIMER.
 - Masukkan 25 mL blanko ke dalam kuvet.
 - Masukkan ke dalam spektrofotometer.
 - Tekan ZERO , hingga muncul 0.00 mg/L P.
 - Masukkan sampel yang telah diberi reagent ke dalam kuvet.
 - Masukkan kuvet ke dalam spektrofotometer.
 - Tekan READ/ENTER.
 - Dicatat hasil yang tertera di display.
 - Kadar fosfor adalah hasil pembacaan fosfor spektrofotometer dikalikan dengan 2,7 (Suriadikartaet.al., 2004).



Gambar Alat Pengujian COD Refluktor Tutup (kiri atas), Alat Pengujian Nitrogen (kanan atas), dan Spektrofotometri DR2000 (bawah)