

TA/TL/2005/0015

PERPUSTAKAAN FTSP UI	
HARIAN	
TGL. TERIMA :	15 September 2005
NO. JUDUL :	01723
NO. INV. :	520001723001
NO. INDUK :	

TUGAS AKHIR

PENURUNAN KADAR COD (*Chemical Oxygen Demand*) DALAM LIMBAH CAIR LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGUNAKAN FILTER KARBON AKTIF ARANG TEMPURUNG KELAPA

Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia untuk memenuhi persyaratan
guna memperoleh derajat sarjana Teknik Lingkungan



Disusun Oleh :

Nama : Titin Sukma

No. Mahasiswa : 00513010

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2005**

TUGAS AKHIR

PENURUNAN KADAR COD (*Chemical Oxygen Demand*) DALAM
LIMBAH CAIR LABORATORIUM TERPADU
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
MENGUNAKAN FILTER KARBON AKTIF
ARANG TEMPURUNG KELAPA

Nama : Titin Sukma

No. Mhs. : 00513010

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Kasam, MT
Dosen Pembimbing I

Andik Yulianto, ST
Dosen Pembimbing II


Tanggal: 7-5-2005

Tanggal: 7-5-2005

ABSTRAKSI

Laboratorium sebagai salah satu sarana penunjang kegiatan akademik menghasilkan limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan apabila tidak diolah terlebih dahulu. Limbah laboratorium yang dihasilkan terdiri dari bahan-bahan organik maupun anorganik yang jika dibuang ke badan air maupun lingkungan di sekitarnya akan menjadi kontaminan yang dapat menurunkan kualitas air dan lingkungan. Salah satu parameter indikator pencemar di dalam air yang disebabkan oleh limbah organik adalah COD.

Penelitian ini mencoba menerapkan teknologi sederhana yaitu memanfaatkan arang aktif tempurung kelapa sebagai media untuk menurunkan kandungan COD pada air limbah laboratorium. Pengamatan dilakukan di laboratorium UII menggunakan sistem *batch* dengan variasi pH : 7, 8, 9 dan 10, konsentrasi awal COD pada: pH 7 = 85,8 mg/l, pH 8 = 81,3 mg/l, pH 9 = 61,2 mg/l dan pH 10 = 53,8 mg/l serta variasi dosis karbon aktif : 1, 2, 3 dan 4 gram yang diaduk selama 2 jam dengan kecepatan 150 RPM dan volume air limbah 200 ml. Kemudian penelitian dilanjutkan dengan menggunakan reaktor sistem kontinyu yang disusun secara seri dengan dua titik pengambilan sampel pada tiap kolom. Pada sistem ini, digunakan limbah dengan konsentrasi COD awal 97,68 mg/l, pH 8 dan variasi waktu pengambilan setiap 1 jam selama pengoperasian reaktor sistem kontinyu yaitu 9 jam.

Hasil pengamatan menunjukkan karbon aktif tempurung kelapa dapat menurunkan kandungan COD dalam limbah. Efisiensi removal tertinggi terjadi pada pH 8 dengan dosis karbon aktif 4 gram yaitu sebesar 68 %. Model sorpsi dengan pendekatan persamaan isotherm Freundlich diperoleh model persamaan $x/m = 0,0009 \cdot C^{0,3281}$. Pada sistem kontinyu terlihat bahwa semakin lama waktu operasi, efisiensi removal semakin rendah. Efisiensi removal tertinggi pada kolom ke 1 terjadi pada jam pertama yaitu 61,90 %, *breakthrough* terjadi pada jam ke 5 dan *exhaust point* dicapai pada jam ke 8. Sedangkan pada kolom ke 2, efisiensi removal tertinggi terjadi pada jam 1 yaitu 75%, *breakthrough* terjadi pada jam ke 5 dan belum mencapai *exhaust point*. Untuk aplikasi pengolahan limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia digunakan sistem kontinyu karena memberikan hasil yang lebih efektif dan efisien.

Kata kunci : arang aktif tempurung kelapa, COD, sistem *batch*, sistem kontinyu, *breakthrough*, *exhaust point*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Untuk Yang Tersayang :

*Abah & Mama, yang selalu memberi dukungan, kesabaran, kasih sayang
dan do'a yang tiada pernah henti.*

*Kakak-kakakku, Mbak Iwin dan Mbak Eya. Terimakasih untuk
dukungan dan do'anya.*

Athuur, yang telah memberi dukungan, perhatian dan pengertiannya selama ini.

MOTTO

Allah tidak pernah janjikan langit senantiasa biru, kebahagiaan tanpa kesedihan, damai tanpa penderitaan, keberhasilan tanpa kegagalan... Tapi Allah janjikan kekuatan; cahaya yang menerangi hidup

Sungguh, bersama kesukaran pasti ada kemudahan (QS. As Syarh : 5)

Allah sama sekali tidak akan menyiksamu, kalau sekiranya kamu bersyukur dan beriman. Allah Maha Berterimakasih lagi Maha Tahu (QS. An Nisaa' : 147)

Whatever is worth doing at all is worth doing well (The Erl of Chesterfield)

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Segala puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kami, sehingga kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“PENURUNAN KADAR COD (*Chemical Oxygen Demand*) DALAM LIMBAH CAIR LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGGUNAKAN FILTER KARBON AKTIF ARANG TEMPURUNG KELAPA”**.

Penyusunan tugas akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Jenjang Strata I Jurusan Teknik Lingkungan di Universitas Islam Indonesia.

Terlepas dari ketidak sengajaan, penyusun sadar bahwa penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna oleh karena itu kritik dan saran yang konstruktif diperlukan guna menyempurnakan penyusunan laporan ini.

Dalam penulisan laporan ini penulis mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penyusun ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Ir. Widodo, MSCE, Ph. D., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan izin kepada penulis untuk menyusun tugas akhir ini.
2. Bapak Ir. Kasam, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dan selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan petunjuk dalam pelaksanaan penyusunan laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Andik Yulianto, ST selaku Koordinator tugas akhir Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia dan selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan petunjuk dalam pelaksanaan penyusunan laporan tugas akhir ini.
4. Abah, Mama, mba' Iwin, mba' Eya, kak Agus, kak Ozan dan Arul kecil yang telah memberikan do'a, perhatian dan *support* yang tiada pernah henti.
5. Athur, terimakasih untuk *support*, do'a, pengertian, perhatian dan kesabaran yang sudah diberikan selama ini. Juni dah jadi Muhammad Athuur, SIP yak.....
6. Mila "karung", *thanx for your support, advice* (ga semua manjur loh....), kebersamaan, do'a dan pengertiannya selama ini. *Thanx for being my best friend*. Skripsinya digarap oiiii..... Tua tau !!!

7. Tifa, terimakasih untuk kerjasamanya. Inget..kalo nikah, aku diundang yak.
Siap-siap buat bongkar reaktor. Semangat !!!!

8. Pak Syamsudin, Pak Tasyono, Pak Wahyu, Pak Widodo dan Mas Agus yang telah membantu melancarkan penyusunan TA ini.

9. Tina, Irma, Sulis, Ika, Parmintoel, Devi "bonding" , terimakasih buat dukungan dan kebersamaannya. Hidup Widhoro Kandhang!!!!

10. Luwis, Jumi, Endah, Santi, Tini, Hari, Ervan "item", Pai, Sari dan seluruh teman-teman TL '00 UH yang telah membantu sehingga laporan ini dapat terselesaikan.

11. Semua pihak yang telah membantu, yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga segala bantuan, dan pengorbanan yang telah diberikan kepada penulis mendapatkan balasan dari Allah S.W.T. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi kita semua. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Jogjakarta, Mei 2005

Penyusun

BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	5
	2.1 COD	5
	2.2 Karbon Aktif (Arang Aktif)	7
	2.2.1 Syarat Mutu Arang Aktif	8
	2.2.2 Proses Pembuatan	9
	2.2.3 Karakteristik Karbon Aktif	11
	2.3 Adsorpsi	15
	2.3.1 Mekanisme Adsorpsi	15
	2.3.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi	16
	2.4 Isotherm Adsorpsi	19
	2.5 Regenerasi Karbon	21
	2.6 Hipotesa	22
BAB III	METODE PENELITIAN	23
	3.1 Lokasi Penelitian	23
	3.2 Objek Penelitian	23
	3.3 Waktu Penelitian	23
	3.4 Kerangka Penelitian	23
	3.5 Parameter dan Variabel Penelitian	25
	3.5.1 Parameter Penelitian	25
	3.5.2 Variabel Penelitian	25
	3.6 Metode Pelaksanaan Penelitian	25
	3.6.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	26

	3.6.1.1 Proses <i>Batch</i>	26
	3.6.1.2 Proses Kontinyu	27
	3.6.2 Pemeriksaan Hasil Penelitian	28
	3.7 Analisa Data	30
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	31
	4.1 Proses <i>Batch</i>	31
	4.1.1 Hasil Pengujian Awal Kadar COD dan pH Sebelum Proses Adsorpsi	31
	4.1.2 Hasil Pengujian Pengaruh pH dan Berat karbon Aktif Terhadap Efisiensi Penyerapan Kadar COD	31
	4.2 Proses Kontinyu	37
	4.2.1 Hasil Pengujian Awal Kadar COD dan pH Sebelum Proses Adsorpsi	37
	4.2.2 Hasil Pengujian Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel terhadap Efisiensi Penyerapan Kadar COD Pada Proses Kontinyu	37
	4.3 Analisa Hasil Proses <i>Batch</i> dan Kontinyu Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia	44

BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	46
	5.1 Kesimpulan	46
	5.2 Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kotaminan organik yang sangat mudah diadsorpsi oleh karbon aktif	7
Tabel 2.2	Manfaat Arang Aktif Untuk Zat Cair	8
Tabel 2.3	Syarat Mutu Arang Aktif	9
Tabel 2.4	Karakteristik Dari Beberapa Karbon Aktif Granular Komersil	11
Tabel 3.1	Parameter Penelitian	25
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Awal Kadar COD dan Pengukuran pH sebelum Proses Adsorpsi	31
Tabel 4.2.	Hasil pengujian pengaruh pH dan berat karbon aktif terhadap efisiensi penurunan COD dalam limbah cair	32
Tabel 4.3	Hasil Pengujian Awal Kadar COD dan Pengukuran pH sebelum Proses Adsorpsi	36
Tabel 4.4	Hasil Pengujian Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Efisiensi Penurunan COD	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Konsep Adsorpsi Pada Permukaan Pori Karbon Aktif	13
Gambar 2.2 Konsep Penyaringan Molekul Pada Pori-pori Karbon Aktif	18
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	24
Gambar 3.2 Reaktor Sistem Kontinyu	29
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara pH dengan konsentrasi COD	33
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara pH dengan efisiensi penurunan konsentrasi COD	34
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara berat karbon aktif dengan efisiensi penurunan konsentrasi COD	34
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara waktu dengan efisiensi removal COD pada kolom 1	39
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara waktu dengan efisiensi removal COD pada kolom 2	40
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara waktu dengan konsentrasi COD pada kolom 1	40
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara waktu dengan konsentrasi COD pada kolom 2	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan Isotherm Freundlich

Lampiran 2. Perhitungan Debit Aliran Yang Digunakan Pada Sistem Kontinyu

Lampiran 3. Perhitungan *Run Time*

Lampiran 4. Peraturan Pemerintah No 81 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas
Air Dan Pengendalian Pencemaran Air

Lampiran 5. Hasil Analisa Air Dari BATAN

Lampiran 6. Hasil Analisa Air Dari BPKL

Lampiran 7. SK SNI M-70-1990-03

Lampiran 8. Dokumentasi Proses Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laboratorium adalah salah satu sarana penunjang kegiatan akademik yang digunakan untuk kegiatan praktikum dan menunjang teori yang telah diberikan pada saat perkuliahan. Untuk lebih meningkatkan kualitas mahasiswanya, Universitas Islam Indonesia mendirikan laboratorium terpadu yang digunakan oleh mahasiswa dari Fakultas MIPA dan Kedokteran. Kegiatan praktikum yang dilakukan sebagian besar menggunakan bahan kimia yang sangat berbahaya bagi lingkungan apabila limbah yang dihasilkan tidak diolah terlebih dahulu sebelum dibuang.

Selama ini Universitas Islam Indonesia sudah melakukan penanganan limbah, yaitu dengan menampung limbah laboratorium tersebut, oleh karena itu perlu adanya alternatif lain untuk pengelolaan dan pengolahan limbah. Universitas Islam Indonesia telah melakukan pengujian untuk mengetahui konsentrasi bahan-bahan kimia yang terkandung di dalam limbah laboratorium. Pengujian tersebut dilakukan di Pusat Pelatihan dan Pengembangan Teknologi Maju-BATAN (P3TM-BATAN), Jogjakarta. Limbah laboratorium yang dihasilkan terdiri dari bahan-bahan organik maupun anorganik. Bahan-bahan tersebut jika dibuang ke badan air maupun lingkungan di

sekitarnya akan menjadi kontaminan yang dapat menurunkan kualitas air dan lingkungan disekitar tempat limbah laboratorium tersebut dibuang.

Berdasarkan data yang diperoleh dari P3TM-BATAN, konsentrasi untuk parameter COD $45,00 \pm 1,124$ mg/l. Konsentrasi tersebut melebihi persyaratan ambang batas menurut Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air untuk parameter COD kelas II sebesar 25 mg/l.

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 nama COD (*Chemical Oxygen Demand*) (Cheremisionoff and Ellerbusch,1978).

Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut didalam air (Alaerts dan Sumestri, 1984) oleh karena itu konsentrasi COD dalam air harus memenuhi ambang batas yang ditentukan.

Konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat direduksi dengan metode pengolahan konvensional. Karbon aktif mempunyai suatu gaya gabung dengan bahan organik, hal tersebut dapat digunakan untuk meremoval bahan kontaminan organik dari air limbah. Kadar COD dalam air limbah akan berkurang

1. seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah.

2.

1.2 Rumusan Masalah

Menurut latar belakang masalah yang ada, maka dapat disusun rumusan masalah yaitu:

1.5

jangka

diguna

1. Berapakah tingkat efisiensi penggunaan karbon aktif (arang tempurung kelapa) sebagai salah satu media yang dapat digunakan untuk menurunkan kadar COD (*Chemical Oxygen Demand*) dalam limbah cair laboratorium.
2. Berapa lama waktu operasi reaktor sampai karbon aktif jenuh.

1.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

2.

3.

4.

1. Mengetahui seberapa besar tingkat efisiensi arang aktif tempurung kelapa sebagai adsorben dalam menurunkan limbah cair laboratorium yang mengandung COD .
2. Mengetahui seberapa lama waktu operasi reaktor sampai karbon aktifnya jenuh.

5.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka manfaat yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah :

6.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 COD

COD adalah jumlah oksigen yang diperlukan agar bahan buangan yang ada dalam air dapat teroksidasi melalui reaksi kimia baik yang dapat didegradasi secara biologis maupun yang sukar didegradasi. Bahan buangan organik tersebut akan dioksidasi oleh dikromat yang digunakan sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*) menjadi gas CO₂ dan H₂O serta sejumlah ion *chrom*. Reaksinya sebagai berikut (Metcalf dan Eddy, 1991):



Angka COD merupakan ukuran bagi pencemaran air oleh zat-zat organik yang secara alamiah dapat maupun tidak dapat dioksidasikan melalui proses mikrobiologis, dan mengakibatkan berkurangnya oksigen terlarut dalam air (Alaerts and Simestri, 1984).

Perairan dengan nilai COD tinggi tidak diinginkan bagi kepentingan perikanan dan pertanian. Nilai COD pada perairan yang tidak tercemar biasanya kurang dari 20 mg/L, sedangkan pada perairan tercemar dapat lebih dari 200 mg/L dan pada limbah industri dapat mencapai 60.000 mg/L.

Nilai COD merupakan satu bilangan yang dapat menunjukkan banyaknya oksigen yang diperlukan untuk mengoksidasi bahan organik menjadi CO_2 dan air dengan perantara oksidan kuat dalam suasana asam.

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 nama COD (*Chemical Oxygen Demand*) (Cheremisionoff,1978).

COD merupakan salah satu parameter indikator 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.

Kadar COD dalam air limbah akan berkurang seiring dengan berkurangnya konsentrasi bahan organik yang terdapat dalam air limbah. Konsentrasi bahan organik yang rendah tidak selalu dapat di reduksi dengan metode pengolahan yang konvensional. Karbon aktif mempunyai suatu gaya gabung dengan bahan organik, hal tersebut dapat digunakan untuk meremoval bahan kontaminan organik dari air limbah (Cheremisionoff,1978).

Efektifitas karbon aktif untuk meremoval bahan organik dari air limbah dengan cara adsorpsi tergantung dari luas permukaan karbon aktif itu sendiri. Luas

permukaan karbon aktif bisa berkisar antara 500-1400 m²/g (Cheremisionoff and Ellerbusch,1978).

Tabel 2.1 Kontaminan organik yang sangat mudah diadsorpsi oleh karbon aktif

<i>Dyes</i>	Pestisida
<i>Xylene</i>	Aromatik Nitrat
<i>Resorcinol</i>	<i>Polyols</i>
<i>Chlorophenols</i>	Warna
<i>Cresols</i>	BOD, COD, TOC

Sumber: *Carbon Adsorption Handbook*

2.2 Karbon Aktif (Arang Aktif)

Karbon aktif digunakan pertama kali pada pengolahan air dan air limbah untuk mengurangi material organik, rasa, bau dan warna (Culp, RL dan Culp, GL, 1986). Karbon aktif juga sering digunakan untuk mengurangi kontaminan organik, partikel kimia organik sintetis (SOCs), tapi karbon aktif juga efektif untuk mengurangi kontaminan inorganik seperti radon-222, merkuri, dan logam beracun lainnya (Ronald L,1997).

Karbon aktif terdiri dari berbagai mineral yang dibedakan berdasarkan kemampuan adsorpsi (daya serap) dan karakteristiknya. Sumber bahan baku dan proses yang berbeda akan menghasilkan kualitas karbon aktif yang berbeda. Sumber bahan baku karbon aktif berasal dari kayu, batu bara, arang tempurung kelapa, lignite. (Ronald, 1997).

Saat ini, arang aktif telah digunakan secara luas dalam industri kimia, makanan/minuman dan farmasi. Pada umumnya arang aktif digunakan sebagai bahan penyerap, dan penjernih. Dalam jumlah kecil digunakan juga sebagai katalisator (lihat tabel 2.2).

Tabel 2.2 Manfaat arang aktif untuk zat cair

Maksud/Tujuan	Pemakaian
1. Industri obat dan makanan	Menyaring dan menghilangkan warna, bau, rasa yang tidak enak pada makanan
2. Minuman ringan, minuman keras	Menghilangkan warna, bau pada arak/ minuman keras dan minuman ringan
3. Kimia perminyakan	Penyulingan bahan mentah, zat perantara
4. Pembersih air	Menyaring/menghilangkan bau, warna, zat pencemar dalam air, sebagai pelindung dan penukaran resin dalam alat/penyulingan air
5. Pembarsih air buangan	Mengatur dan membersihkan air buangan dan pencemar, warna, bau, dan logam berat
6. Penambakan udang dan benur	Pemurnian, menghilangkan bau dan warna
7. Pelarut yang digunakan kembali	Penarikan kembali berbagai pelarut, sisa metanol, etil, asetat dan lain-lain

Sumber: <http://www.warintek.net>

2.2.1 Syarat Mutu Arang Aktif

Menurut Standard Industri Indonesia (SII No. 0258-79) persyaratan arang aktif adalah sebagai berikut :

Tabel 2.3 Syarat Mutu Arang Aktif

Jenis Uji	Satuan	Persyaratan
1. Bagian yang hilang pada pemanasan 950°C	%	Maksimum 15
2. Air	%	Maksimum 10
3. Abu	%	Maksimum 2,5
4. Bagian yang tidak mengarang	%	Tidak ternyata
5. Daya serap terhadap larutan I2	%	Maksimum 20

Sumber: <http://www.warintek.net>

Tempurung kelapa merupakan bahan yang baik sekali untuk dibuat arang aktif yang dapat digunakan sebagai bahan penyerap (*adsorbant*). Selain karena kekerasannya juga karena bentuknya yang tidak terlalu tebal sehingga memungkinkan proses penyerapan berlangsung secara merata.

2.2.2 Proses Pembuatan

Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa terdiri dari 2 tahapan, yaitu :

1. Proses pembuatan arang dari tempurung kelapa
2. Proses pembuatan arang aktif dari arang

Rendemen arang aktif dari tempurung kelapa sekitar 25% dan tar 6%

1. Pembuatan arang dari tempurung kelapa bahan baku:

Kebutuhan tempurung kelapa 1 ton/hari. Tempurung kelapa harus yang sudah tua, kayunya keras, kadar air rendah, sehingga dalam proses pengarangan,

pematangannya akan berlangsung baik dan merata. Jika kadar air tinggi berarti kelapa belum cukup tua, proses pengarangan akan berlangsung lebih lama.

2. Proses pembuatan arang aktif dari arang. Proses pembuatan arang aktif dilakukan dengan cara "destilasi kering" yaitu pembakaran tanpa adanya oksigen pada temperatur tinggi. Untuk kegiatan ini dibutuhkan *prototype* tungku aktivasi (alat destilasi) yang merupakan kisi-kisi tempat arang yang diaktifkan dengan kapasitas 250 kg arang. Proses aktivasi dilakukan hanya dengan mengontrol temperatur selama waktu tertentu (<http://www.warimtek.net>)

Material karbon diaktifkan melalui beberapa proses antara lain :

1. Menghilangkan kadar air (dehidrasi)
2. Mengubah bahan-bahan organik menjadi karbon dasar ; menghilangkan bagian-bagian nonkarbon (*carbonization*)
3. Pembakaran arang dan pembesaran pori (aktifasi)

Untuk menghilangkan kadar air material dipanaskan pada suhu 170°C kemudian temperatur dinaikkan di atas 170°C untuk menghilangkan bagian-bagian non karbon dalam keadaan hampa udara.

Aktivasi material diikuti oleh penggunaan uap panas atau karbondioksida sebagai pengaktif, karbon dibakar pada suhu 750-950°C guna memperbesar jaringan pori (Cheremisinoff, 1978).

2.2.3 Karakteristik Karbon Aktif

Ada beberapa karakteristik yang penting di dalam pengolahan air limbah diantaranya luas permukaan, kerapatan partikel, densitas unggun (bulk density), ukuran efektif, volume pori, analisa ayakan, kadar abu, angka iodium, kadar air dan distribusi ukuran pori (Culp, RL dan Culp, GL, 1986).

Tabel 2.4 Karakteristik dari beberapa karbon aktif granular komersil

Karakteristik Fisik	ICI American Hydrodargo 3000	Calgon Filtrisorb 300 (8x30)	Westvaco Nuchar WV-L (8x30)	Witco 517 (12x30)
Luas permukaan total, m ² /g	600-650	950-1500	1000	1050
Densitas unggun (bulk density), lb/ft ³	22	26	26	30
Densitas partikel (kondisi basah), g/cm ³	1,4-1,5	1,3-1,4	1,4	0,92
Ukuran efektif, mm	0,8-0,9	0,8-0,9	0,85-1,05	0,89
Koefisien keseragaman	1,7	≤ 1,9	≤ 1,8	1,44
Ukuran ayak (US standar)				
> No. 8	maks. 8 %	maks. 8 %	maks. 8 %	c
< No. 30	maks. 5 %	maks. 5 %	maks. 5 %	maks. 5 %
Diameter partikel rata-rata, mm	1,6	1,5-1,7	1,5-1,7	1,2
Angka iodium	min. 650	min. 900	min. 950	min. 1000
Angka abrasi	b	min. 70	min. 70	min. 85
Kadar abu	b	maks. 8 %	maks. 7,5 %	maks. 0,5 %
Kadar air	b	maks. 2 %	maks. 2 %	maks. 1 %

Keterangan :

b : tidak ada data dari pabrik

c : tidak dapat diaplikasikan untuk ukuran karbon ini

Sumber : (Culp, RL dan Culp, GL, 1986)

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan hal yang penting dalam karbon aktif. Ukuran partikel karbon aktif mempengaruhi kecepatan adsorpsi, tetapi tidak mempengaruhi kapasitas adsorpsi yang berhubungan dengan luas permukaan karbon (Cheremisinoff, 1978). Jadi kecepatan adsorpsi yang menggunakan karbon aktif serbuk (*powder*) lebih besar daripada karbon aktif butiran (*granular*). Luas

permukaan total mempengaruhi kapasitas adsorpsi total sehingga meningkatkan efektifitas karbon aktif dalam penyisihan senyawa organik dalam air buangan.

Ukuran partikel tidak terlalu mempengaruhi luas permukaan total sebagian besar meliputi pori-pori partikel karbon. Struktur pori-pori karbon aktif mempengaruhi perbandingan antara luas permukaan dan ukuran partikel.

Struktur pori adalah faktor utama dalam proses adsorpsi. Distribusi ukuran pori menentukan distribusi molekul yang masuk dalam partikel karbon untuk di adsorp. Molekul yang berukuran besar dapat menutup jalan masuk ke dalam *micropore* sehingga membuat area permukaan yang tersedia untuk mengadsorp menjadi sia-sia. Karena bentuk molekul yang tidak beraturan dan pergerakan molekul yang konstan, pada umumnya molekul yang lebih kecil dapat menembus kapiler yang ukurannya lebih kecil juga.

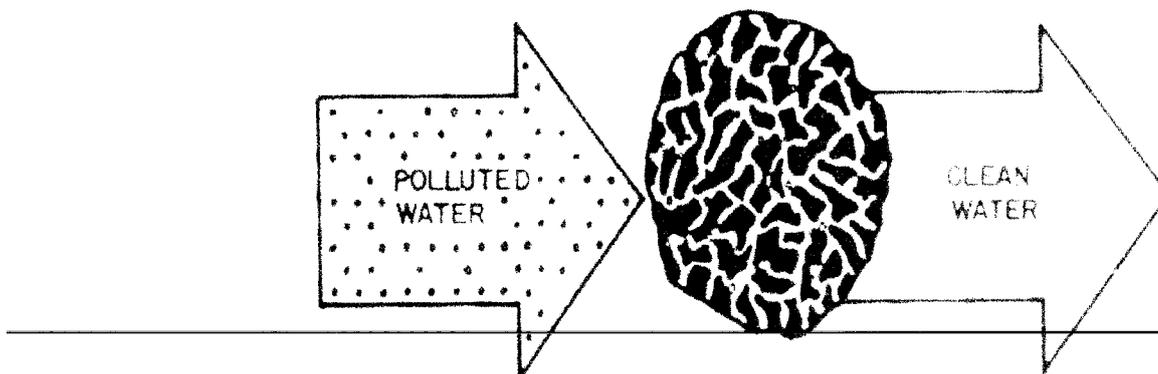
Karena adsorpsi merupakan proses masuknya molekul ke dalam pori-pori, menyebabkan proses adsorpsi karbon bergantung pada karakteristik fisik karbon aktif dan ukuran molekul adsorbat (Cheremisinoff, 1978).

Ada dua macam pori dalam partikel karbon aktif yaitu *micropore* dan *macropore*.

Diameter pori-pori tersebut dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Pori-pori makro dengan diameter $>1000\text{\AA}$
2. Pori-pori mikro dengan diameter $10-1000\text{\AA}$.

(Cheremisinoff, 1978)



Gambar 2.1 Konsep Adsorpsi pada Permukaan Pori Karbon Aktif
(Cheremisinoff, 1978)

Setelah aktivasi karbon, karbon aktif bisa diklasifikasikan menjadi dua jenis yang mempunyai ukuran partikel yang berbeda dengan kapasitas adsorpsi yang berbeda pula, yakni *powder*, jika ukuran diameter karbon aktif lebih kecil dari 200 mesh dan *granular* jika diameter karbon aktif berukuran lebih besar dari 0,1mm (Metcalf dan Eddy, 1991). Dalam pengolahan air minum atau air limbah karbon aktif bubuk dan karbon aktif *granular* mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing (Supranto, 1988)

Penggunaan bubuk karbon aktif mempunyai kelebihan sebagai berikut:

1. Sangat ekonomis karena ukuran butir yang kecil dan luas permukaan kontak persatuan berat sangat besar.
2. Kontak menjadi sangat baik dengan mengadakan pengadukan cepat dan merata.

3. Tidak memerlukan tambahan alat lagi karena karbon akan mengendap bersama lumpur yang terbentuk.
4. Kemungkinan tumbuhnya mikroorganisme sangat kecil.

Adapun kerugiannya ialah:

1. Penanganan karbon aktif, karena berbentuk bubuk yang sangat halus.
Kemungkinan mudah terbang terbawa angin, sulit tercampur dengan air dan mudah terbakar.
2. Karena tercampur dengan lumpur, maka sulit diregenerasi dan biaya operasinya mahal.
3. Kemungkinan terjadi penyumbatan lebih besar, karena karbon aktif bercampur dengan lumpur.

Kelebihan dari pemakaian karbon aktif *granular*:

1. Pengoperasian mudah karena air mengalir dalam media karbon.
2. Proses berjalan cepat karena ukuran butiran karbonnya lebih besar.
3. Karbon aktif tidak bercampur dengan lumpur sehingga dapat diregenerasi.

Kerugiannya:

1. Perlu tambahan unit pengolah lagi, yaitu filter.
2. Luas permukaan kontak persatuan berat lebih kecil karena ukuran butiran karbon besar.

2.3 Adsorpsi

Adsorpsi adalah proses yang terjadi pada permukaan suatu zat padat yang berkontak dengan suatu larutan dimana terjadi akumulasi molekul-molekul larutan pada permukaan zat padat tersebut.

Makin rendah kelarutan suatu zat organik di dalam air, makin mudah diadsorpsi dari larutannya. Hal yang sama, makin kurang polar suatu senyawa organik makin baik teradsorpsi dari larutan yang bersifat polar ke permukaan yang non polar.

Dalam adsorpsi digunakan istilah adsorbat dan adsorban, dimana adsorbat adalah substansi yang terserap atau substansi yang akan dipisahkan dari pelarutnya, sedangkan adsorban adalah merupakan media penyerap dalam hal ini berupa senyawa karbon.

2.3.1 Mekanisme Adsorpsi

Adsorpsi secara umum adalah proses penggumpalan substansi terlarut (*soluble*) yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap, dimana terjadi suatu ikatan kimia-fisika antara substansi dengan penyerapnya. Proses perlekatan dapat saja terjadi antara cairan dan gas, padatan, atau cairan lain.

Adsorpsi fisik terjadi karena adanya ikatan *Van der waals*, dan bila ikatan tarik antar molekul zat terlarut dengan zat penyerapnya lebih besar dari ikatan antara molekul zat terlarut dengan pelarutnya maka zat terlarut akan dapat diadsorpsi (Reynold, 1982). Sedangkan adsorpsi kimia merupakan hasil dari reaksi kimia antara molekul adsorbat dan adsorban dimana terjadi pertukaran elektron (Benefield, 1982).

Pada air buangan proses adsorpsi adalah merupakan gabungan antara adsorpsi secara fisika dan kimia yang sulit untuk dibedakan, namun demikian tidak akan mempengaruhi analisa pada proses adsorpsi. Adsorpsi terhadap air buangan mempunyai tahapan proses seperti berikut (Benefield, 1982):

1. Transfer molekul-molekul adsorbat menuju lapisan film yang mengelilingi adsorban.

2. Difusi adsorbat melalui lapisan film (*film diffusion*).
3. Difusi adsorbat melalui kapiler atau pori-pori dalam adsorban (*proses pore diffusion*)
4. Adsorpsi adsorbat pada permukaan adsorban.

2.3.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme adsorpsi adalah agitasi, karakteristik karbon aktif, ukuran molekul adsorbat, pH larutan, temperatur dan waktu kontak (Benefield, 1982).

1. Agitasi

Tingkat adsorpsi dipengaruhi oleh difusi film atau difusi pori yang bergantung pada jumlah agitasi dalam sistem. Jika agitasi yang terjadi antara partikel karbon dengan cairan relatif kecil, permukaan film dari *liquid* sekitar partikel akan menjadi tebal dan difusi film akan terbatas.

2. Karakteristik karbon Aktif

Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik terpenting dari karbon aktif sebagai adsorban. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi yang terjadi ; tingkat adsorpsi meningkat seiring mengecilnya ukuran partikel. Tingkat adsorpsi untuk karbon aktif *powder* lebih cepat dari pada granular.

Total kapasitas adsorpsi tergantung pada total luas permukaan dimana ukuran partikel karbon tidak berpengaruh besar pada total luas permukaan karbon.

3. Ukuran molekul Adsorbat

Ukuran molekul merupakan bagian yang penting dalam adsorpsi karena molekul harus memasuki *micropore* dari partikel karbon untuk diadsorpsi. Tingkat adsorpsi biasanya meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran molekul dari adsorbat.

Kebanyakan limbah terdiri dari bahan-bahan campuran sehingga ukuran molekulnya berbeda-beda. Pada situasi ini akan memperburuk penyaringan molekul karena molekul yang lebih besar akan menutup pori sehingga mencegah jalan masuknya molekul yang lebih kecil. Posisi dari variasi ukuran molekul selama terjadinya adsorpsi dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Konsep penyaringan molekul pada pori-pori karbon aktif
(Cheremisinoff, 1978)

4. pH

pH mempunyai pengaruh yang sangat besar pada proses adsorpsi, karena pH menentukan tingkat ionisasi larutan. Asam organik dapat diadsorpsi dengan mudah pada pH rendah, sebaliknya basa organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi. Pada umumnya, adsorpsi bahan organik dari air limbah meningkat seiring dengan menurunnya pH (Culp, RL dan Culp, GL, 1986). Pada pH rendah, jumlah ion H^+ lebih besar; dimana ion H^+ tersebut akan menetralkan permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif, sehingga dapat mengurangi halangan untuk terjadinya difusi organik pada pH yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada pH tinggi, jumlah ion OH^-

berlimpah, sehingga menyebabkan proses difusi bahan-bahan organik menjadi terhalang (Rani Sahu, www.GISdevelopment.net). pH optimum untuk proses adsorpsi harus didapat dari tes laboratorium.

5. Suhu

Tingkat adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya suhu dan akan menurun dengan menurunnya suhu. Karena adsorpsi merupakan proses eksoterm, maka dari itu tingkat adsorpsi umumnya meningkat sejalan dengan menurunnya suhu dan menurun pada suhu yang tinggi.

6. Waktu Kontak

Waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Gaya adsorpsi molekul dari suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontak dengan karbon aktif makin lama. Waktu kontak yang lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul zat terlarut yang teradsorpsi berlangsung lebih baik.

2.4 Isotherm Adsorpsi

Data yang dikumpulkan selama pengujian adsorpsi akan menunjukkan kemampuan karbon dan akan memberi informasi yang berharga jika dapat diterangkan dengan baik. Beberapa persamaan matematika telah dikembangkan untuk menguraikan distribusi *equilibrium* keseimbangan antara fase cair dan padat dan tujuannya untuk menjelaskan data adsorpsi. Persamaan ini diterapkan ketika tes adsorpsi dilakukan pada suhu yang konstan yang kemudian dikenal sebagai isotherm

adsorpsi. Ada tiga macam persamaan isotherm adsorpsi yang biasa digunakan yaitu isotherm Langmuir, isotherm Freundlich dan isotherm Brunaur-Emmett-Teller (BET) (Benefield, 1982).

1. Isotherm Langmuir

$$\frac{x}{m} = \frac{abc}{1+ac} \quad (\text{pers.2})$$

dimana :

x = jumlah material adsorbat (mg atau g)

m = berat adsorban (mg atau g)

C = konsentrasi larutan setelah proses adsorpsi

a dan b = konstanta

2. Isotherm Freundlich yang merupakan suatu rumus empiris yang mewakili equilibrium adsorpsi untuk konsentrasi zat terlarut tertentu :

$$\frac{x}{m} = KC^{1/n} \quad (\text{pers.3})$$

dimana :

x = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi (mg, g)

m = berat adsorban

C = konsentrasi larutan (mg/l)

K dan n = konstanta eksperimen

3. Isotherm Brunaur-Emmett-Teller (BET)

$$\frac{x}{m} = \frac{ACx_m}{(C_s - C) \left[1 + (A-1) \frac{C}{C_s} \right]} \quad (\text{Pers.4})$$

Dimana :

x = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi (mg atau mol)

m = berat adsorban (mg atau g)

x_m = jumlah zat terlarut yang teradsorpsi dalam bentuk monolayer yang komplit (mg/g, mol/g)

C_s = konsentrasi jenuh larutan (mg/l, mol/l)

C = konsentrasi kesetimbangan larutan (mg/l, mol/l)

A = konstanta dari energi interaksi antara larutan dan permukaan adsorbent

2.5 Regenerasi Karbon

Peremajaan karbon adalah suatu sistem dimana karbon yang telah jenuh dengan bahan-bahan organik terserap dan tidak dapat lagi dilepas oleh sistem pencucian, akan dilepas dengan memberi uap panas.

Uap panas yang diperlukan untuk melepaskan senyawa-senyawa organik terserap adalah sama dengan besarnya panas yang dibutuhkan untuk menguapkan senyawa organik dalam proses penguapan senyawa organik suatu substansi, yaitu sebesar 1600 sampai 1800°F (Cheremisinoff, 1978).

2.6 Hipotesa

Berdasarkan tinjauan pustaka, karbon aktif dapat mengadsorb COD dalam air limbah, sehingga kadar COD dalam air limbah menjadi lebih kecil.

Hipotesa penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Karbon aktif dari arang tempurung kelapa dapat digunakan sebagai adsorben untuk menurunkan konsentrasi COD dalam limbah. Efisiensi penurunan COD dengan menggunakan karbon aktif akan meningkat seiring dengan menurunnya pH.
2. Semakin lama waktu operasi reaktor maka karbon aktif tempurung kelapa semakin jenuh.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

3.2 Objek Penelitian

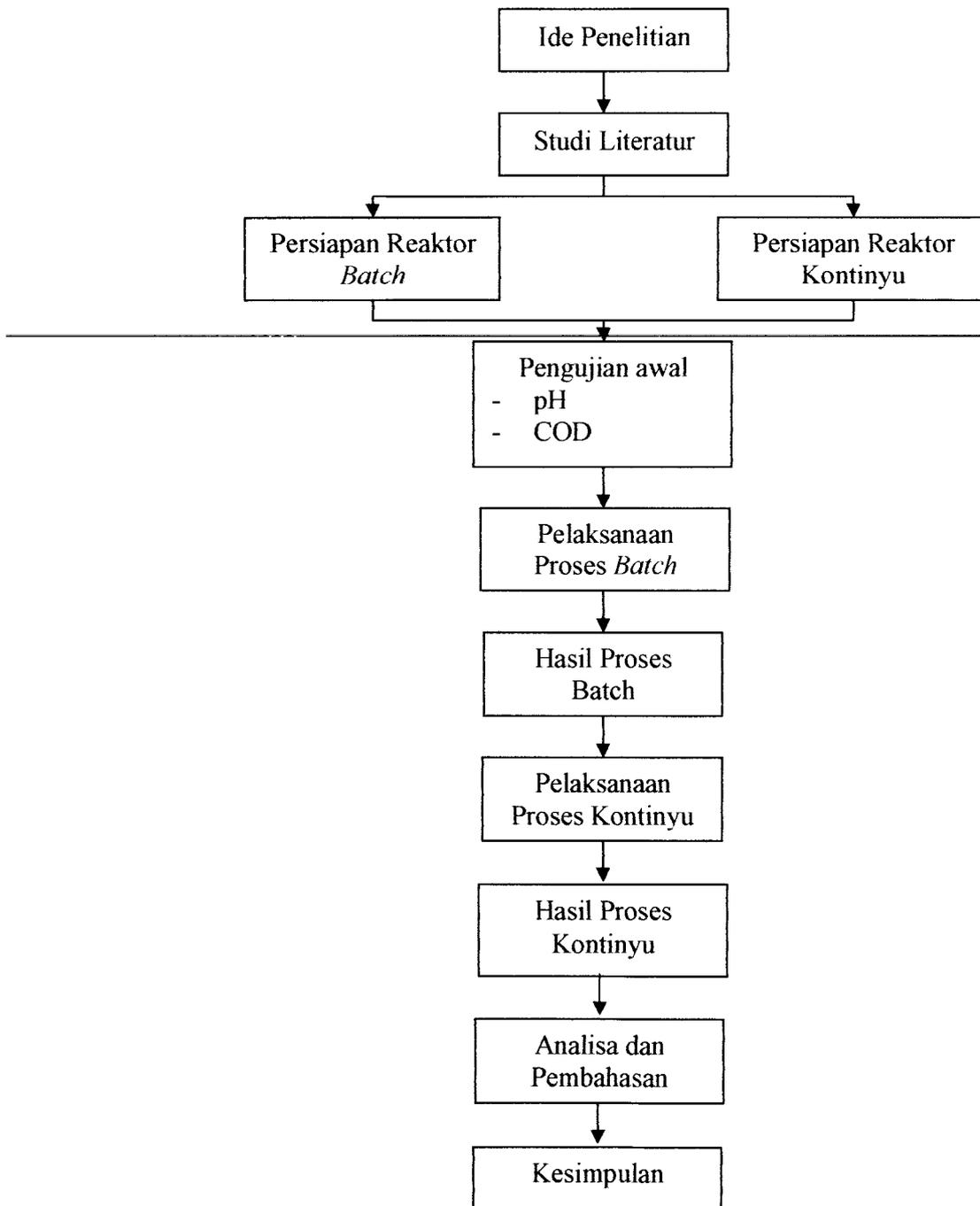
Objek penelitian adalah limbah cair yang berasal dari laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia.

3.3 Waktu Penelitian

Pada proses *batch*, penelitian dilakukan pada tanggal 24-25 September 2004 dan sampel diperiksa pada tanggal 27 September 2004. Untuk proses kontinyu, penelitian dilakukan pada tanggal 13 Januari 2005 dan sampel diperiksa tanggal 17-19 Januari 2005.

3.4 Kerangka Penelitian

Adapun kerangka penelitian untuk tugas akhir ini dapat dilihat pada diagram penelitian, yaitu pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.5 Parameter dan Variabel Penelitian

3.5.1 Parameter Penelitian

Pada penelitian ini ditekankan pada data parameter-parameter mencakup sebagai berikut:

Tabel 3.1 Parameter Penelitian

No.	Parameter	Satuan	Standar Kualitas Air PP No. 82 th 2001 *	Metode Uji
1.	COD	mg/l	25	Titrimetri (SK SNI M-70-1990-03)
2.	pH		6-9	pH stick

* Lampiran 4

3.5.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Variabel pengaruh yaitu dosis karbon aktif , variasi kadar pH, dan waktu pengambilan sampel.
2. Variabel terpengaruh yaitu kualitas parameter COD dalam air limbah laboratorium Universitas Islam Indonesia.

3.6 Metode Pelaksanaan Penelitian

Dalam penelitian proses adsorpsi dilakukan dengan dua cara yaitu secara *batch* dan kontinyu dengan aliran ke bawah (secara gravitasi).

Dari proses ini dihasilkan nilai perbandingan besar COD yang terserap untuk tiap karbon pada saat $C-C^*$ yang ditampilkan dalam grafik isotherm Freundlich.

3.6.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

3.6.1.1 Proses *Batch*

Proses *batch* dilakukan dengan dua macam variasi yaitu pH dan dosis karbon aktif, dengan rician masing-masing:

- Variasi pH : 7, 8, 9, dan 10

- Variasi dosis karbon aktif : 1000 mg, 2000 mg, 3000 mg dan 4000 mg.

Pada proses *batch* ini menggunakan *jar test* yang dilakukan dengan cara :

- Lakukan pemeriksaan air sampel terlebih dahulu untuk parameter COD nya.
- Siapkan 4 buah gelas beker ukuran 1 liter masing-masing diisi 200 ml sampel air dengan kadar pH masing-masing 7, 8, 9 dan 10.
- Untuk variasi pH dengan mengatur penambahan kapur sehingga diperoleh pH sesuai dengan yang diinginkan.
- Kemudian diletakkan pada *jar test*.
- Tambahkan karbon aktif dengan dosis 1000 mg.
- Kocok dengan kecepatan 150 RPM selama 2 jam.
- Analisa hasil percobaan
- Ulangi dengan cara yang sama dengan variasi dosis karbon aktif.

3.6.1.2 Proses Kontinyu

a. Persiapan Alat dan Bahan

- Peralatan yang berupa kolom, stop kran, reservoir serta peralatan pendukung lainnya dirangkai dan dipasang.
- Menyiapkan sampel yang akan digunakan.

- Memasukkan sampel ke dalam reservoir dan stop kran untuk pengatur debit ditutup rapat.
- Kolom diisi karbon aktif dengan ketinggian 40 cm.

b. Menjalankan Alat

Proses kontinyu dilakukan dengan menggunakan pH 8 karena hasil pada proses *batch* pH 8 merupakan pH yang paling bagus menyerap COD.

Pengoperasian reaktor karbon aktif kontinyu dilakukan dengan cara :

- Lakukan pemeriksaan air sampel terlebih dahulu untuk parameter COD nya.
- Sampel yang telah dimasukkan ke dalam reservoir dialirkan secara gravitasi. Debit pengaliran ditentukan sesuai dengan perhitungan yaitu sebesar 0,187 liter/menit. Pengaturan debit dilakukan dengan mengatur bukaan stop kran dan menjaga tinggi muka air dalam reservoir.
- Air sampel dialirkan ke filter karbon aktif reaktor 1 kemudian ambil sampel air melalui titik sampling 1.
- Dari filter karbon aktif reaktor 1, air dialirkan ke filter karbon aktif reaktor 2.

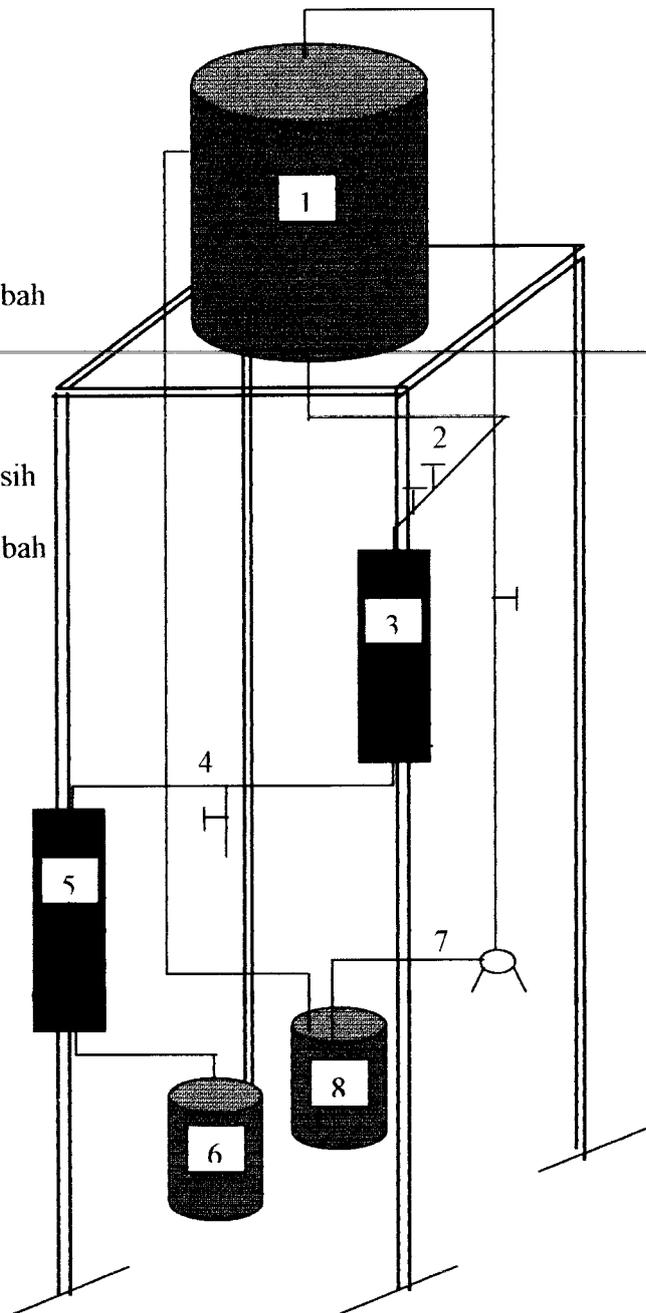
- Dari reaktor karbon aktif 2, air dialirkan ke bak penampung kemudian ambil sampel air di titik sampling 2.
- Air hasil pengolahan selanjutnya diperiksa ke laboratorium untuk diperiksa kualitasnya.

3.6.2 Pemeriksaan Hasil Penelitian

Seperti yang dijelaskan pada bagan pelaksanaan penelitian, sampel-sampel yang telah selesai mengalami proses (baik *batch* maupun kontinyu) akan dianalisa di Laboratorium Kualitas Air Universitas Islam Indonesia menggunakan metode Titrimetri (SK SNI M-70-1990-03).

Keterangan :

1. bak penampung air limbah
2. kran pengatur debit
3. kolom 1
4. titik sampling 1
5. kolom 2
6. bak penampung air bersih
7. pompa
8. bak penampung air limbah



Gambar 3.2 Reaktor Sistem Kontinyu

3.7 Analisa Data

Analisa data untuk penentuan kualitas air dengan membandingkan antara konsentrasi COD pada limbah awal dengan konsentarsi COD setelah menjalankan reaktor *batch* dan kontinyu dengan menggunakan persamaan *overall efficiency* yaitu :

$$\eta = \frac{C_o - C_e}{C_o} \times 100\%$$

dimana, η = *Overall Efficiency* (%)

C_o = Konsentrasi Awal (mg/l)

C_e = Konsentrasi Akhir (mg/l)

Pada penelitian ini digunakan model isotherm Freundlich karena persamaan ini sudah digunakan secara luas (Masschelein, 1992) dan lebih memberikan hasil yang memuaskan (Wesley, 1989).

Setelah diperoleh persamaan isotherm Freundlich kemudian dapat dihitung waktu operasi reaktor dengan menggunakan model matematika berdasarkan *mass transfer model*. Digunakannya persamaan ini karena dapat memudahkan untuk membuat sebuah kurva *theortical breakthrough* dan menentukan karakteristik operasi yang akan digunakan untuk mendisain sebuah kolom adsorpsi (Benefield, 1982).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses *Batch*

4.1.1 Hasil Pengujian Awal Kadar COD dan pH Sebelum Proses Adsorpsi

Hasil awal pengujian pH dan kadar COD dalam limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil pengujian awal kadar COD dan pH sebelum proses adsorpsi

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis
1.	COD	Mg/l	81,3
2.	pH		8

4.1.2 Hasil Pengujian Pengaruh pH dan Berat karbon Aktif Terhadap Efisiensi Penyerapan Kadar COD pada Proses *Batch*

Percobaan pada metode ini dilakukan pada kondisi:

- Konsentrasi COD (awal) :
 - pH 7 = 85,8 mg/l
 - pH 8 = 81,3 mg/l
 - pH 9 = 61,2 mg/l

- pH 10 = 53,8 mg/l
- Volume limbah cair = 200 ml
- Berat adsorbant (karbon aktif) = 1 gr, 2 gr, 3 gr dan 4 gr.
- Kecepatan pengadukan = 150 RPM
- Waktu pengadukan = 2 jam

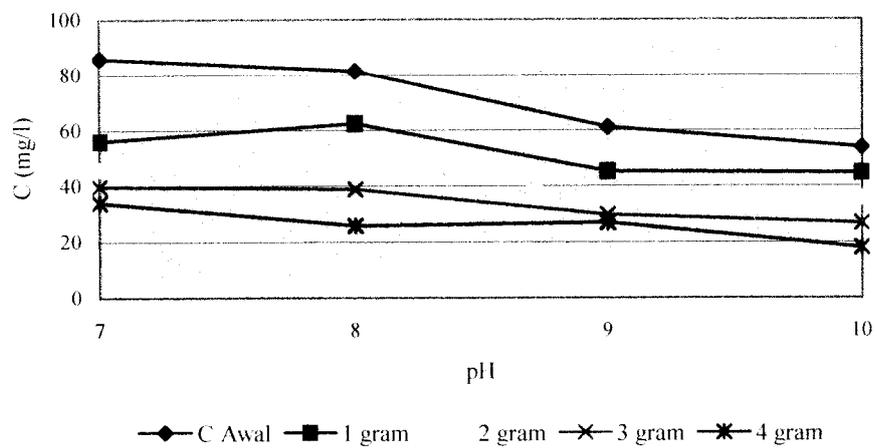
Untuk mengetahui pengaruh pH dan berat karbon aktif terhadap efisiensi penurunan COD dalam limbah cair laboratorium dapat dilihat pada tabel 4.2, gambar 4.1 , gambar 4.2 dan gambar 4.3.

Tabel 4.2. Hasil pengujian pengaruh pH dan berat karbon aktif terhadap efisiensi penurunan COD dalam limbah cair

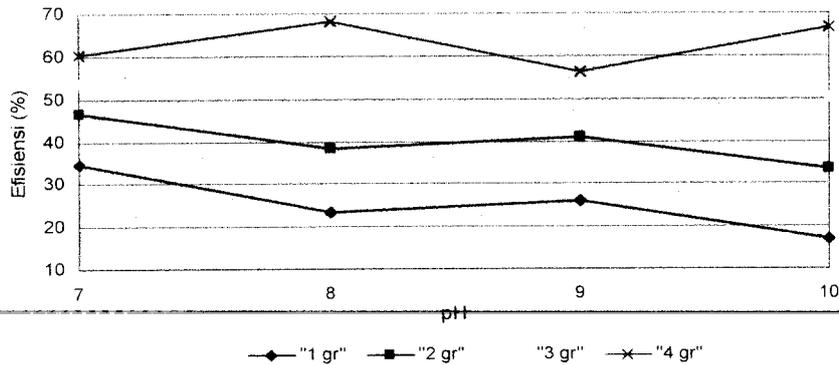
pH	Berat Karbon Aktif (gr)	C (mg/l)	Efisiensi removal (%)
7	0	85,8	
	1	56,1	35
	2	46	46
	3	39,9	53
	4	34	60
8	0	81,3	
	1	62,4	23
	2	50	38
	3	38,9	52
	4	25,8	68

pH	Berat Karbon Aktif (gr)	C (mg/l)	Efisiensi removal (%)
9	0	61,2	
	1	45,2	26
	2	36,1	41
	3	29,8	51
	4	26,9	56
10	0	53,8	
	1	44,6	17
	2	35,7	34
	3	26,8	50
	4	18	67

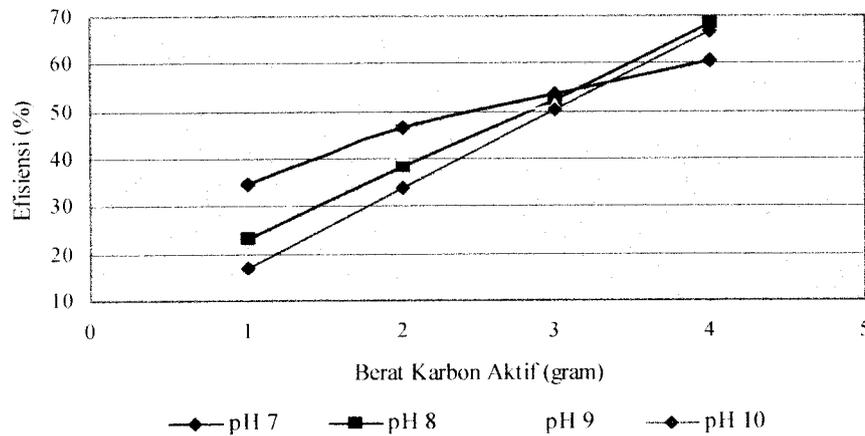
Dari tabel dibuat grafik hubungan antara pH (sumbu x) dengan konsentrasi COD (sumbu y), hubungan pH (sumbu x) dengan efisiensi removal (sumbu y), selain itu dibuat juga grafik antara hubungan berat karbon yang digunakan (sumbu x) dengan efisiensi removal (sumbu y).



Gambar 4.1. Grafik hubungan antara pH dengan konsentrasi COD



Gambar 4.2. Grafik hubungan antara pH dengan efisiensi penurunan konsentrasi COD



Gambar 4.3. Grafik hubungan antara berat karbon aktif dengan efisiensi penurunan konsentrasi COD

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa karbon aktif dapat menurunkan kandungan COD dalam sampel air limbah. Untuk meminimalkan konsentrasi COD tersebut parameter yang berpengaruh pada proses adsorpsi yaitu banyaknya dosis

karbon aktif yang digunakan dan pH dari limbah tersebut. Pada percobaan ini variasi dosis karbon aktif yang digunakan yaitu 1000 mg, 2000 mg, 3000 mg dan 4000 mg. Sedangkan untuk variasi pH nya 7, 8, 9 dan 10.

Gambar 4.1 dan 4.2 menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD dengan menggunakan karbon aktif akan meningkat seiring dengan menurunnya pH. Seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.3.2, hal ini disebabkan karena pada pH rendah, jumlah ion H^+ lebih besar; dimana ion H^+ tersebut akan menetralkan permukaan karbon aktif yang bermuatan negatif, sehingga dapat mengurangi halangan untuk terjadinya difusi organik pada pH yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada pH tinggi, jumlah ion OH^- berlimpah, sehingga menyebabkan proses difusi bahan-bahan organik menjadi terhalang.

Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin banyak karbon aktif yang digunakan dalam proses *batch*, efisiensi penurunan konsentrasi COD semakin besar. Hal ini disebabkan karena luas permukaan karbon aktif untuk mengadsorb bahan organik lebih besar. Efisiensi removal pada pH 7 (untuk berat karbon 1-3 gr) lebih baik daripada pH 8. Tetapi kondisi ini tidak terjadi pada saat berat karbon yang digunakan sebesar 4 gr. Efisiensi removal pada saat pH 8 lebih besar daripada pH 7. Dari beberapa literatur (Culp, RL dan Culp, GL, 1986; Masschelein, 1992; www.eco-web.html; Rani Sahu, www.GISdevelopment.net;) tidak didapatkan penjelasan mengenai fenomena ini, kondisi yang ada pada penelitian-penelitian sebelumnya (Rani Sahu meneliti efisiensi karbon aktif dalam proses adsorpsi bahan organik

menggunakan limbah dengan *range* pH antara 1-12; Anonim menggunakan *range* pH antara 5-8,7) menunjukkan bahwa efisiensi penurunan COD akan meningkat seiring dengan menurunnya pH. Apakah ini suatu kejadian khusus atau kejadian umum, untuk mengetahuinya perlu penelitian lebih lanjut.

Karena persentase removal terbesar untuk menurunkan konsentrasi COD dalam air limbah terjadi pada pH 8 dimana konsentrasi awal 81,3 mg/l dapat diturunkan menjadi 25,8 mg/l, efisiensi penurunannya mencapai 68%, maka pada proses kontinyu reaktor dioperasikan dengan menggunakan limbah dengan pH 8 (pH awal air limbah laboratorium).

Dari hasil pengamatan yang diperoleh, dapat dicari model sorpsinya. Model sorpsi COD oleh karbon aktif dalam sistem *batch* dapat ditentukan dengan pendekatan persamaan sorpsi pada kesetimbangan yang disebut isotherm adsorpsi. Pada pengamatan ini menggunakan model persamaan isotherm Freundlich pada kesetimbangan adsorpsi.

Berdasarkan perhitungan pada lampiran 2, diperoleh harga $k = 0,0009$ dan $n = 3,04785$ sehingga besarnya penyerapan COD menggunakan karbon aktif adalah:

$$x/m = 0,0009 * C^{0,3281}$$

Nilai persamaan di atas memberikan informasi untuk memperkirakan operasi dari adsorpsi karbon aktif.

4.2 Proses Kontinyu

4.2.1 Hasil Pengujian Awal Kadar COD dan pH Sebelum Proses Adsorpsi

Hasil pengujian awal pH dan kadar COD dalam limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian awal kadar COD dan pH sebelum proses adsorpsi

No.	Parameter	Satuan	Hasil Analisis
1.	COD	mg/l	97.68
2.	pH		8

4.2.2 Hasil Pengujian Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Efisiensi Penyerapan Kadar COD pada Proses Kontinyu

Proses kontinyu yang dilakukan dalam percobaan adalah tipe *fixed bed column* dimana media adsorben dalam keadaan terendam. Kolom yang digunakan dalam proses kontinyu ini sebanyak 2 buah kolom yang disusun secara seri dan air limbah dialirkan secara gravitasi.

Adapun kondisi pengoperasian adalah :

- Konsentrasi COD awal = 97,68 mg/l
- pH = 8
- Tinggi media adsorben = 40 cm
- Debit = 0,187 l/m
- Jumlah kolom = 2 buah

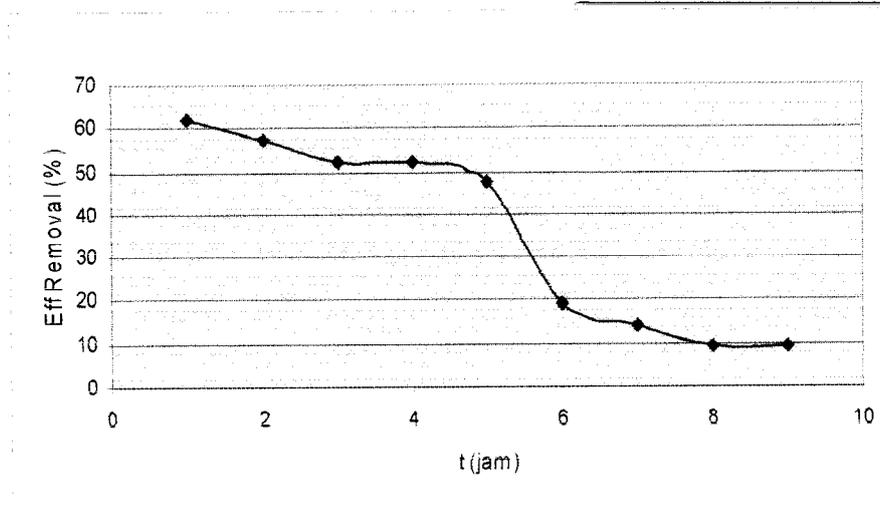
Dari proses *batch* diperoleh lamanya waktu pengoperasian yang dibutuhkan untuk mencapai titik jenuh dalam kolom (lampiran 3). Waktu pengoperasian (*run time*) yang di dapatkan adalah 8 jam 51 menit. Tetapi dalam pelaksanaan penelitian, reaktor dioperasikan selama 9 jam. Dan sampel diambil setiap 1 jam pada setiap titik sampling.

Hasil pengujian pengaruh waktu pengambilan sampel dan kadar COD dalam limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia dapat dilihat pada tabel 4.4 , gambar 4.4 , 4.5 , 4.6 dan 4.7.

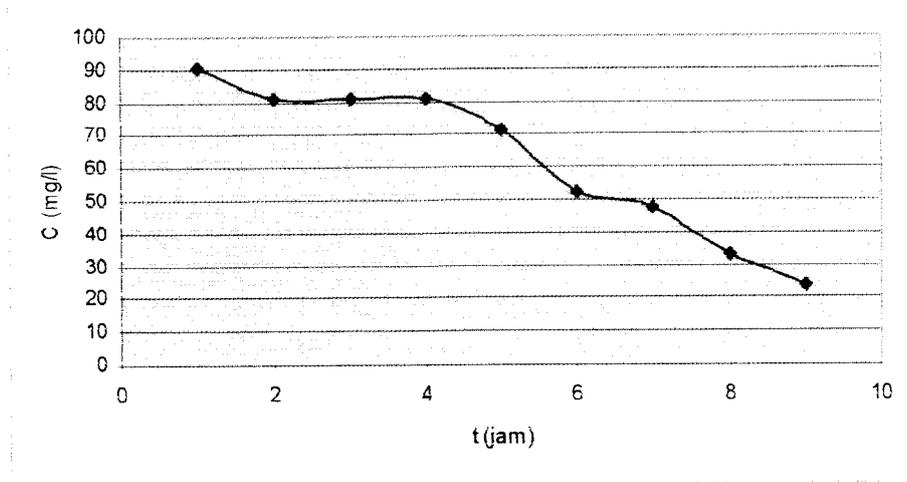
Tabel 4.4. Hasil pengujian pengaruh waktu pengambilan sampel terhadap efisiensi penurunan COD dalam limbah cair

No.	Titik Pengambilan Sampling	Waktu Kumulatif (jam)	Konsentrasi Awal (mg/l)	Konsentrasi Akhir (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%)
1.	1	1	97,86	37,28	61,90
		2	97,86	41,94	57,14
		3	97,86	46,6	52,38
		4	97,86	46,6	52,38
		5	97,86	51,26	47,62
		6	97,86	79,22	19,05
		7	97,86	83,88	14,29
		8	97,86	88,54	9,52
		9	97,86	88,54	9,52
2.	2	1	37,28	9,32	75,00
		2	41,94	18,64	55,56
		3	46,6	18,64	60,00
		4	46,6	18,64	60,00
		5	51,26	27,96	45,45
		6	79,22	46,6	41,18
		7	83,88	51,26	38,89
		8	88,54	65,24	26,32
		9	88,54	74,56	15,79

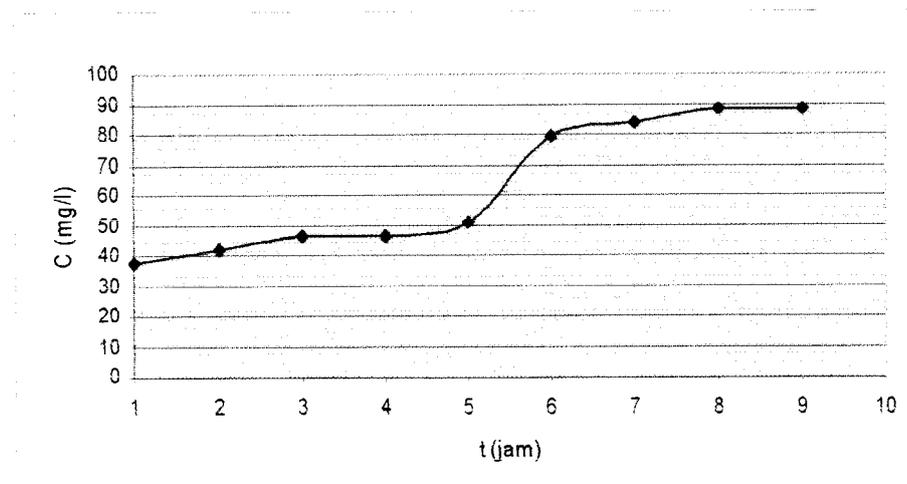
Dari tabel dibuat grafik hubungan antara Efisiensi removal (sumbu y) dan waktu operasi (sumbu x) yang ditunjukkan pada gambar 4.4 dan 4.5. Selain itu dibuat juga grafik hubungan antara hubungan antara C (sumbu y) dan waktu operasi (sumbu x). Grafik yang menunjukkan hubungan antara konsentrasi dan waktu operasi dalam proses kontinyu disebut sebagai *breakthrough curve* (gambar 4.6 dan 4.7).



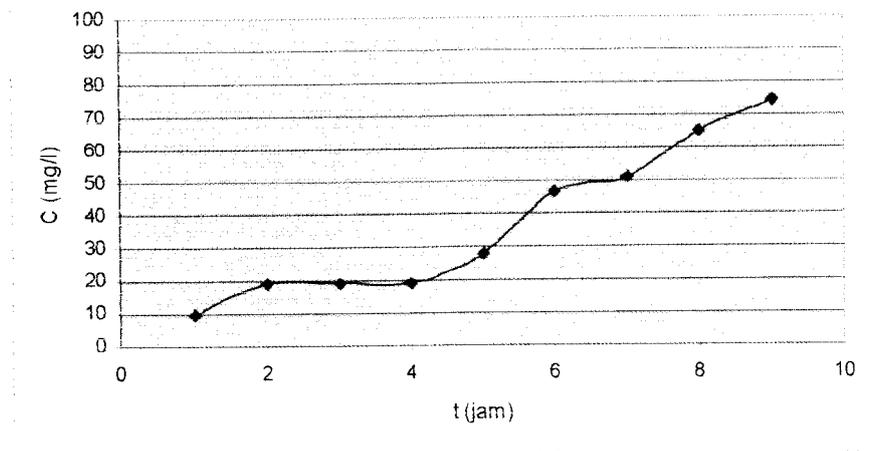
Gambar 4.4. Grafik hubungan antara waktu dengan efisiensi removal COD pada kolom I.



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara waktu dengan efisiensi removal COD pada kolom 2.



Gambar 4.6. Grafik hubungan antara waktu dengan konsentrasi COD pada kolom 1.



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara waktu dengan konsentrasi COD pada kolom 2.

Dari gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan bahwa efisiensi karbon aktif dalam meremoval COD semakin menurun seiring dengan bertambahnya waktu operasi. Hal ini terjadi karena kemampuan karbon aktif dalam mengadsorb COD berkurang. Berkurangnya kemampuan karbon aktif disebabkan karena pori-pori pada permukaan karbon tertutup oleh molekul yang telah diserapnya.

Dari proses kontinyu pada kolom 1 diperoleh (gambar 4.6) :

- *Breakthrough point* dicapai pada saat $t = 5$ jam.
- *Volume breakthrough* $= 5 * 60 \text{ menit} * 0,187 \text{ l/menit}$
 $= 56,1 \text{ L}$.
- *Exhaust point* dicapai pada saat $t = 8$ jam

Dari proses kontinyu pada kolom 2 diperoleh (gambar 4.7) :

- *Breakthrough point* dicapai pada saat $t = 5$ jam.
- Volume breakthrough $= 5 * 60 \text{ menit} * 0,187 \text{ l/menit}$
 $= 56,1 \text{ L.}$
- *Exhaust point* pada kolom 2 belum dicapai. Hal ini bisa disebabkan karena konsentrasi air limbah yang masuk pada kolom 2 merupakan *output* dari kolom 1. Dimana konsentrasi yang masuk lebih kecil dan kandungan limbah ada yang sudah teradsorp terlebih dahulu pada kolom 1.

Breakthrough point ditentukan berdasarkan nilai dari effluent limbah yang keluar dari kolom dengan tetap memperhatikan *safety factor* (faktor keamanan) (Ronald L, 1997). *Breakthrough point* menunjukkan volume air yang melintas (melewati) kolom karbon aktif sebelum konsentrasi maksimum dari *effluent* dicapai (Eckenfelder,1989). Pada kolom 1 dan kolom 2 diperoleh waktu *breakthrough* yang sama. Hal ini disebabkan karena pada saat 5 jam pengoperasian, kemampuan karbon aktif pada kolom 1 untuk menyerap bahan organik sudah mulai berkurang, sehingga konsentrasi limbah yang masuk ke dalam kolom 2 juga semakin besar. Pada sistem kontinyu, konsentrasi larutan berpengaruh besar pada kemampuan karbon aktif untuk mengadsorp bahan organik. Konsumsi karbon aktif akan meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi larutan. Selain itu, waktu *breakthrough point* yang sama antara kolom 1 dan kolom 2 dimungkinkan karena debit air limbah yang dialirkan melalui kolom sangat kecil sehingga jatuhnya air yang masuk ke dalam kolom tidak

merata (tidak merendam karbon aktif secara menyeluruh) dan menyebabkan proses adsorpsi hanya terjadi pada sebagian karbon aktif.

Kemungkinan lain yang menyebabkan waktu *breakthrough point* yang sama antara kolom 1 dan kolom 2 adalah karena pengaruh faktor-faktor yang mempengaruhi proses adsorpsi dari karbon aktif seperti kompetisi dari molekul larutan dan kompetisi ion (sub bab 2.3.2)

Limbah laboratorium Universitas Islam Indonesia merupakan limbah campuran yang terdiri dari berbagai bahan, sehingga ukuran molekulnya berbeda-beda. Pada situasi ini akan memperburuk penyaringan molekul karena molekul yang lebih besar akan menutup pori sehingga mencegah jalan masuknya molekul yang lebih kecil (seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.2.3). Selain itu, dalam proses adsorpsi bahan organik perlu diperhatikan komposisi ion dan pengaruh elektrolit lain yang terdapat dalam air limbah. Kehadiran logam pada limbah juga mempunyai pengaruh besar terhadap adsorpsi bahan organik, karena ion logam bermuatan positif pada permukaan karbon akan meningkatkan energi atraksi (Cheremisinoff, 1978).

Exhausted point diperoleh ketika karbon aktif tidak mampu lagi meremoval bahan organik. Hal ini ditunjukkan oleh garis yang mendatar pada gambar 4.6 dimana karbon aktif mulai jenuh pada jam ke 8. Konsentrasi air pada saat *exhaust* (C_e) adalah 0,90-0,99 dari konsentrasi awal (C_0) (Ronald L, 1997).

4.3 Analisa Hasil Proses *Batch* dan Kontinyu Untuk Aplikasi Pengolahan Limbah Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia

Dari hasil proses *batch*, efisiensi removal tertinggi sebesar 68 % dengan konsentrasi limbah awal sebesar 81,3 mg/l dan konsentrasi akhir limbah sebesar 25,8 mg/l. Sedangkan pada proses kontinyu, konsentrasi limbah awal 97,68 mg/l dan konsentrasi limbah akhir setelah melewati kolom 1 pada jam pertama konsentrasi limbah menjadi 37,28 mg/l. Hal ini menunjukkan pada proses kontinyu efisiensi removal yang diperoleh sebesar 61,90 %.

Pada sistem *batch*, waktu kontak antara adsorbat dengan adsorban lebih lama daripada proses kontinyu, tetapi dapat dilihat bahwa efisiensi removal pada sistem *batch* tidak jauh berbeda dengan sistem kontinyu yang waktu kontaknya lebih kecil. Hal ini dimungkinkan karena waktu kontak yang lama dan kondisi air yang turbulen memungkinkan molekul-molekul yang sudah terserap lepas dari permukaan ataupun pori-pori adsorban.

Ketika karbon aktif di dalam kolom 1 pada sistem kontinyu diregenerasi, kolom 2 melanjutkan proses adsorpsi untuk meremoval zat pencemar guna memelihara mutu air. Setelah kolom 1 diisi kembali dengan karbon baru, dan ketika karbon aktif dalam kolom 2 sudah jenuh, proses adsorpsi akan tetap dilanjutkan oleh kolom 1. Hal ini yang menyebabkan sistem kontinyu menjadi lebih efisien (Cheremisinoff, 1978). Metode ini dapat juga diterapkan pada sistem *batch*, dimana dalam proses pengolahan limbah digunakan dua atau lebih reaktor. Apabila reaktor

pertama mengalami proses pengendapan maupun regenerasi karbon, reaktor lain tetap dapat dioperasikan untuk meremoval zat pencemar yang ada dalam limbah.

Proses *batch* hanya mampu mengolah limbah dengan volume yang kecil, sedangkan proses kontinyu mampu mengolah limbah yang volumenya besar. Pada sistem *fixed bed* kolom, adsorbat mengalami kontak dengan adsorban secara terus menerus (kontinyu) (K. Vasanth Kumar dkk, 2004).

Biaya konstruksi, operasi dan pemeliharaan serta biaya-biaya regenerasi dan adsorpsi karbon tergantung pada karakteristik dari air limbah yang akan diolah, kapasitas dari rancang bangun unit pengolahan (*plant*), dan lokasi dari *plant*. Biaya konstruksi meliputi reaktor karbon, sistem pengangkutan karbon, regenerasi karbon, sistem pemompaan *influent* dan sistem *backwash* pada reaktor (jika diaplikasikan). Biaya operasi dan pemeliharaan meliputi pembelian karbon, regenerasi karbon, daya listrik yang digunakan untuk pemompaan dan kontrol dan penggantian komponen reaktor yang rusak (Anonim, EPA 832-F-00-017, 2000).

Dari analisa diatas, untuk alternatif pengolahan limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia, proses kontinyu memberikan hasil yang lebih efektif dan efisien sehingga dapat diaplikasikan sebagai unit pengolahan limbah.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian, analisis dan pembahasan, dapat diambil beberapa kesimpulan yang berkaitan dengan penelitian sebagai berikut:

1. Pada proses *batch*, efisiensi removal dari COD dalam air limbah meningkat seiring dengan semakin banyaknya dosis karbon aktif yang digunakan. Prosentase removal COD paling tinggi terjadi pada saat pH 8 sebesar 68% dengan dosis karbon aktif sebanyak 4 gram.
2. Pada proses kontinyu, kolom ke 1 mencapai *breakthrough* setelah 5 jam pengoperasian dengan konsentrasi limbah sebesar 51,26 mg/l dan mencapai *exhaust point* setelah 8 jam pengoperasian, konsentrasi pada saat *exhaust point* dicapai sebesar 88,54 mg/l. Sedangkan pada kolom ke 2, *breakthrough* terjadi setelah 5 jam pengoperasian dengan konsentrasi limbah sebesar 27,96 mg/l dan setelah 9 jam pengoperasian karbon aktif belum mencapai *exhaust point*.
3. Untuk aplikasi pengolahan limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia digunakan sistem kontinyu karena memberikan hasil yang lebih efektif dan efisien.

5.2 Saran

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah laboratorium terpadu UII.
2. Penelitian dengan metode adsorpsi ini perlu dilanjutkan lagi dengan variabel penelitian yang berbeda, misalnya variasi bahan karbon aktif, variasi waktu pengadukan, ketinggian kolom, diameter partikel, media bed, temperatur, debit dan lain-lain, sehingga diharapkan dapat melengkapi penelitian yang sudah dilakukan.
3. Memperhatikan faktor interaksi dengan parameter lain (pengaruh berbagai unsur lain dalam limbah).
4. Perlu penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh pH terhadap efisiensi removal COD pada sistem *batch*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2000, **Wastewater Technology Fact Sheet: Granular Activated Carbon Adsorption and Regeneration**, EPA 832-F-00-017, US Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, D.C.
- Anonim, 2001, **Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air**, www.ri.go.id
- Anonim, 1998, **Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa**, Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmu, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, http://www.warintek.net/arang_aktif.htm
- Anonim, 1991, **Kumpulan SNI Bidang PU Mengenai Kualitas Air**, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta
- Anonim, **Activated Carbon and Membrane Processes for Disinfection By-Product (DBP) and Microbial Control**, www.epa.gov
- Benefield, L.D., Judkins Jr., J.F., Weand, B.L., 1982. **Process Chemistry For Water And Wastewater Treatment**, Prentice-Hall, Inc, Ney Jersey
- Cheremisinoff, 1978, **Carbon Adsorption Hand Book**, Ann Orbon Science
- Culp, R.L., dan Culp, G.L., 1986, **Hand Book of Public Water System**, Mc Graw-Hill, New York
- Eckenfelder , W. Wesley, Jr., 1989, **Industrial Water Pollution Control 2nd Edition**, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore

- Kumar K. Vasanth, K Subanandam, V. Ramamurthi dan S. Sivanesan , 2004, **Solid Liquid Adsorption for Wastewater Treatment: Principle Design and Operation**, www.eco-web.html
- Metcalf and Eddy, 1991, **Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse 3rd Edition**, Mc Graw. Inc., New York, USA
- Rani Sahu, 2005, **Fly Ash Based Low Cost Method For COD Removal From Domestic Wastewater**, in www.GISdevelopment.net
- Reynold, T. D, 1982, **Unit Operations and Process in Environmental Engineering**. Brooks/Cole Engineering Division Monterey, California
- Ronald L, Droste, 1997, **Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment**, John Wiley and Sons, Inc, New York
- Santika Simestri Sri dan Alaerts, G,1984, **Metoda Penelitian Air**, Usaha Nasional, Surabaya, Indonesia
- Supranto, 1996, **Pemakaian Karbon Aktif Dalam Penyediaan Air Minum**, Jurnal Ilmiah STTL, Jogjakarta
- Willy J. Masschelein., 1992, **Unit Process in Drinking Water Treatment**, Marcel Dekker, Inc, New York

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

PERHITUNGAN ISOTERM FREUNDLICH

- Konsentrasi limbah COD = 81.3 mg/l
- Konsentrasi COD yang diinginkan = 26 mg/l

No	m (mg)	Volume (ml)	C (mg/l)	x(mg)	x/m (mg/mg)
1	0	200	81,3		
2	1000	200	62,4	3,78	0,00378
3	2000	200	50	6,26	0,00313
4	3000	200	38,9	8,48	0,00283
5	4000	200	25,8	11,1	0,00278

Keterangan :

m = berat karbon aktif (mg)

V = volume sampel (ml)

C = konsentrasi COD akhir (mg/l)

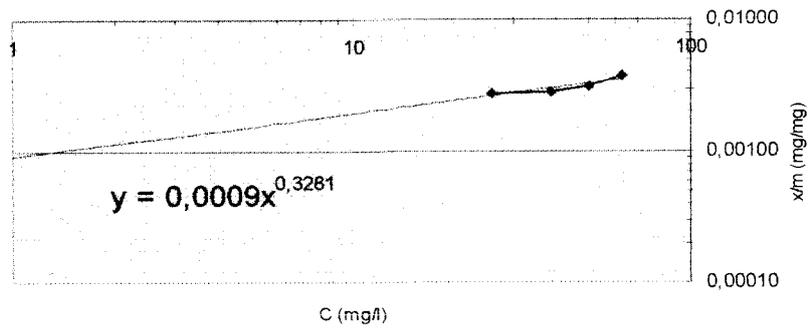
x = konsentrasi COD yang teradsorpsi (mg)

x/m = kapasitas adsorpsi per satuan carbon (mg/mg)

$$\begin{aligned}x &= (81,3 \text{ mg/l} - 62,4 \text{ mg/l}) \times \frac{200 \text{ ml}}{1000 \text{ ml/liter}} \\&= 18,9 \text{ mg/l} \times 0,2 \text{ l} = 3,78 \text{ mg} \\ \frac{x}{m} &= \frac{3,78 \text{ mg}}{1000 \text{ mg karbon}} = 0,00378 \text{ mg/mg}\end{aligned}$$

Persamaan Isotherm Freundlich adalah:

$$\log \frac{x}{m} = \log K + \frac{1}{n} \log C$$



Dari grafik Isoterm Freundlich di atas didapatkan nilai $K = 0,0009$ sedangkan $n = 3,04785$.

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN DEBIT YANG DIGUNAKAN PADA SISTEM KONTINYU

Perhitungan debit untuk proses kontinyu

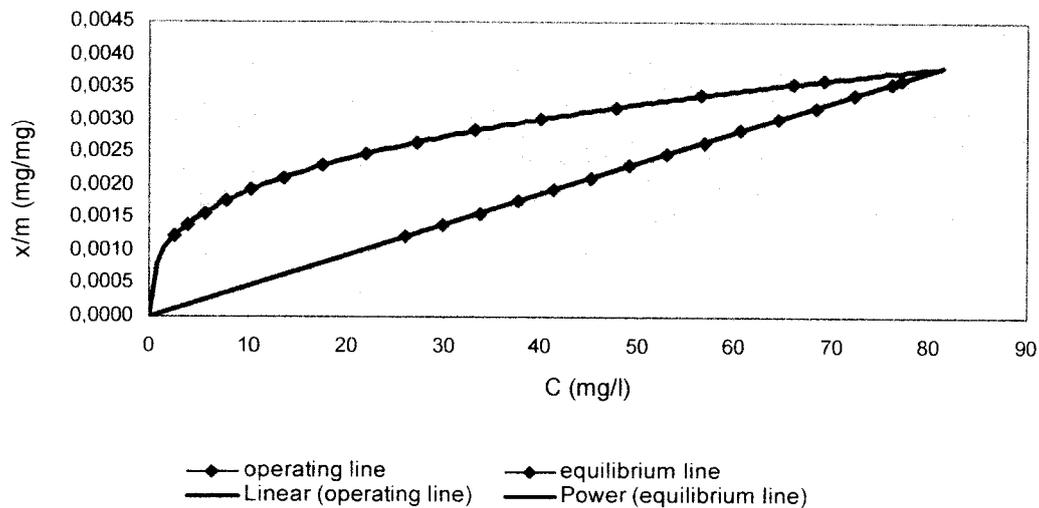
- Diameter dalam kolom = 10,3 cm
- Ketinggian karbon aktif dalam kolom = 40 cm
- Luas Penampang (A) = $\frac{1}{4}\pi(10,3)^2 \text{ cm}^2$
= 83,323 cm²
= 0,089655 ft²
- Waktu rencana (t) = 17,78 menit
- Debit (Q) = Kecepatan linier (v) x luas permukaan kolom bagian dalam (A)
- Kecepatan (v) = tinggi kolom / waktu rencana
= 40 cm / 17,78 menit
= 2,2497 cm/menit
= 0.073808 ft/menit
- Debit (Q) = 2,2497 cm/menit x 83,323 cm²
= 187,45 cm³/menit
= 0,0495 gpm

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN *RUN TIME*

- Dari hasil batch adsorpsi untuk meremoval COD dalam air limbah menggunakan karbon aktif diperoleh persamaan *Freundlich Isotherm* yang kemudian diplotkan sebagai garis equilibrium. Persamaan tersebut yaitu

$$\frac{x}{m} = 0,0009.C^{0,3281}$$



Gambar 1 Garis Equilibrium dan Operating

- Untuk garis operating diperoleh dengan mengikuti koordinat :

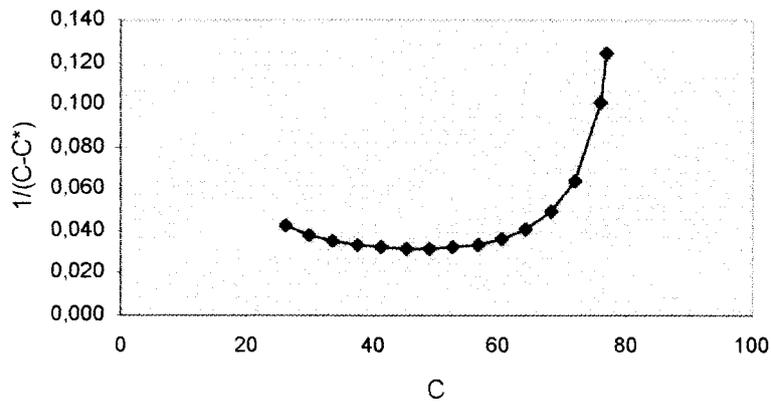
$$C_0 = 81,3 \text{ mg/l}$$

$$\left[\frac{x}{m} \right]_0 = 0,00381 \frac{\text{mg COD}}{\text{mg karbon}}$$

- Menentukan nilai $C-C^*$ dari gambar 1 dengan nilai x/m yang bervariasi dan kemudian hitung nilai $(C-C^*)^{-1}$. Hasil perhitungan dapat dilihat dari tabel 1.

Tabel 1

X/m	C	C*	C-C*	(C-C*) ⁻¹	$\int_{C_B}^{C_E} (C' - C'^*)^{-1} dC'$	$\frac{(V - V_B)}{(V_E - V_B)}$
0,001219	26	2,521	23,490	0,043	0	0
0,001399	30	3,836	26,015	0,038	0,155	0,07
0,001579	34	5,548	28,145	0,036	0,297	0,14
0,001759	38	7,709	29,824	0,034	0,430	0,20
0,001939	41	10,374	31,000	0,032	0,556	0,26
0,002119	45	13,598	31,617	0,032	0,678	0,32
0,002299	49	17,433	31,622	0,032	0,800	0,37
0,002479	53	21,936	30,960	0,032	0,923	0,43
0,002659	57	27,161	29,576	0,034	1,050	0,49
0,002839	61	33,162	27,416	0,036	1,184	0,55
0,003019	64	39,996	24,423	0,041	1,333	0,62
0,003199	68	47,717	20,543	0,049	1,503	0,70
0,003379	72	56,381	15,719	0,064	1,715	0,80
0,003559	76	66,043	9,898	0,101	2,015	0,94
0,00361	77	68,970	8,059	0,124	2,136	1,00



Gambar 2 Kurva evaluasi $\int_{C_B}^{C_E} \frac{dC}{C - C^*}$

- Plotkan nilai $(C-C^*)^{-1}$ vs C dan hitung luas area di bagian bawah kurva dengan cara integrasi.

$$\int_{C_B}^{C_F} \frac{dC}{C-C^*} = 2,136$$

- Kedalaman zona adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$Fw = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{0,049521 \text{ gpm}}{0,089655 \text{ ft}^2}$$

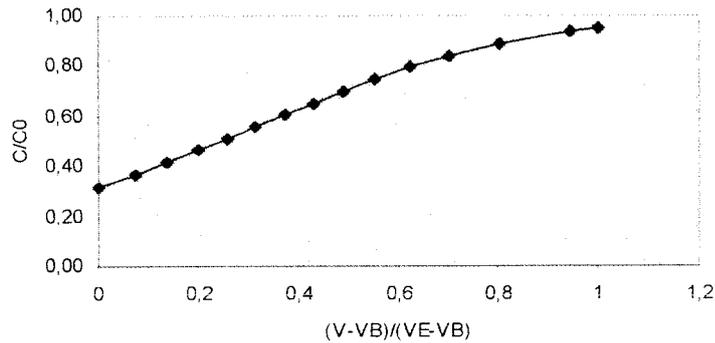
$$= 0,552 \text{ gpm/ft}^2$$

$$h_z = \frac{Fw}{Ka} \int_{C_B}^{C_F} \frac{dC}{(C-C^*)}$$

$$= \frac{(0,552 \text{ gpm/ft}^2 \times (8,34 \text{ lb/gal}))}{1100 \text{ lb/min-ft}^3} \times 2,136$$

$$= 0,0089395 \text{ ft}$$

- Menentukan kapasitas fraksional (F) dari zona adsorpsi pada saat *breakthrough*. Hal ini dapat ditentukan dengan integrasi grafikal dengan memplotkan nilai $(V-V_B)/(V_E-V_B)$ vs C/C_0



Gambar 3

- Hitung persen kejenuhan (*percent saturation*) pada saat *breakthrough*.

$$\begin{aligned} \% \text{ kejenuhan} &= \frac{1,31232 \text{ ft} + (0,3001 - 1)0,0089395}{1,31232 \text{ ft}} \times 100 \\ &= 99,52 \% \end{aligned}$$

- Hitung kapasitas kolom untuk meremoval COD.

a. Menghitung berat karbon dalam kolom

$$\begin{aligned} \text{berat karbon} &= 1,31232 \text{ ft} \times \frac{(0,338)^2 \pi}{4} \times 39,965 \text{ lb / ft}^3 \\ &= 4,7021 \text{ lb} \\ &= 2133,066 \text{ gram} \end{aligned}$$

b. Pada saat jenuh, nilai x/m (gambar 1) adalah 0,00381 (mg COD/mg).

Jumlah COD yang diserap pada saat jenuh, berdasarkan pada 99,52% kejenuhan adalah:

$$\begin{aligned} \text{karbon lb COD adsorbat} &= 4,7021 \text{ lb carbon} \times 0,00381 \text{ mg COD/mg} \\ &C \times 0,9952 \end{aligned}$$

LAMPIRAN

PERATURAN PEMERINTAH NOMOR 82 TAHUN 2001
TANGGAL 14 DESEMBER 2001

TENTANG

PENGELOLAAN KUALITAS AIR DAN PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR

Kriteria Mutu Air Berdasarkan Kelas

PARAMETER	SATUAN	KELAS				KETERANGAN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi Temperatur dari keadaan alamiah
Residu Terlarut	mg/L	1000	1000	1000	2000	
Residu Tersuspensi	mg/L	50	50	400	400	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, residu tersuspensi ≤ 5000 mg/L

KIMIA ANORGANIK						
ph		6-9	6-9	6-9	5-9	Apabila secara alamiah di luar rentang tersebut, maka ditentukan berdasarkan kondisi alamiah
BOD	mg/L	2	3	6	12	
COD	mg/L	10	25	50	100	
DO	mg/L	6	4	3	0	Angka batas minimum
Total Fosfat sbg P	mg/L	0.2	0.2	1	5	
NO 3 sebagai N	mg/L	10	10	20	20	

NH3-N	mg/L	0.5	(-)	(-)	(-)	Bagi perikanan, kandungan amonia bebas untuk ikan yang peka $\leq 0,02$ mg/L sebagai NH3
Arsen	mg/L	0.05	1	1	1	
Kobalt	mg/L	0.2	0.2	0.2	0.2	
Barium	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Boron	mg/L	1	1	1	1	
Selenium	mg/L	0.01	0.05	0.05	0.05	
Kadmium	mg/L	0.01	0.01	0.01	0.01	
Khrom (VI)	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.01	
Tembaga	mg/L	0.02	0.02	0.02	0.2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Cu ≤ 1 mg/L
Besi	mg/L	0.3	(-)	(-)	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Fe ≤ 5 mg/L
Timbal	mg/L	0.03	0.03	0.03	1	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Pb $\leq 0,1$ mg/L
Mangan	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Air Raksa	mg/L	0.001	0.002	0.002	0.005	
Seng	mg/L	0.05	0.05	0.05	2	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, Zn ≤ 5 mg/L
Klorida	mg/L	1	(-)	(-)	(-)	
Sianida	mg/L	0.02	0.02	0.02	(-)	
Fluorida	mg/L	0.5	1.5	1.5	(-)	

Nitrit sebagai N	mg/L	0.06	0.06	0.06	(-)	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, NO ₂ -N ≤ 1 mg/L
Sulfat	mg/L	400	(-)	(-)	(-)	
Khlorin bebas	mg/L	0.03	0.03	0.03	(-)	Bagi ABAM tidak dipersyaratkan
Belerang sebagai H ₂ S	mg/L	0.002	0.002	0.002	(-)	
MIKROBIOLOGI						
Fecal coliform	jml/100 ml	100	1000	2000	2000	Bagi pengolahan air minum secara konvensional, fecal coliform ≤ 2000 jml/100 ml dan total coliform ≤ 10000 jml/100ml
Total coliform	jml/100 ml	1000	5000	10000	10000	
RADIOAKTIVITAS						
Gross - A	bg/L	0,1	0,1	0,1	0,1	
Gross - B	bg/L	1	1	1	1	
KIMIA ORGANIK						
Minyak dan Lemak	ug/L	1000	1000	1000	(-)	
Detergen sebagai MBAS	ug/L	200	200	200	(-)	
Senyawa Fenol	ug/L	1	1	1	(-)	
Sebagai Fenol	ug/L					
BHC	ug/L	210	210	210	(-)	
Aldrin/Dieldrin	ug/L	17	(-)	(-)	(-)	
Chlordane	ug/L	3	(-)	(-)	(-)	
DDT	ug/L	2	2	2	2	
Heptachlor dan Heptachlor epoxide	ug/L	18	(-)	(-)	(-)	
	ug/L					
Lindane	ug/L	56	(-)	(-)	(-)	
Methoxyctor	ug/L	35	(-)	(-)	(-)	
Endrin	ug/L	1	4	4	(-)	
Toxaphan	ug/L	5	(-)	(-)	(-)	

Keterangan :

mg = miligram

ug = mikrogram

ml = militer

L = liter

Bq = Bequerel

MBAS = Methylene Blue Active Substance

ABAM = Air Baku untuk Air Minum

Logam berat merupakan logam terlarut

Nilai di atas merupakan batas maksimum, kecuali untuk pH dan DO.

Bagi pH merupakan nilai rentang yang tidak boleh kurang atau lebih dari nilai yang tercantum.

Nilai DO merupakan batas minimum.

Arti (-) di atas menyatakan bahwa untuk kelas termasuk, parameter tersebut tidak dipersyaratkan

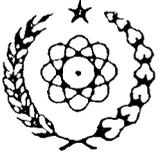
Tanda £ adalah lebih kecil atau sama dengan

Tanda < adalah lebih kecil

PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA

ttd.

MEGAWATI SOEKARNO PUTRI



LABORATORIUM KIMIA ANALITIK
PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MAJU-BATAN
Terakreditasi sebagai Laboratorium Penguji (LP-119-IDN)

Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, Yogyakarta, Indonesia Tel. (62) (0274) 515435, Fax (0274) 561824

Form-29/Sert/Uji

Nomor : 002/KA/II/04

Number

Halaman : 1 dari 3

Page

Sertifikat Pengujian

Test Certificate

Dibuat untuk
Certified for : Rudy.Syahputra, M.Si., FMIPA – UII Yogyakarta.

Jenis>Nama Contoh
Type/Name of sample : Larutan limbah cair Lab. Terpadu FMIPA-Kedokteran UII

Asal contoh
Origin of sample : Rudy Syahputra, M.Si., FMIPA -- UII Yogyakarta.

Jumlah Contoh
Amount of sample : 4 (empat)

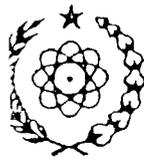
Kode Contoh
Sample Code : 293/C/KA

Parameter
Parameters : Pb, Na, Hg, K, Fe, Cu, Ca, Al, Ag, Amoniak, COD, BOD dan
O₂ terlarut

Tanggal Pengambilan Contoh
Sample taken on : 12 Januari 2004 (oleh UII)

Tanggal Penerimaan Contoh
Sample received on : 12 Januari 2004

Tanggal Pengujian Contoh
Sample tested on : 17 Januari 2004 dan 4 Februari 2004



LABORATORIUM KIMIA ANALITIK

PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TEKNOLOGI MAJU-BATAN

Terakreditasi sebagai Laboratorium Penguji (LP-119-IDN)

Jl. Babarsari Kotak Pos 1008, Yogyakarta, Indonesia Tel. (62) (0274) 515435, Fax (0274) 561824

Form-29/Sert/Uji

Nomor : 002/KA/II/04

Number

Halaman : 2 dari 3

Page

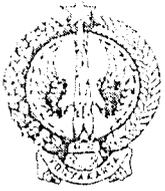
Hasil Pengujian Test Result

Nama Contoh	Kode	Label	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji	
r. limbah cair b. Terpadu 11PA Kedok- an UII	293/C/KA	A	Fe	µg/mL	0,140 ± 0,010	022/MU/F-AAS/00	
			Cu	µg/mL	0,021 ± 0,001	021/MU/F-AAS/00	
			Ca	µg/mL	64,500 ± 3,030	029/MU/F-AAS/00	
			Na	µg/mL	11,260 ± 0,240	F-AAS	
			K	µg/mL	22,540 ± 1,080	F-AAS	
			Pb	µg/mL	< 0,180	024/MU/F-AAS/00	
			Ag	µg/mL	< 0,045	F-AAS	
			Al	µg/mL	1,811 ± 0,020	AAN	
			Hg	ng/mL	15,680 ± 0,220	007/MU/CV-AAS/00	
			COD	mg/L	45,000 ± 1,124	Spektrometri	
			BOD	mg/L	3,900 ± 0,078	Titrimetri	
			Amoniak	mg/L	0,300 ± 0,006	Spektrometri Nesler	
			O ₂ terlarut	mg/L	14,400 ± 0,288	Titrimetri	
			B	Fe	µg/mL	0,190 ± 0,010	022/MU/F-AAS/00
				Cu	µg/mL	0,040 ± 0,001	021/MU/F-AAS/00
		Ca		µg/mL	76,880 ± 0,500	029/MU/F-AAS/00	
		Na		µg/mL	13,450 ± 0,260	F-AAS	
		K		µg/mL	27,700 ± 1,270	F-AAS	
		Pb		µg/mL	< 0,180	024/MU/F-AAS/00	
		Ag		µg/mL	< 0,045	F-AAS	
		Al		µg/mL	2,716 ± 0,031	AAN	
		Hg		ng/mL	15,230 ± 0,310	007/MU/CV-AAS/00	
		COD		mg/L	39,000 ± 1,170	Spektrometri	
		BOD		mg/L	12,000 ± 0,243	Titrimetri	
		Amoniak		mg/L	0,120 ± 0,002	Spektrometri Nesler	
		O ₂ terlarut		mg/L	17,200 ± 0,643	Titrimetri	
		C		Fe	µg/mL	0,190 ± 0,005	022/MU/F-AAS/00
				Cu	µg/mL	0,042 ± 0,001	021/MU/F-AAS/00
			Ca	µg/mL	85,130 ± 0,940	029/MU/F-AAS/00	
			Na	µg/mL	13,680 ± 0,060	F-AAS	
			K	µg/mL	28,600 ± 0,520	F-AAS	
			Pb	µg/mL	< 0,180	024/MU/F-AAS/00	
			Ag	µg/mL	< 0,045	F-AAS	
			Al	µg/mL	0,724 ± 0,008	AAN	
			Hg	ng/mL	27,170 ± 0,220	007/MU/CV-AAS/00	
			COD	mg/L	36,000 ± 1,080	Spektrometri	
BOD	mg/L		21,600 ± 0,648	Titrimetri			

$$\frac{COD}{BOD} = \frac{45}{3,9}$$

$$\frac{39}{12}$$

$$\frac{36}{21} = \frac{12}{7}$$



PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN (B P K L)

JL. Arteri Utara Maguwoharjo Depok Sleman Yogyakarta , Telp. (0274) 489622

HASIL ANALISA AIR .

Asal Contoh : Kampus UII Terpadu Tgl.terima : 25-9-2004.

Jl.Kaliurang, Yogyakarta,

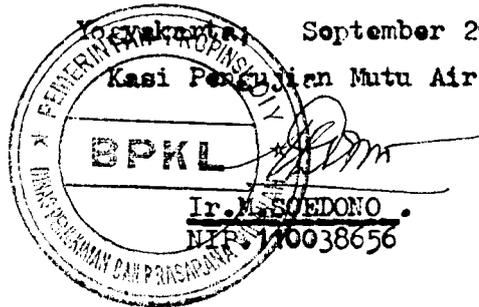
Pengirim : Titin Sukma

Mhs.T.Lingkungan UII Yogyakarta.

NO.	S a m p e l	Satuan	Konsentrasi
1.	pH 7 Awal	mg/L	85,8
	1 gram	"	56,1
	2 gram	"	46,0
	3 gram	"	39,9
	4 gram	"	34,0
2.	pH 8 Awal	mg/L	81,3
	1 gram	"	62,4
	2 gram	"	50,0
	3 gram	"	38,9
	4 gram	"	25,8
3.	pH 9 Awal	mg/L	61,2
	1 gram	"	45,2
	2 gram	"	36,1
	3 gram	"	29,8
	4 gram	"	26,9
4.	pH 10 Awal	mg/L	53,8
	1 gram	"	44,6
	2 gram	"	35,7
	3 gram	"	26,8
	4 gram	"	18,0

Yogyakarta, September 2004.

Kasi Pengujian Mutu Air.



KOMPULAN SRI

0 DANG POU (A)

KUALITAS

EDISI K

Dep. P. U

Dikembangkan

Insider POU

I. DESKRIPSI

1.1 Maksud dan Tujuan

1.1.1 Maksud

Metode pengujian ini dimaksudkan sebagai pegangan dalam pelaksanaan pengujian Kebutuhan Oksigen Kimiawi (KOK) dalam air.

1.1.2 Tujuan

Tujuan pengujian ini untuk memperoleh kadar KOK dalam air.

1.2 Ruang Lingkup

Lingkup pengujian meliputi:

- 1) cara pengujian KOK dalam air yang mempunyai kadar antara 5-50 mg/L KOK;
- 2) penggunaan metode refleks tertutup dan cara titrimetrik.

1.3 Pengertian

Beberapa pengertian yang berkaitan dengan metode pengujian ini:

- 1) Kebutuhan oksigen kimiawi adalah jumlah mg oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat organik dalam 1 L air dengan menggunakan oksidator kalium dikromat;
- 2) larutan baku adalah larutan yang mengandung kadar yang sudah diketahui secara pasti dan langsung digunakan sebagai pembanding dalam pengujian;
- 3) blanko adalah suatu medium yang tidak mengandung unsur yang diuji dan digunakan sebagai kadar standar terendah.

$V_2 = \text{mL}$ larutan baku ferro amonium sulfat;
 $N_1 = \text{kenormalan}$ larutan baku kalium dikromat;
 $N_2 = \text{kenormalan}$ larutan baku ferro amonium sulfat yang ditetapkan.

2.1 Cara Uji

II. CARA PELAKSANAAN

- 2.1 Peralatan dan Bahan Penunjang Uji
- 2.1.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

- 1) oven 220°C yang dilengkapi dengan pengatur suhu, dan telah dipanaskan pada 150°C pada saat digunakan;
- 2) tabung KOK yang mempunyai tinggi 150 mm dan garis tengah 25 mm, terbuat dari gelas boro-silikat, mempunyai tutup asah dan unit pengaman tutup;
- 3) buret otomatis dengan ketelitian $\pm 0,05 \text{ mL}$ atau buret 25 mL;
- 4) labu ukur 100 dan 1000 mL;
- 5) gelas ukur 100 mL;
- 6) pipet seukuran 10 mL;
- 7) labu erlenmeyer 100 mL;
- 8) gelas piala 100 mL.

2.1.2 Bahan Penunjang Uji

Bahan kimia yang berkualitas p.a dan bahan lain yang digunakan dalam pengujian ini terdiri atas:

- 1) larutan campuran kalium dikromat-merkuri sulfat, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-HgSO}_4$;
- 2) larutan campuran asam sulfat-perak sulfat, $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-Ag}_2\text{SO}_4$;
- 3) larutan indikator feroin;
- 4) serbuk ferro amonium sulfat, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- 5) larutan baku kalium dikromat, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7, 0,025\text{N}$;
- 6) asam sulfat pekat, H_2SO_4 ;
- 7) air suling atau air demineralisasi yang mempunyai DHL 0,5-2 $\mu\text{mhos/cm}$;
- 8) serbuk asam sulfamat, $\text{NH}_4\text{HSO}_3\text{H}$.

2.2 Persiapan Benda Uji

Siapkan benda uji dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) sediakan contoh uji yang telah diambil sesuai dengan Metode Pengambilan Contoh Uji Kualitas Air, SK SNI M-02-1989-F;

2.6 Laporan

- 2) kocok contoh uji dan ukur 100 mL secara duplo, masukkan ke dalam gelas piala 100 mL;
- 3) apabila contoh uji mengandung ion nitrit, lakukan langkah sebagai berikut:

- 4) tambahkan 10 mg asam sulfamat untuk setiap 1 mg NO_2^- ;
- 5) kocok campuran selama 1 menit;
- 6) pipet 10 mL dan masukkan ke dalam tabung KOK;
- 7) benda uji siap diuji.

2.3 Persiapan Pengujian

2.3.1 Pembuatan Larutan Baku Ferro Amonium Sulfat

Buat larutan baku ferro amonium sulfat kira-kira 0,025N dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) timbang 9,8 g $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$;
- 2) larutkan dengan 500 mL air suling di dalam labu ukur 1000 mL;
- 3) tambahkan 20 mL asam sulfat pekat;
- 4) tambahkan air suling sampai tepat pada tanda tera.

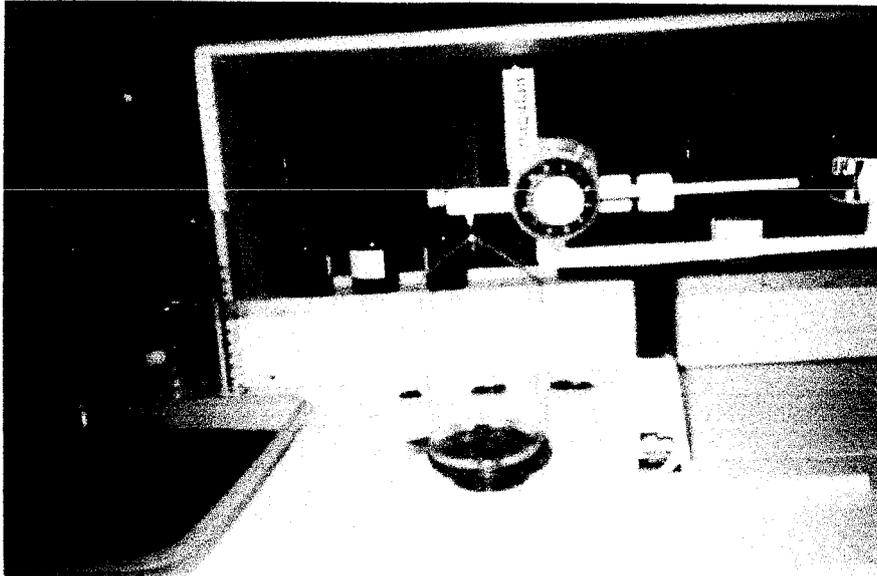
2.3.2 Penetapan Kenormalan Larutan Baku Ferro Amonium Sulfat

Terapkan kenormalan larutan baku ferro amonium sulfat dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) pipet 25 mL larutan baku kalium dikromat 0,025N dan masukkan ke dalam labu erlenmeyer 100 mL;
- 2) tambahkan 3 mL asam sulfat pekat;
- 3) tambahkan 3 tetes larutan indikator feroin;
- 4) titrasi dengan larutan ferro amonium sulfat yang akan ditetapkan kenormalannya;
- 5) catat mL pemakaian larutan baku ferro amonium sulfat;
- 6) apabila perbedaan pemakaian larutan baku ferro amonium sulfat secara duplo lebih dari 0,10 mL ulangi penetapan, apabila kurang atau sama dengan 0,10 mL rata-ratakan hasilnya untuk perhitungan kenormalan larutan baku ferro amonium sulfat;
- 7) hitung kenormalan larutan baku ferro amonium sulfat dengan menggunakan rumus:

$$V_1 \times N_1 = V_2 \times N_2$$

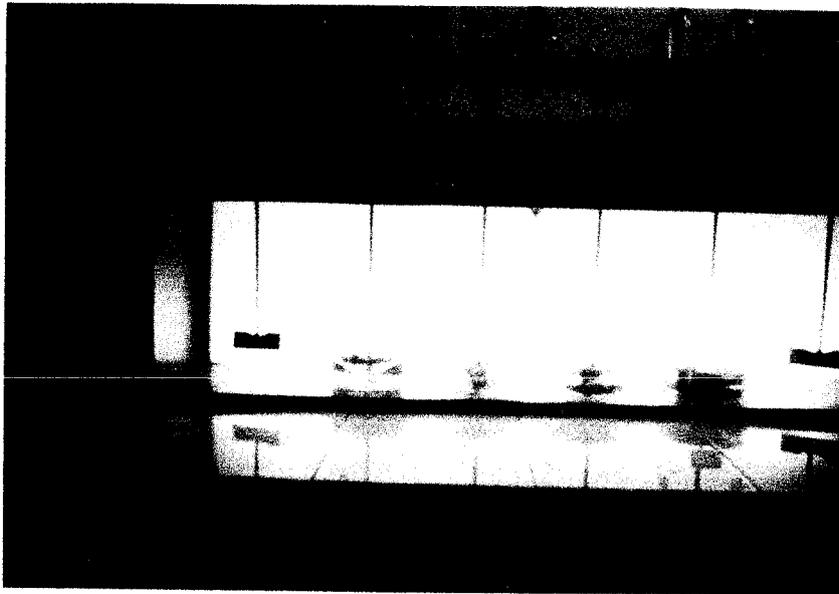
DOKUMENTASI



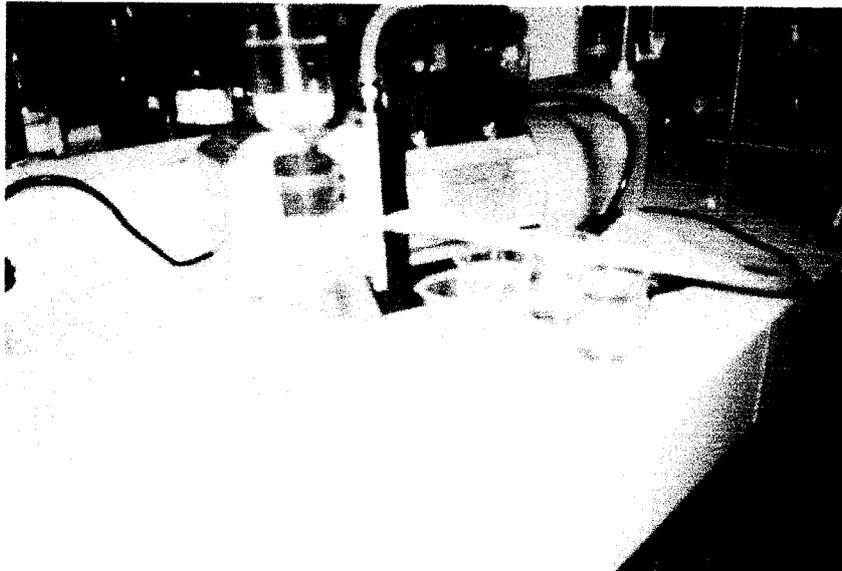
Gambar 1. Karbon Aktif dan Neraca Timbang



Gambar 2. Magnet Stierer dan pH Meter



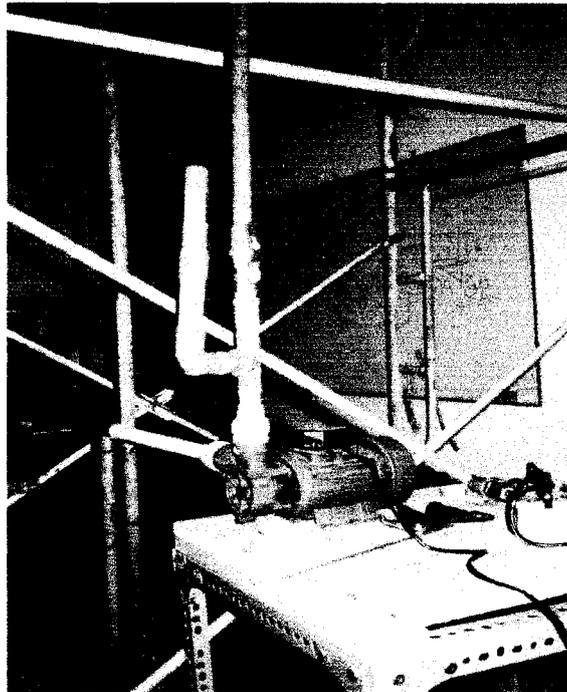
Gambar 3. Jar Test (Reaktor *Batch*)



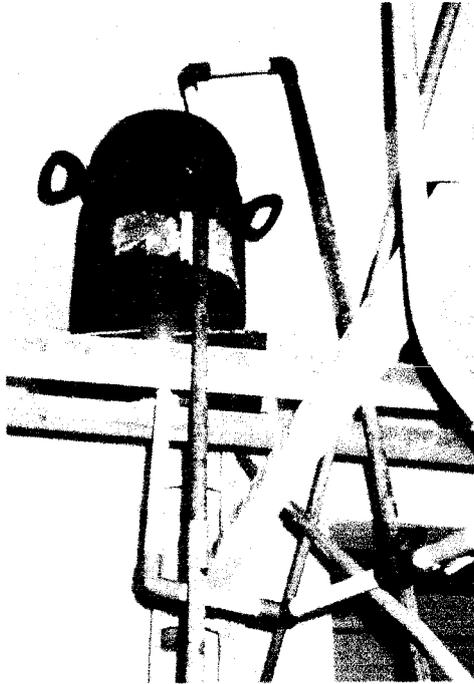
Gambar 4. *Vacuum Filter*



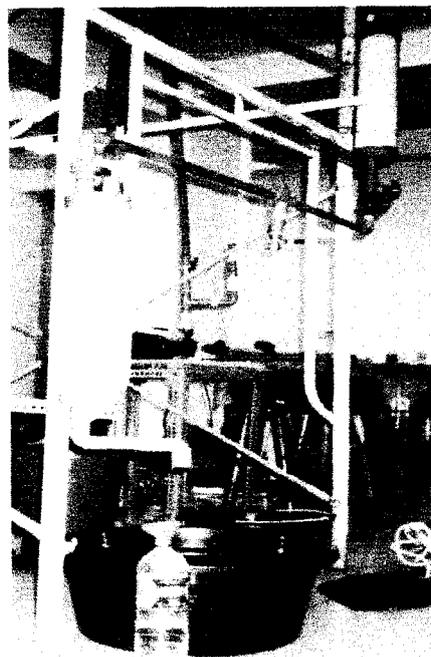
Gambar 5. Bak Penampung Air Limbah



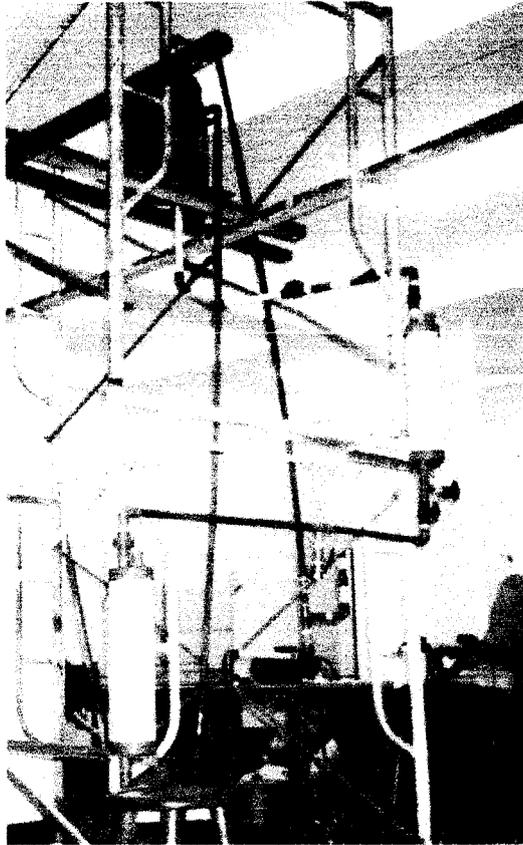
Gambar 6. Pompa



Gambar 7. Bak Penampung Air Limbah (Reservoir)



Gambar 8. Kolom 1 dan Kolom 2



Gambar 9. Reaktor Sistem Kontinyu



Gambar 10. Thermoreaktor

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

NO	NAMA	NO MHS	PRODI
1	Titin Sukma	00513010	Teknik Lingkungan
2			

JUDUL TUGAS AKHIR : Penurunan Kadar COD Dalam Limbah Cair Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia Menggunakan Filter Karbon Aktif dengan Variasi PN pada Kondisi Biasa

PERIODE : IV
TAHUN : 2004/2005

No	kegiatan	Bulan Ke ;					
		Juni	Juli	Agust	Sept	Okt	Nov
1	Pendaftaran	■					
2	Penentuan Dosen pembimbing	■					
3	Pembuatan Proposal		■				
4	Seminar proposal		■				
5	Konsultasi Penyusunan TA			■			
6	Sidang - sidang					■	■
7	Pendadaran						

DOSEN PEMBIMBIG I : Ir. Kasam, MT
DOSEN PEMBIMBIG II : Andik Yulianto, ST
DOSEN PEMBIMBIG III :

Yogyakarta, 13 Agustus 2004
Koordinator TA



(Handwritten signature)
(Andik Yulianto, ST)

Catatan

Seminar :
Sidang :
Pendadaran :

CATATAN KONSULTASI TUGAS AKHIR

No	Tanggal	Catatan Konsultasi	Tanda Tangan	
			Pemb I	Pemb II
	24/9 '04	Bab I & II		<i>[Signature]</i>
	13/10 '04	Model matematis Porositas		<i>[Signature]</i>
	25/10 '04	- Progres Report - Referensi ditabel - Penguasaan substansi dari uji/grafik	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
	29/12 '04	→ perbaikan blt tuning → lanjutkan	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
	31/12 '04	→ keteguhan C.A	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
	7/3 '05	- di lanjutkan ke bab berikutnya - di ajukan kembali tel 14-3-05 (paling lambat)	<i>[Signature]</i>	
	14-3-05	di perbaiki sesuai kamt korbis	<i>[Signature]</i>	
	16/3 '05	Pembahasan		<i>[Signature]</i>
	28/3 '05	- efisiensi diganti (LTA) di konentra inflex & effluen		<i>[Signature]</i>
	21/10			

