

TA/ TL/ 2005/ 0016

TUGAS AKHIR

PENURUNAN KADAR Hg (MERKURI) DALAM LIMBAH CAIR LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGGUNAKAN FILTER KARBON AKTIF ARANG TEMPURUNG KELAPA

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



Disusun Oleh :

Nama : Tifa Trikarini

No. Mhs. : 00513007

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

TUGAS AKHIR

PENURUNAN KADAR Hg (MERKURI) DALAM LIMBAH CAIR LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGUNAKAN FILTER KARBON AKTIF ARANG TEMPURUNG KELAPA

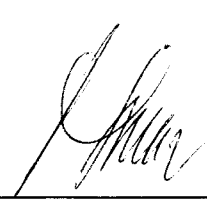
Nama : Tia Trihari


No. Mhs. : 0051307

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. H. Kasam, MT
Dosen Pembimbing I

Andik Yulianto, ST
Dosen Pembimbing II


Tanggal : 7 - 5 - 2005


Tanggal : 17/5/2005

ABSTRAKSI

Laboratorium sebagai sarana penunjang kegiatan akademik menghasilkan limbah cair yang berbahaya bagi lingkungan apabila tidak diolah terlebih dahulu. Merkuri merupakan salah satu zat kimia yang terkandung di dalam limbah tersebut yang bersifat toksik dan keberadaannya di lingkungan dapat menyebabkan pencemaran dan rusaknya lingkungan. Untuk mengantisipasi meningkatnya pencemaran yang disebabkan oleh logam Hg di lingkungan diperlukan suatu alternatif pengolahan untuk menurunkan kadar Hg dalam air limbah sampai batas aman untuk sampai ke lingkungan.

Penelitian ini mencoba menerapkan teknologi sederhana yaitu memanfaatkan arang aktif tempurung kelapa sebagai media untuk menurunkan kandungan Hg pada air limbah laboratorium. Pengamatan dilakukan di laboratorium UII menggunakan sistem *batch* dengan variasi pH : 7, 8, 9 dan 10, konsentrasi awal Hg 0,05 mg/l dan 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 dilanjutkan menggunakan reaktor sistem kontinyu disusun secara seri dengan dua titik pengambilan sampel pada tiap kolom. Sistem ini digunakan limbah dengan konsentrasi awal 0,0389 mg/l pada pH 8 dan variasi waktu pengambilan yaitu 2, 4, 6 dan 8 jam.

Hasil pengamatan menunjukkan karbon aktif tempurung kelapa dapat menurunkan kandungan Hg dalam limbah. Efisiensi removal tertinggi terjadi pada pH 8 dengan dosis karbon aktif 4 gram yaitu sebesar 90,4 %. Model sorpsi dengan pendekatan persamaan isotherm Freundlich diperoleh model persamaan $x/m = 458807.C^{4,9026}$. Pada sistem kontinyu di kolom 1, efisiensi removal terbesar terjadi pada jam ke 8 yaitu sebesar 79,69 %. Sedangkan pada kolom 2, efisiensi removal terbesar terjadi pada jam ke 2 yaitu sebesar 82,20 %. Waktu *breakthrough* dan *exhaust point* belum tercapai. Model sistem *batch* atau sistem kontinyu dapat diaplikasikan sebagai alternatif pengolahan limbah laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia.

Kata kunci : Karbon aktif tempurung kelapa, Hg, Sistem *batch*, Sistem kontinyu, Isotherm Freundlich

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk:

- ✓ Ayahanda tercinta dan Ibunda tercinta atas kasih sayang yang senantiasa mengalir bersama do'anya.*
- ✓ Kakakku tercinta atas segala perhatian, dorongan dan doanya.*

MOTTO

- ✓ *Minta tolonglah kamu (kepada Tuhan) dengan kesabaran dan mengerjakan sembayang dan sesungguhnya sembayang itu amat berat, kecuali bagi orang-orang yang tunduk (kepada Allah)..*

(Q.S. Al Baqarah :45)

- ✓ *"Ya Allah ! Tak ada kemudahan melainkan apa-apa yang engkau mudahkan, Engkau menjadikan kesusahan dengan mudahi Engkau kehendaki, Do'a menyelesaikan segala urusan".*

(H.R. Ibnu Hibban)

- ✓ *Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan....*

(Q.S. Asy Syarh :5)

- ✓ *Pemenang mengalami satu atau dua, bahkan beratus-ratus dan ribuan kali merasakan kegagalan, sebab itu seorang pemenang berhasil karena tidak berkecil hati dengan hambatan-hambatan tersebut. Next time will be better..*

(B.C.. Forbes, 1900)

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Alhamdulillah, puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir ini sebagaimana mestinya. Shalawat serta salam juga penulis haturkan ke haribaan Nabi Muhammad SAW beserta anak keturunan dan pengikut-pengikutnya sampai akhir zaman.

Penelitian dalam rangka penyusunan Tugas Akhir yang berjudul **“PENURUNAN KADAR Hg (MERKURI) DALAM LIMBAH CAIR LABORATORIUM TERPADU UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGGUNAKAN FILTER KARBON AKTIF ARANG TEMPURUNG KELAPA”** 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. Bapak, ibu dan kakakku tercinta yang tiada habisnya memberikan do'a, dorongan, kesabaran dan kasih sayang tanpa batas.
5. Ibu Ros (BPKL) dan Ibu Ade (BLK), yang telah memberikan pengarahan dan petunjuk dalam analisa kadar merkuri dalam air limbah.
6. Bapak Syamsudin dan Bapak Tasyono selaku pengurus Laboratorium Kualitas Lingkungan Universitas Islam Indonesia yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini.

7. Titin Sukma selaku partner TA, terimakasih atas kerjasamanya yang baik, masukan, dorongan dan semangat sehingga penelitian dan laporan ini dapat terselesaikan.
8. Endah, Tini, Rina, Sari, Santi, Harry, Fachri, Aulia, Anton, Luwis, Jumi, Rini, Aini dan teman-teman seperjuangan lainnya TL '00 UII yang telah banyak membantu sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
9. Keluarga besar Pink House (Reni, Helma, Mei, Ani, Mba' Mirna, Mba' Eva, Sinta, Tiwi, Dinar, Wulan) yang telah banyak memberikan dorongan dan semangat sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
10. Yuyun, K'Ary, K'Dian, K'Yan, Lina, Jj, Pipit, Butet dan masih banyak lagi saudara-saudara seperjuangan, terimakasih atas persahabatan yang telah terbina sejak SMA.
11. Semua pihak yang telah membantu untuk terselesaikannya skripsi ini, terima kasih yang sebesar-besarnya.

Semoga segala bantuan, bimbingan dan pengajaran yang telah diberikan mendapatkan imbalan dari Allah S.W.T. Semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat berguna bagi kita semua. Amin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Jogjakarta, April 2005

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PENGESAHAN | ii |
| ABSTRAKSI | iii |
| MOTTO | iv |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | v |
| KATA PENGANTAR | vi |
| DAFTAR ISI | ix |
| DAFTAR TABEL | xiii |
| DAFTAR GAMBAR | xiv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xv |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian | 4 |
| 1.5 Batasan Masalah..... | 4 |

| | | |
|---------|---|----|
| BAB II | TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 | Merkuri | 5 |
| 2.1.1 | Sifat-sifat Merkuri | 5 |
| 2.1.2 | Pencemaran Merkuri (Hg) di Lingkungan | 8 |
| 2.1.3 | Metabolisme Merkuri Dalam Rantai Makanan | 9 |
| 2.1.4 | Dampak Pencemaran Merkuri Bagi Kesehatan Masyarakat ... | 10 |
| 2.2 | Karbon Aktif (Arang Aktif) | 12 |
| 2.2.1 | Syarat Mutu Arang Aktif | 14 |
| 2.2.2 | Proses Pembuatan | 15 |
| 2.2.3 | Karakteristik Karbon Aktif | 16 |
| 2.3 | Adsorpsi | 21 |
| 2.3.1 | Mekanisme Adsorpsi | 21 |
| 2.3.2 | Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Adsorpsi | 22 |
| 2.4 | Isoterm Adsorpsi | 26 |
| 2.5 | Regenerasi Karbon | 28 |
| 2.6 | Hipotesa | 29 |
| BAB III | METODE PENELITIAN | 30 |
| 3.1 | Lokasi Penelitian | 30 |
| 3.2 | Objek Penelitian | 30 |
| 3.3 | Waktu Penelitian | 30 |

| | |
|---|--------|
| 3.4 Kerangka Penelitian | 31 |
| 3.5 Parameter dan Variabel Penelitian | 31 |
| 3.5.1 Parameter Penelitian | 31 |
| 3.5.2 Variabel Penelitian | 32 |
| 3.6 Metode Pelaksanaan Penelitian | 32 |
| 3.6.1 Prosedur Pelaksanaan Penelitian | 32 |
| 3.6.1.1 Proses <i>Batch</i> | 32 |
| 3.6.1.2 Proses Kontinyu | 33 |
| 3.6.2 Pemeriksaan Hasil Penelitian | 36 |
| 3.7 Analisa Data | 36 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... | 38 |
| 4.1 Proses <i>Batch</i> | 38 |
| 4.1.1 Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan pH Sebelum Proses Adsorpsi | 38 |
| 4.1.2 Hasil Pengujian Pengaruh pH dan Berat Karbon Aktif Terhadap Efisiensi Penyerapan Kadar Merkuri | 38 |
| 4.2 Proses Kontinyu | 42 |
| 4.2.1 Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan pH Sebelum Proses Adsorpsi | 42 |
| 4.2.2 Hasil Pengujian Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel | |

| | | |
|----------------|---|----|
| | Terhadap Efisiensi Penyerapan Kadar Merkuri | 43 |
| 4.3 | Analisa Hasil Proses <i>Batch</i> dan Kontinyu Untuk Aplikasi | |
| | Pengolahan Limbah Laboratorium Terpadu UII | 48 |
| BAB V | KESIMPULAN DAN SARAN..... | 51 |
| | 5.1 Kesimpulan | 51 |
| | 5.2 Saran | 52 |
| DAFTAR PUSTAKA | | |
| LAMPIRAN | | |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabel 2.1 | Manfaat Arang Aktif Untuk Zat Cair..... | 13 |
| Tabel 2.2 | Hasil Pengolahan Merkuri Dengan Karbon Aktif..... | 14 |
| Tabel 2.3 | Syarat Mutu Arang Aktif | 15 |
| Tabel 2.4 | Karakteristik Dari Beberapa Karbon Aktif Granular Komersil | 17 |
| Tabel 3.1 | Parameter Penelitian | 32 |
| Tabel 4.1 | Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan Pengukuran pH Sebelum Proses Adsorpsi | 38 |
| Tabel 4.2 | Hasil Pengujian pH terhadap Efisiensi Penurunan Limbah Cair Merkuri | 39 |
| Tabel 4.3 | Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan Pengukuran pH Sebelum Proses Adsorpsi | 43 |
| Tabel 4.4 | Hasil Pengujian Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Konsentrasi dan Efisiensi Penurunan Limbah Cair Merkuri | 44 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1 Konsep Adsorpsi Pada Permukaan Pori Karbon Aktif | 19 |
| Gambar 2.2 Konsep Penyaringan Molekul Pada Pori-pori Karbon Aktif | 24 |
| Gambar 2.3 Grafik Endapan Hidroksida Logam | 25 |
| Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian | 31 |
| Gambar 3.2 Reaktor Sistem Kontinyu | 35 |
| Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara pH dengan Konsentrasi Merkuri | 40 |
| Gambar 4.2 Grafik Hubungan Antara pH Dengan Efisiensi Penurunan Merkuri | 40 |
| Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel Dengan Konsentrasi Merkuri Pada Titik Sampling 1 | 44 |
| Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel Dengan Efisiensi Merkuri Pada Titik Sampling 1 | 45 |
| Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel Dengan Konsentrasi Merkuri Pada Titik Sampling 2 | 45 |
| Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel Dengan Efisiensi Merkuri Pada Titik Sampling 2 | 46 |

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran :

1. Perhitungan Isotherm Freundlich
2. Perhitungan Debit Aliran Yang Digunakan Pada Sistem Kontinyu
3. Perhitungan *Run Time*
4. Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 Tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air
5. Hasil Analisa Air dari Laboratorium Kimia Analitik Pusat Pelatihan dan Pengembangan Teknologi Maju – BATAN
6. Hasil Analisa Air dari Balai Pengujian Konstruksi dan Lingkungan (BPKL), Dinas Pemukiman dan Prasarana Wilayah DIY
7. Hasil Analisa Air dari Balai Laboratorium Kesehatan, Dinas Kesehatan DIY
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 pusat penelitian dan pengembangan teknologi maju-BATAN, konsentrasi untuk parameter Hg $27,170 \pm 0,336$ ng/ml konsentrasi tersebut melebihi persyaratan ambang batas menurut Peraturan Pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air untuk parameter Hg kelas II sebesar 0,002 mg/l.

Merkuri merupakan unsur yang dalam keadaan normal tidak terdapat dalam tubuh manusia, tetapi mempunyai sifat mudah terakumulasi dalam jaringan tubuh. Merkuri ini dapat diserap oleh tubuh melalui pencernaan makanan, paru-paru atau kulit. Akibat yang timbul dari adanya merkuri yang berlebihan menyebabkan menurunnya kondisi sistem syaraf, berkurangnya daya pendengaran, serta menurunnya kepandaian.

Salah satu alternatif penanganan limbah yang mengandung merkuri dalam lingkungan air adalah dengan mengadsorb limbah ke dalam suatu media. Hal ini dilakukan dengan memasukkan adsorben (karbon aktif) dalam air, sehingga limbah yang terdapat dalam air akan diserap ke permukaan maupun ke dalam pori karbon aktif. Penerapan penggunaan karbon aktif khususnya pada unit pengolahan air dapat

dikategorikan dalam dua kategori yaitu *tertiary treatment* dan *physical-chemical treatment* (Benefield, 1982).

Penelitian ini menggunakan karbon aktif karena merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai media adsorpsi-filtrasi dalam menurunkan konsentrasi untuk parameter logam berat yang terkandung dalam limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan.

1.2. Rumusan Masalah

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

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

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui seberapa besar tingkat efisiensi arang aktif tempurung kelapa sebagai adsorben dalam menurunkan limbah cair laboratorium yang mengandung Hg (merkuri).

2. Mengetahui seberapa lama waktu operasi reaktor sampai karbon aktifnya jenuh.

1.4. Manfaat Penelitian

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

1. Memberikan alternatif pengolahan limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia.
2. Memberikan sumbangan pemikiran kepada yang berkepentingan mengenai salah satu alternatif penurunan logam berat Hg (merkuri) dengan cara adsorpsi sehingga mencegah terjadinya pencemaran lingkungan.

1.5. Batasan Masalah

Berdasarkan perumusan masalah yang telah disebutkan di atas dan mengingat jangkauan yang sangat luas dan kompleks, maka dalam pelaksanaan penelitian ini digunakan batasan masalah sebagai berikut :

1. Air limbah yang diambil adalah air dari laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia.
2. Penelitian dilakukan dengan proses adsorpsi secara kontinyu dan *batch*.
3. Parameter sistem *batch* adalah konsentrasi Hg dan variasi dosis karbon aktif (1000 mg, 2000 mg, 3000 mg dan 4000 mg) dan pH air (7, 8, 9 dan 10) dengan menggunakan limbah cair merkuri 200 ml.

4. Parameter sistem kontinyu adalah konsentrasi Hg dengan variasi waktu pengambilan sampel.
5. Karbon aktif yang digunakan berbentuk *granular* berupa arang tempurung kelapa yang telah siap pakai (Karbosorb[®], PT. Aimotoindo Nuansa Kimia, Bandung).
6. Tidak memperhatikan faktor interaksi dengan parameter lain.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Merkuri

2.1.1 Sifat-sifat Merkuri

Merkuri merupakan elemen alami yang sering mencemari lingkungan. Kebanyakan merkuri yang terdapat di alam terdapat dalam bentuk senyawa dengan elemen lain yang jarang dijumpai dalam bentuk elemen terpisah. Komponen merkuri banyak tersebar di karang-karang, tanah, udara, air dan organisme hidup lain melalui proses fisika, kimia dan biologi yang kompleks.

Sifat-sifat kimia dan fisik membuat logam tersebut banyak digunakan untuk keperluan kimia dan industri. Beberapa sifat tersebut diantaranya adalah :

1. Merkuri merupakan satu-satunya logam yang berbentuk cair pada suhu kamar (25°C) dan mempunyai titik beku terendah di banding logam lain, yaitu -39°C.
2. Kisaran suhu di mana merkuri terdapat dalam bentuk cair sangat lebar, yaitu 396°C, dan pada kisaran suhu ini merkuri mengembang secara merata.
3. Merkuri mempunyai volatilitas yang tertinggi dari semua logam.

4. Ketahanan listrik merkuri sangat rendah sehingga merupakan konduktor yang terbaik dari semua logam.
5. Banyak logam yang dapat larut di dalam merkuri membentuk komponen yang disebut dengan amalgam.
6. Merkuri dan komponen-komponennya bersifat racun terhadap semua makhluk hidup.

Merkuri (Hg) merupakan salah satu jenis logam berat berbahaya dan beracun yang sangat membahayakan bagi kehidupan baik itu manusia maupun makhluk hidup lainnya, karena efek negatif yang ditimbulkan sebagai akibat terkontaminasi merkuri bisa menyebabkan kematian.

Adapun bentuk merkuri yang sangat berbahaya jika masuk ke tubuh manusia yaitu : (Achmad, 1992)

1. Logam merkuri

Uap merkuri sangat berbahaya karena sangat beracun. Meskipun tekanan uap merkuri kecil dengan cepat uap merkuri meninggalkan permukaan merkuri yang terbuka. Uap merkuri yang terhirup segera masuk ke dalam darah. Jika sampai ke otak, akan merusak jaringan otak.

2. Senyawa merkuri anorganik

Hanya senyawa merkuri yang terlarut yang menyebabkan keracunan. Merkuri anorganik cenderung berakumulasi di hati dan ginjal. Dalam jumlah yang sedikit mungkin tidak berbahaya karena dapat keluar bersama urine, namun dalam jumlah yang banyak akan sangat berbahaya.

3. Senyawa merkuri organik

Ada dua macam senyawa kimia organik yaitu dialkil seperti dimetil merkuri, $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$, dan monoalkil seperti $(\text{CH}_3)\text{HgX}$, dengan X adalah halogen dan gugus nitrat. Senyawa ini dapat menumpuk di jaringan otak sehingga merusak otak.

2.1.2 Pencemaran Merkuri (Hg) di Lingkungan

Logam merkuri atau air raksa mempunyai nama kimia *hydragyrum*. Pada sistem periodik unsur-unsur kimia menempati (NA) 80 dan mempunyai bobot atom (BA 200,59) (Palar, 1994).

Di samping itu merkuri merupakan logam berat yang berbahaya dan sering mencemari lingkungan. Diantara semua unsur logam, merkuri (Hg) menduduki urutan pertama dalam hal sifat racunnya dibandingkan dengan logam berat lainnya kemudian diikuti oleh logam berat lain seperti timbal (Pb), arsenik (As), kadmium (Cd), kromium (Cr) dan nikel (Ni) (Kristianto, 2002).

Pemakaian merkuri (Hg) telah berkembang sangat luas, karena merkuri (Hg) digunakan dalam bermacam-macam perindustrian dan untuk keperluan-keperluan lainnya. Demikian luasnya pemakaian merkuri juga tidak dilakukan pengolahan tentu saja akan terjadi perusakan lingkungan dan tingkat keracunan yang ditimbulkan oleh merkuri baik secara akut maupun kronis menjadi lebih besar. Di areal pertanian/pertambangan sebagian merkuri akan larut dalam air, sebagian lagi akan meresap ke dalam tanah dan juga ada yang terbawa oleh aliran permukaan (*run off*) sehingga masuk ke dalam aliran perairan seperti sungai-sungai dan lain-lain.

Sebagian lagi merkuri tersebut juga akan masuk ke dalam sistem metabolisme tanaman, kemudian terakumulasi pada jaringan tanaman itu sendiri.

Air buangan dari suatu laboratorium disinyalir ternyata juga mengandung merkuri. Keadaan ini dimungkinkan karena terdapatnya senyawa merkuri dalam reagen yang banyak dipakai di laboratorium-laboratorium (Palar, 1994).

Dalam kasus keracunan di Teluk Minamata Jepang, merkuri sulfat yang digunakan sebagai katalis dalam industri vinil klorida dibuang ke laut di Teluk Minamata. Komponen merkuri tersebut di dasar laut diubah oleh mikroorganisme anaerobik menjadi CH_3Hg^+ dan $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$. Komponen merkuri yang terakhir ini bersifat volatil dan dilepaskan dari lumpur atau pasir pada dasar laut ke air sekitarnya. $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ merupakan komponen yang stabil di dalam larutan alkali, tetapi pada kondisi asam akan berubah menjadi CH_3Hg^+ . Ion tersebut bersifat larut di dalam air dan menggumpal di dalam organisme hidup (Kristianto, 2002).

Di udara merkuri (Hg) hampir semuanya diproduksi dengan cara pembakaran merkuri sulfida (HgS) di udara, melalui reaksi berikut :



2.1.3 Metabolisme Merkuri dalam Rantai Makanan

Masuknya senyawa merkuri ke dalam tubuh organisme hidup terutama melalui makanan, karena hampir 90% dari bahan beracun ataupun logam berat merkuri masuk ke dalam tubuh melalui bahan makanan dan sisanya akan masuk secara difusi atau perembesan lewat jaringan melalui pernapasan (Palar, 1994).

Melalui jalur makanan, logam masuk melalui dua cara yaitu lewat air (minuman) dan tanaman (makanan). Jumlah merkuri yang masuk lewat minuman dapat menjadi sangat tinggi, jumlah tersebut dapat berlipat dibandingkan dengan jumlah merkuri yang masuk melalui tanaman. Hal ini dapat terjadi disebabkan logam merkuri dalam air telah mengalami perlipatgandaan dari jumlah awal yang masuk karena senyawa ion metil merkuri yang ada dalam badan perairan dimakan oleh biota perairan seiring dengan sistem rantai makanan di air. Pertama kali ion merkuri dimakan oleh mikroorganisme plankton. Plankton dimakan oleh ikan-ikan kecil, udang dan biota lainnya. Selanjutnya ikan-ikan kecil dimakan oleh ikan-ikan besar, begitu seterusnya sampai pada tingkat puncak dari rantai makanan yang ada dalam tatanan perairan. Pada pengembangan sistem rantai makanan, komponen-komponen penyusun rantai makanan merupakan paduan dari biota perairan dan organisme hidup daratan lainnya, akibatnya ikan-ikan kecil dan besar akan dimakan oleh burung-burung air. Puncak dari rantai makanan ini adalah manusia yang akan mengkonsumsi baik ikan maupun burung-burung air yang telah mengakumulasi atau terkontaminasi oleh senyawa merkuri (Palar, 1994).

2.1.4 Dampak Pencemaran Merkuri Bagi Kesehatan Manusia

Mekanisme keracunan merkuri di dalam tubuh belum diketahui dengan jelas, tetapi beberapa hal mengenai daya racun merkuri dalam jumlah yang cukup dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Semua komponen merkuri dalam jumlah yang cukup adalah racun bagi tubuh.

2. Masing-masing komponen merkuri mempunyai perbedaan karakteristik dalam daya racunnya, distribusi, akumulasi atau pengumpulan dan waktu resistensinya di dalam tubuh.
3. Transformasi biologi dapat terjadi di dalam lingkungan atau di dalam tubuh dimana komponen merkuri diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain.
4. Pengaruh merkuri di dalam tubuh diduga karena dapat menghambat kemampuan kerja enzim dan mengakibatkan kerusakan sel yang disebabkan kemampuan merkuri untuk terikat dengan grup yang mengandung sulfur di dalam molekul yang terdapat di dalam enzim dan dinding sel. Keadaan ini mengakibatkan penghambatan aktifitas enzim dan reaksi kimia yang dikatalisasi oleh enzim tersebut.
5. Kerusakan tubuh yang disebabkan oleh merkuri biasanya bersifat permanen dan sampai saat ini belum dapat disembuhkan.

Merkuri anorganik mempunyai tendensi untuk terakumulasi di dalam jaringan hati dan ginjal. Hal ini dapat mengakibatkan kerusakan pada jaringan tersebut, akan tetapi pembuangan ke luar tubuh juga lebih cepat melalui sistem urine (Kristianto, 2002).

Dalam penyebaran senyawa merkuri organik dalam organ tubuh, biasanya berbeda-beda tergantung pada jenis organnya namun demikian secara umum membutuhkan waktu sampai empat hari untuk mencapai keseimbangan. Metil merkuri pada umumnya terakumulasi pada sistem jaringan syaraf pusat. Akumulasi paling tinggi ditemukan pada bagian *cortex* dan *cerebellum*, yaitu merupakan bagian-

bagian otak. Lebih lanjut hanya sekitar 10% dari merkuri tersebut yang ditemukan dalam sel otak.

Pada wanita hamil yang terpapar oleh senyawa alkali merkuri dapat menyalurkan senyawa tersebut pada janin yang dikandungnya. Senyawa alkali merkuri tersebut masuk bersama makanan melalui plasenta karena dibawa oleh peredaran darah ke janin, sehingga pada saat lahir bayi menjadi cacat.

Dari penelitian yang pernah dilakukan dapat diketahui bahwa konsentrasi merkuri yang mencapai $20\mu\text{g/l}$ yang terdapat dalam daerah wanita hamil selama satu bulan telah dapat mengakibatkan kerusakan pada otak janin yang dikandungnya.

Sementara itu pada wanita-wanita menyusui yang terpapar oleh senyawa metil merkuri dapat mengakibatkan susu yang dikeluarkannya terkontaminasi oleh metil merkuri. Keadaan ini menjadi salah satu jalur dari proses keracunan merkuri pada bayi-bayi yang disusui (Palar, 1994).

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 L, 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 2.1).

Tabel 2.1 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. Pembersih 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>

Berdasarkan studi yang telah dilakukan oleh Guarino (1988) menunjukkan bahwa karbon aktif bentuk *granular* dapat menurunkan kadar merkuri dalam limbah

petrokimia yang konsentrasi awalnya 1,5 dan 1,7 $\mu\text{g/l}$ berhasil dikurangi menjadi 0,8 dan 0,9 $\mu\text{g/l}$. Ini dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut

Tabel 2.2 Hasil pengolahan merkuri dengan karbon aktif

| Activated Carbon Type | Mercury Concentration ($\mu\text{g/l}$) | | Percent Removal | Additional Treatment | Other Conditions | Reference |
|-----------------------|---|-------|-----------------|--|------------------|-----------------------------|
| | Initial | Final | | | | |
| PAC | 10,000 | 4,000 | 60 | None | SW, BS | Humenick et al., 1974 |
| PAC | 10,000 | 0.2 | >99.99 | 5 μm filtration, PAC presoaked in CS_2 and dried | SW, BS | Humenick et al., 1974 |
| PAC | 2,000 | NA | -100 | Centrifugation or 0.45 μm filtration | SW, BS | Huang and Blankenship, 1984 |
| PAC | 10 | NA | -80 | 0.45 μm filtration | SW, BS | Thiem et al., 1976 |
| PAC | 1.0 | 0.5 | 50 | Settling | PW, BS | Guarino et al., 1988 |
| GAC | 0-100 | <1.0 | >41 | None | SF, FS | E.C. Jordan Co., 1989 |
| GAC | 1.7 | 0.9 | 47 | Filtration | PW, BS | Guarino et al., 1988 |
| | 1.5 | 0.8 | 47 | | | |

- PAC = Powdered activated carbon
- GAC = Granular activated carbon
- BS = Bench scale
- SW = Synthetic wastewater
- PW = Petrochemical wastewater
- SF = Superfund wastewater
- FS = Full scale
- NA = Not available

Sumber : E. P. A, 1997

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.warintek.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.

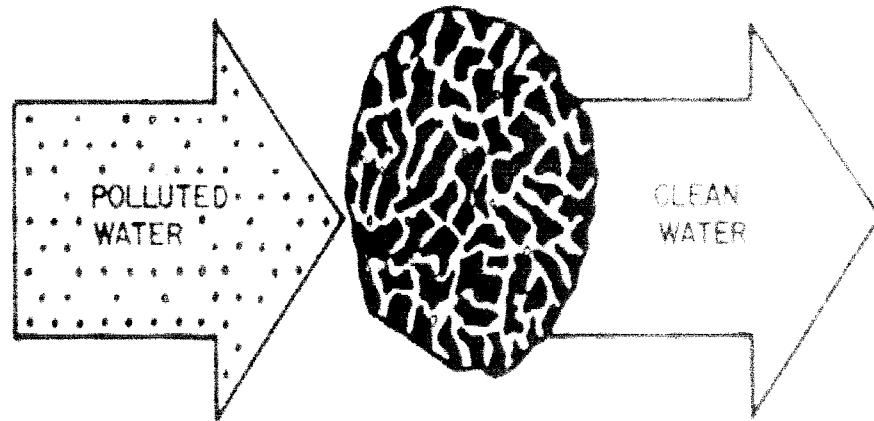
Struktur pori adalah faktor utama dalam proses adsorpsi. Distribusi ukuran pori menentukan distribusi molekul yang masuk dalam partikel karbon untuk di adsorp. Molekul yang berukuran besar dapat menutup jalan masuk ke dalam *micropore* sehingga membuat area permukaan yang tersedia untuk mengadsorp menjadi 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 *mikropore* dan *makropore*. 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 penyerapannya. 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 (*process 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

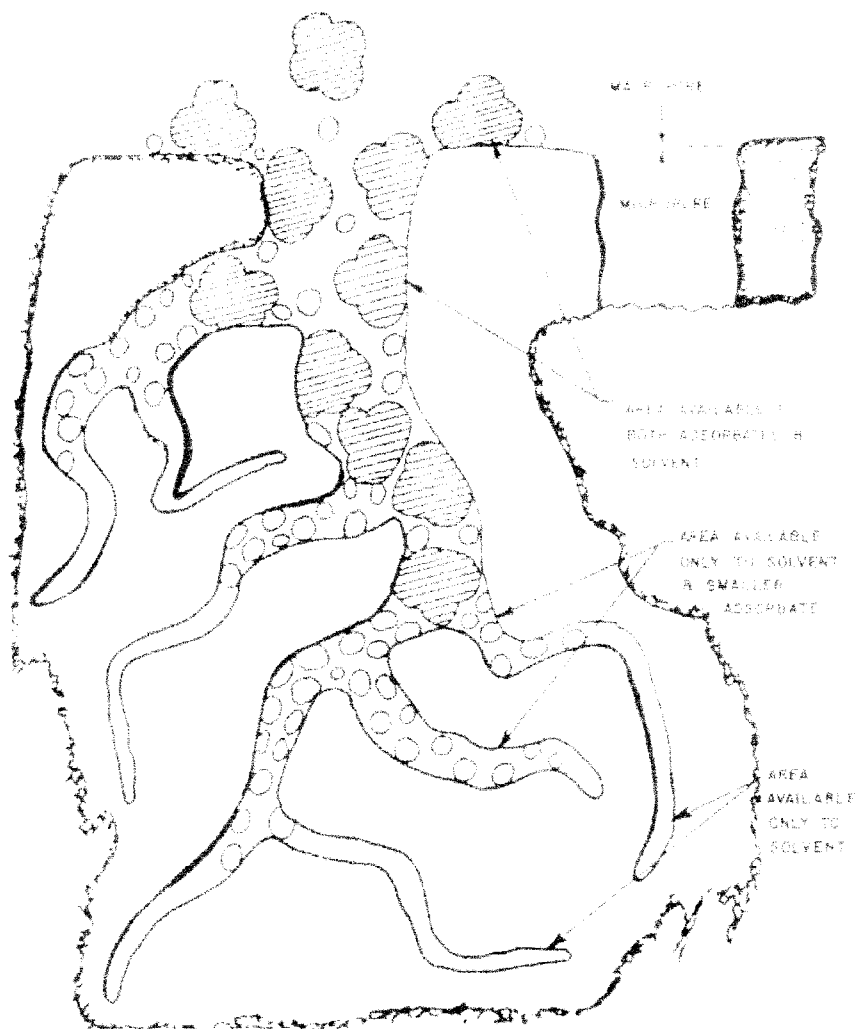
Ukuran partikel dan luas permukaan merupakan karakteristik terpenting dari karbon aktif sebagai adsorban. Ukuran partikel karbon mempengaruhi tingkat adsorpsi yang terjadi ; tingkat adsorpsi meningkat seiring mengecilnya ukuran partikel. Tingkat adsorpsi untuk karbon aktif *powder* lebih cepat dari pada *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 *mikropore* dari partikel karbon untuk diadsorpsi. Tingkat adsorpsi biasanya meningkat seiring dengan semakin besarnya ukuran molekul dari adsorbat.

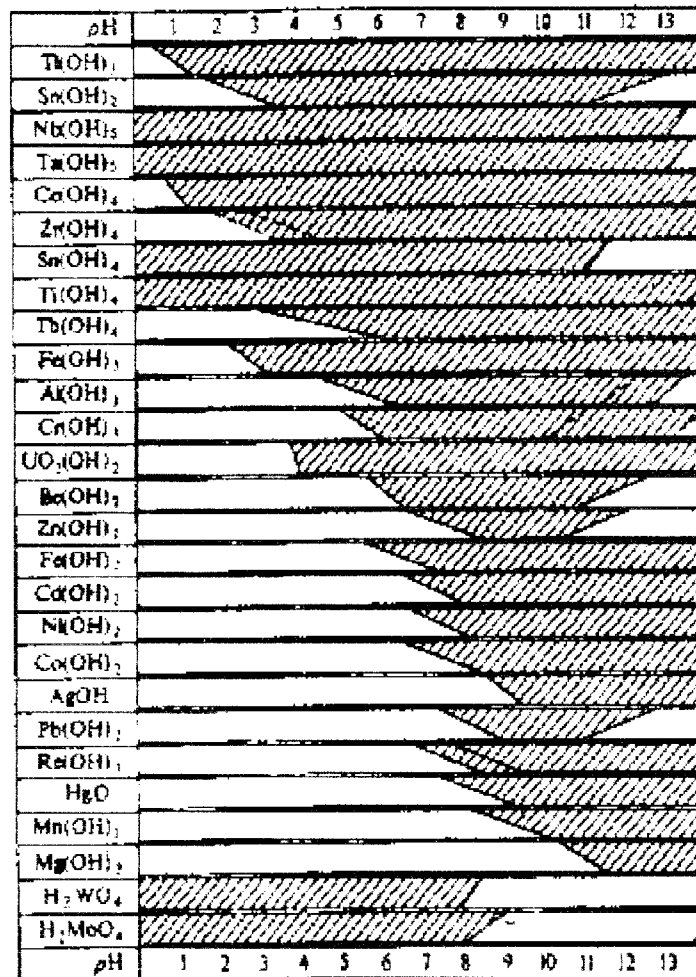
Kebanyakan limbah terdiri dari bahan-bahan campuran sehingga ukuran molekulnya berbeda-beda. Pada situasi ini akan memperburuk penyaringan molekul karena molekul yang lebih besar akan menutup pori sehingga mencegah jalan masuknya molekul yang lebih kecil. Posisi dari variasi ukuran molekul selama terjadinya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



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. pH optimum untuk proses adsorpsi harus didapat dari tes laboratorium.



Gambar 2.3 Grafik Endapan Hidroksida Logam
(Vogel, 1979)

Pada gambar 2.3, daerah yang diberi bayang-bayang dalam setiap grafik menunjukkan daerah pH dalam mana endapan terbentuk; daerah yang dibiarkan putih sesuai dengan kondisi pada mana ion-ion ada dalam fase terlarut. Ujung atas garis-garis miring, yang ditarik sebagai garis-garis batas, sesuai dengan larutan yang

mengandung 10^{-2} mol l^{-1} ion logam, ini adalah nilai pH pada mana pengendapan mulai (Vogel, 1979)

Efisiensi penurunan Hg akan bertambah dari 70-100% seiring dengan meningkatnya pH dari 2-10 (www.ingentaconnect.com)

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 Hg dalam air limbah, sehingga kadar Hg 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 limbah Hg. Efisiensi penurunan Hg akan bertambah seiring dengan meningkatnya 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. Sedangkan sampel limbah diperiksa di Balai Pengujian Konstruksi dan Lingkungan (BPKL), Dinas Pemukiman dan Prasarana Wilayah DIY dan Balai Laboratorium Kesehatan, Dinas Kesehatan DIY.

3.2 Objek Penelitian

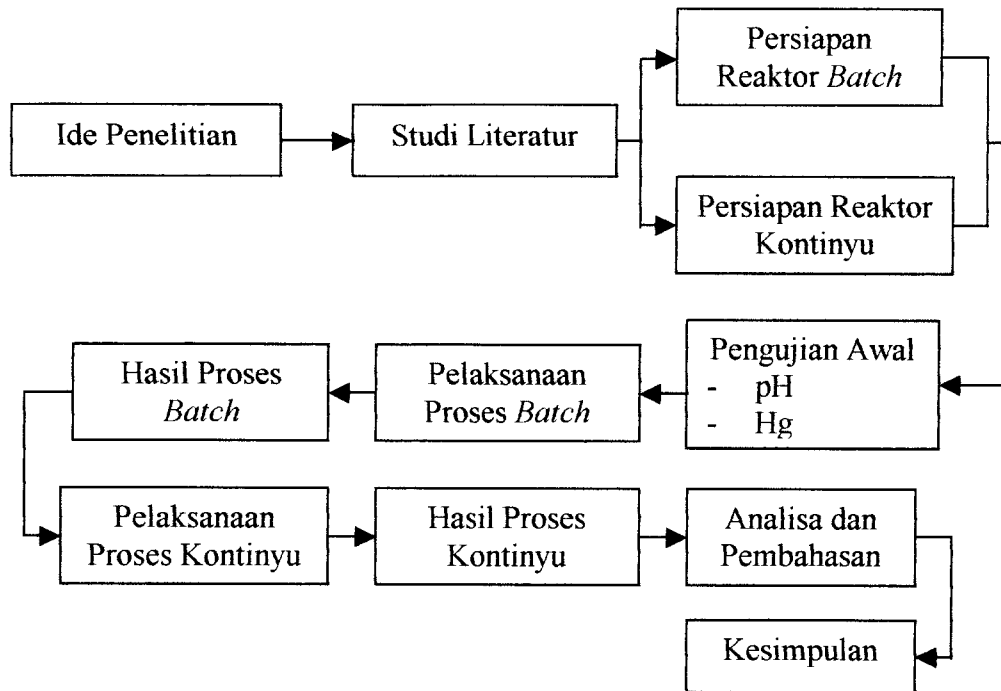
Objek penelitian adalah limbah cair yang berasal dari laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia.

3.3 Waktu Penelitian

Pada proses *batch*, penelitian dilakukan pada tanggal 14 September 2004 dan sampel diperiksa pada tanggal 16 September 2004. Untuk proses kontinu, penelitian dilakukan pada tanggal 13 Januari 2005 dan sampel diperiksa tanggal 19-25 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. | Hg | mg/l | 0,002 | Cold Vapour- Atomic Absorption Spectrophotometry (SNI 06-2462-1991) |
| 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 Hg (merkuri) 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.

Dari proses ini dihasilkan nilai perbandingan besar Hg 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 Hg nya.
- Siapkan 4 buah gelas beker ukuran 1 liter masing-masing diisi 200 ml contoh 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.

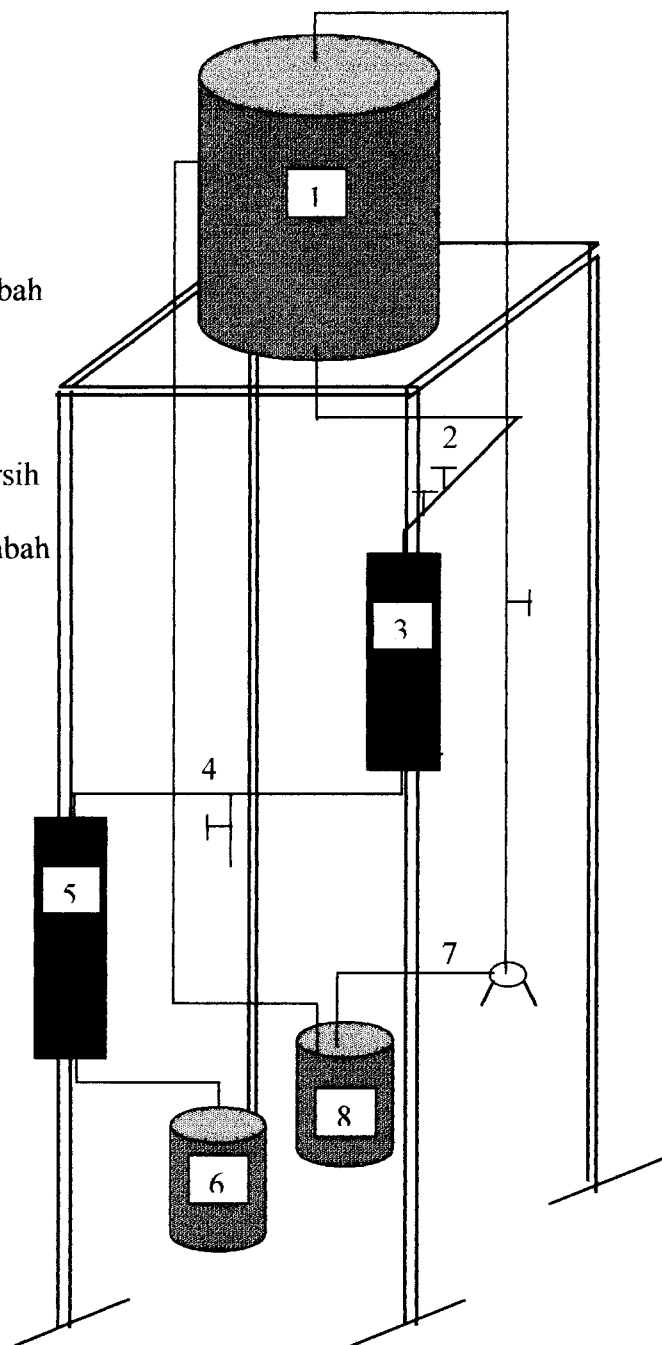
3.6.1.2 Proses Kontinyu

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.

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

3.6.2 Pemeriksaan Hasil Penelitian

Seperti yang dijelaskan pada bagan pelaksanaan penelitian, sampel-sampel yang telah selesai mengalami proses (baik *batch* maupun kontinyu) akan dianalisa menggunakan metode *Cold Vapour - Atomic Absorption Spectrophotometry* (SNI 06-2462-1991).

3.7 Analisa Data

Analisa data untuk penentuan kualitas air dengan membandingkan antara konsentrasi Hg pada limbah awal dengan konsentarsi Hg 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 (Wesly, 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 *theoretical breakthrough* dan menentukan karakteristik operasi yang akan digunakan untuk mendesain sebuah kolom adsorpsi (Benefield, 1982).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses *Batch*

4.1.1 Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan pH Sebelum Proses Adsorpsi

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

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan pH Sebelum Proses Adsorpsi

| No. | Parameter | Satuan | Hasil Analisis |
|-----|-----------|--------|----------------|
| 1. | Merkuri | ppm | 0,05 |
| 2. | pH | | 8 |

4.1.2 Hasil Pengujian Pengaruh pH dan Berat karbon Aktif Terhadap Efisiensi Penyerapan Kadar Merkuri

Percobaan pada metode ini dilakukan pada kondisi:

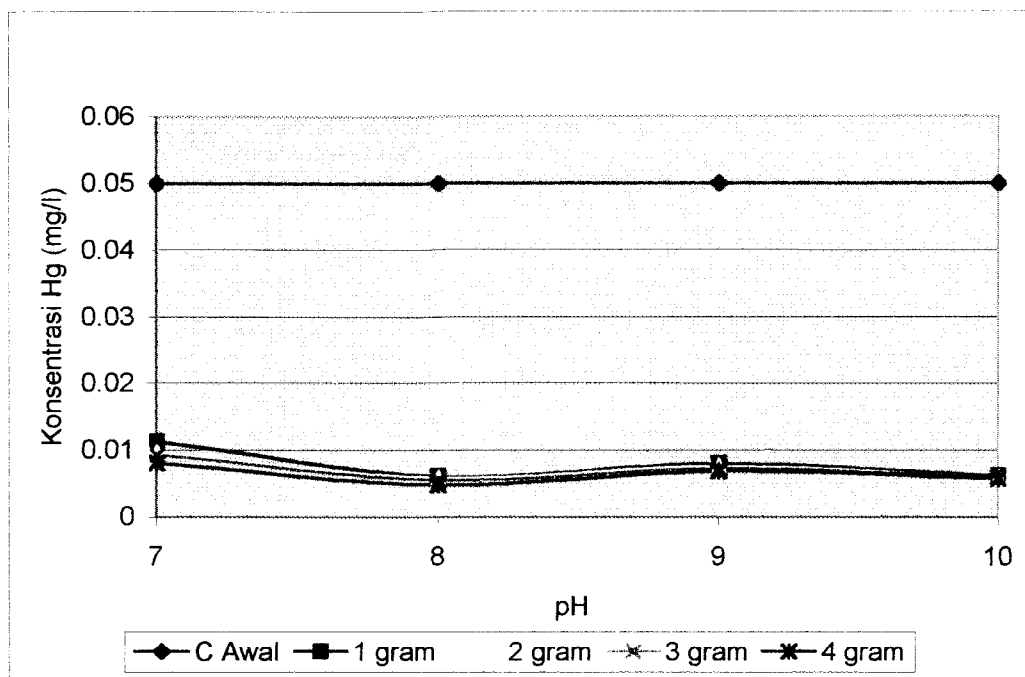
- Konsentrasi merkuri awal = 0,05 mg/l
- Volume limbah cair = 200 ml
- Berat adsorbant (karbon aktif) = 1000 mg, 2000 mg, 3000 mg dan 4000 mg.
- Kecepatan pengadukan = 150 RPM
- Waktu pengadukan = 2 jam

Untuk mengetahui pengaruh pH dan berat karbon aktif terhadap efisiensi penurunan kadar merkuri dalam limbah cair pada proses *batch* dapat dilihat pada tabel 4.2, gambar 4.1 dan 4.2 berikut ini

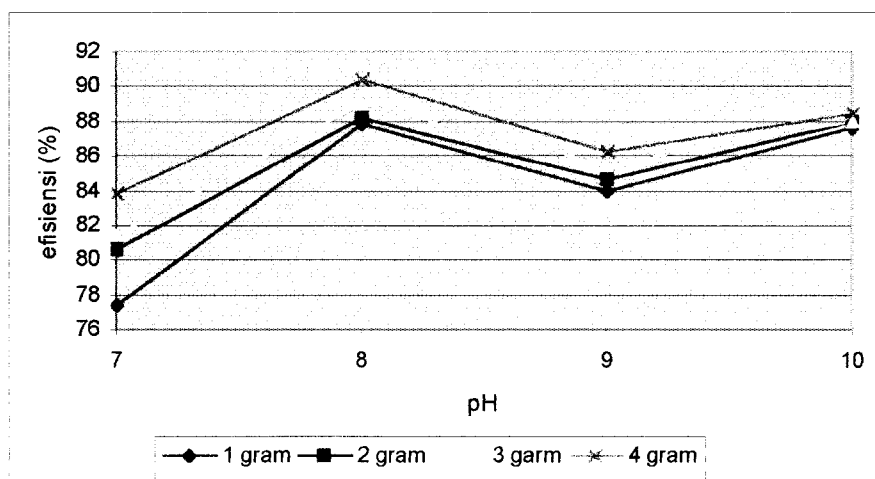
Tabel 4.2 Hasil Pengujian dan Berat Karbon Aktif Terhadap Efisiensi Penurunan

Limbah Cair Merkuri

| No. | pH | Dosis Karbon Aktif (mg) | Konsentrasi Merkuri (mg/l) | Efisiensi Penurunan (%) |
|-----|----|-------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 1. | 7 | 0 | 0,05 | |
| | | 1000 | 0,0113 | 77,4 |
| | | 2000 | 0,0097 | 80,6 |
| | | 3000 | 0,0093 | 81,4 |
| | | 4000 | 0,0081 | 83,8 |
| 2. | 8 | 0 | 0,05 | |
| | | 1000 | 0,0061 | 87,8 |
| | | 2000 | 0,0059 | 88,2 |
| | | 3000 | 0,0055 | 89 |
| | | 4000 | 0,0048 | 90,4 |
| 3. | 9 | 0 | 0,05 | |
| | | 1000 | 0,0080 | 84 |
| | | 2000 | 0,0077 | 84,6 |
| | | 3000 | 0,0073 | 85,4 |
| | | 4000 | 0,0069 | 86,2 |
| 4. | 10 | 0 | 0,05 | |
| | | 1000 | 0,0062 | 87,6 |
| | | 2000 | 0,0060 | 88 |
| | | 3000 | 0,0060 | 88 |
| | | 4000 | 0,0058 | 88,4 |



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara pH dengan Konsentrasi Merkuri



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara pH dengan Efisiensi Penurunan Konsentrasi Merkuri

Dari hasil pengamatan menunjukkan bahwa karbon aktif mampu menurunkan kandungan logam merkuri (Hg) dalam sampel air limbah. Untuk meminimalkan konsentrasi merkuri tersebut parameter yang sangat berpengaruh pada proses adsorpsi yaitu banyaknya dosis karbon aktif yang dibubuhkan dan pH dari limbah tersebut. Pada percobaan ini variasi dosis karbon aktif yang dibubuhkan yaitu 1000 mg, 2000 mg, 3000 mg dan 4000 mg. Sedangkan untuk variasi pH nya yaitu 7, 8, 9 dan 10.

Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa semakin banyak dosis karbon aktif yang dibubuhkan dalam air limbah yaitu dari 1000-4000 mg, konsentrasi merkuri semakin kecil. Hal ini dikarenakan luas permukaan dari karbon aktif semakin besar sehingga kapasitas dari karbon aktif untuk mengadsorp semakin banyak.

Pada gambar 4.2 dapat dilihat hubungan antara pH dengan persentase removal kandungan merkuri dalam air limbah. Pada pH 7, konsentrasi awal limbah sebesar 0,05 mg/l dapat diremoval menjadi 0,0081 mg/l dengan penambahan karbon aktif sebanyak 4000 mg, sehingga efisiensi penurunan kandungan merkuri dalam air limbah dapat diremoval hingga 83,8 %. Sedangkan pada pH 8, 9 dan 10 dengan penambahan karbon aktif sebanyak 4000 mg merkuri dapat diremoval sebesar 90,4 %; 86,2 % dan 88,4 %. Karena efisiensi penurunan merkuri tertinggi pada pH 8, maka pada pelaksanaan sistem kontinyu dioperasikan menggunakan limbah dengan kondisi pH 8 (merupakan pH awal sampel).

Semakin meningkatnya pH dari 7-10, efisiensi removal untuk menurunkan kandungan merkuri dalam air limbah semakin baik. Menurut Wehman, kapasitas penyerapan merkuri akan meningkat ketika pH menurun dari 9-2

(Cheremisinoff,1978). Hal ini dikarenakan sebelum proses adsorpsi, terjadi presipitasi dimana akan terbentuk endapan pada $\text{pH} \geq 7$ (seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.3.2). Endapan HgO terbentuk dari reaksi (Vogel, 1979) :



Pada gambar 4.2 terjadi lonjakan efisiensi pada pH 8 yaitu sebesar 90,4 %. Hal ini dikarenakan terjadinya presipitasi seperti dijelaskan di atas.

Dari hasil pengamatan yang diperoleh dapat dicari model sorpsinya. Model sorpsi logam Hg 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 didapat harga $k = 458807$ dan $n = 0,20397$ sehingga model persamaan kandungan logam Hg menggunakan karbon aktif adalah

$$\frac{x}{m} = 458807.C^{4.9026}$$

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

4.2 Proses Kontinyu

4.2.1 Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan Pengukuran pH Sebelum Proses Adsorpsi

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

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan pH Sebelum Proses Adsorpsi

| No. | Parameter | Satuan | Hasil Analisis |
|-----|-----------|--------|----------------|
| 1. | Merkuri | Mg/l | 0,0389 |
| 2. | pH | | 8 |

4.2.2 Hasil Pengujian Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel terhadap Efisiensi

Penyerapan Kadar Merkuri

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 seri dan limbah dialirkan secara gravitasi. Adapun kondisi pengoperasian adalah :

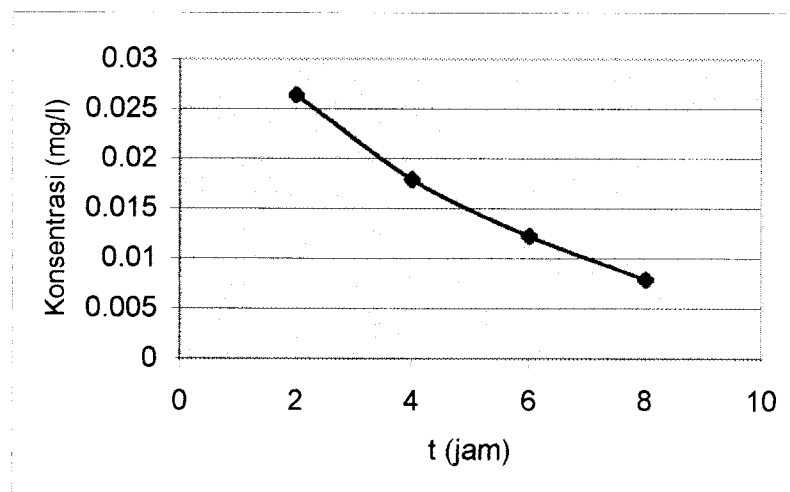
- Konsentrasi Hg awal = 0,0389 mg/l
- pH = 8
- Tinggi media adsorben = 40 cm
- Debit = 0,187368 l/m
- Jumlah kolom = 2 buah

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 30074,82 hari. Tetapi dalam pelaksanaan percobaan, reaktor dioperasikan selama 8 jam. Dan sampel diambil setiap 2 jam pada setiap titik sampling.

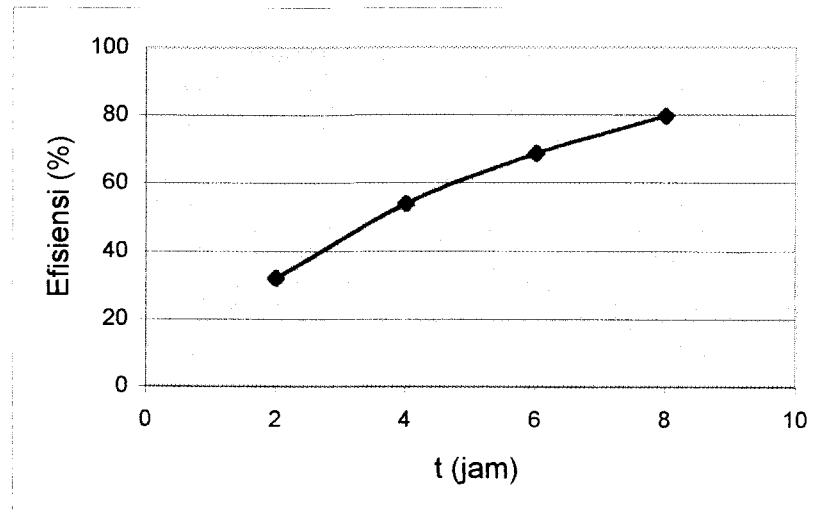
Untuk mengetahui pengaruh waktu pengambilan sampel terhadap konsentrasi dan efisiensi penurunan kadar merkuri dalam limbah cair pada proses kontinyu dapat dilihat pada tabel 4.4, gambar 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.6 berikut ini

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel Terhadap Konsentrasi dan Efisiensi Penurunan Limbah Cair Merkuri

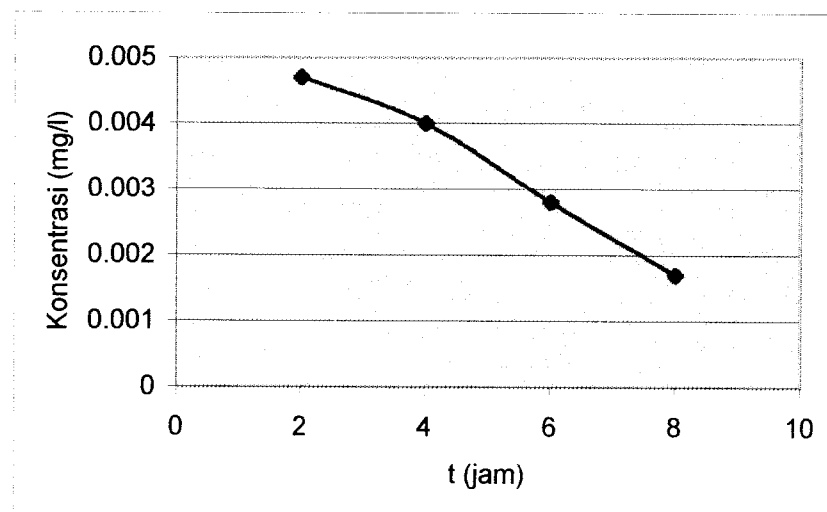
| No. | Titik Pengambilan Sampling | Waktu Kumulatif (jam) | Konsentrasi Awal (mg/l) | Konsentrasi Akhir (mg/l) | Efisiensi Penurunan (%) |
|-----|----------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| 1. | 1 | 2 | 0,0389 | 0,0264 | 32,13 |
| | | 4 | 0,0389 | 0,0179 | 53,98 |
| | | 6 | 0,0389 | 0,0122 | 68,64 |
| | | 8 | 0,0389 | 0,0079 | 79,69 |
| 2. | 2 | 2 | 0,0264 | 0,0047 | 82,20 |
| | | 4 | 0,0179 | 0,004 | 77,65 |
| | | 6 | 0,0122 | 0,0028 | 77,05 |
| | | 8 | 0,0079 | 0,0017 | 78,48 |



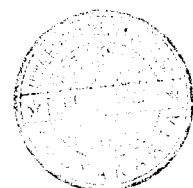
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel dengan Konsentrasi Merkuri Pada Titik Sampling 1

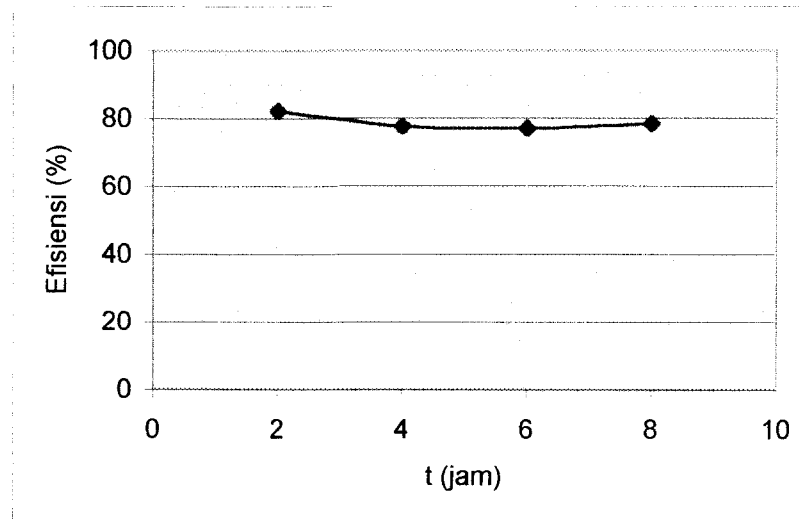


Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel dengan Efisiensi Merkuri Pada Titik Sampling 1



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel dengan Konsentrasi Merkuri Pada Titik Sampling 2





Gambar 4.6 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel Dengan Efisiensi Merkuri Pada Titik Sampling 2

Dari gambar 4.3 dan 4.4 dapat dilihat hubungan antara lamanya waktu operasi pada titik sampling 1 dengan konsentrasi Hg dan persentase removal Hg. Pada gambar 4.3 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu operasi, konsentrasi Hg pada air limbah menurun sedangkan pada gambar 4.4 efisiensi removal Hg dalam air limbah semakin baik yakni dari 32,13% - 79,69% setelah 8 jam beroperasi. Sedangkan dari gambar 4.5 dan 4.6 dapat dilihat juga hubungan antara lamanya waktu operasi pada titik sampling 2 dengan konsentrasi Hg dan persentase removal Hg. Pada gambar 4.5 dapat dilihat bahwa semakin lama waktu operasi, konsentrasi Hg pada air limbah menurun, gambar 4.6 yang merupakan grafik hubungan antara lamanya waktu operasi dengan efisiensi removal Hg dalam air limbah, dimana pada saat waktu operasi 2 jam efisiensi removalnya 82,20 %, sedangkan pada saat waktu operasi 4 dan 6 jam tidak terjadi fluktuasi efisiensi removal yang signifikan yaitu sebesar 77,65% dan 77,05%.

Pada waktu pengoperasian 8 jam, efisiensi removalnya meningkat yakni sebesar 78,48%.

Efisiensi removal pada reaktor 2 lebih bagus dari pada reaktor ke 1 karena adanya bahan-bahan yang hilang (teradsorb) pada kolom 1 sehingga konsentrasi yang masuk lebih kecil dari pada kolom 1 (efluent kolom 1 = influent kolom 2).

Waktu *breakthrough* dan *exhaust point* belum tercapai. Hal ini disebabkan karena reaktor hanya dioperasikan selama 8 jam, sedangkan lamanya *run time* hingga mencapai *exhaust point* yang diperoleh dari perhitungan (lampiran 3) yaitu 30074,82 hari. Lamanya *run time* karena konsentrasi merkuri yang digunakan pada perhitungan tidak memperhatikan faktor interaksi dengan parameter lain (pengaruh berbagai unsur lain dalam limbah) sedangkan air limbah yang digunakan merupakan limbah campuran.

Limbah laboratorium Universitas Islam Indonesia merupakan limbah campuran yang terdiri dari berbagai bahan. Interaksi persaingan antara adsorbate yang berbeda-beda (COD, warna, logam berat, campuran organik dll) akan mengurangi kapasitas penyerapan dari adsorben (K. Vasanth Kumar dkk, 2004). Ukuran molekulnya juga 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 2.3.2). Selain itu, dalam proses adsorpsi 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). Hal ini mempengaruhi efisiensi adsorban untuk mengadsorpsi adsorbat dan lamanya waktu jenuh dalam perhitungan (lampiran 3).

Proses adsorpsi merkuri perlu diperhatikan komposisi ion Pb(II) dan Cu(II) serta pengaruh elektrolit lain yang terdapat dalam air limbah (Goel J, 2004)

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 90,4 % dengan konsentrasi limbah awal sebesar 0,05 mg/l dan konsentrasi akhir limbah sebesar 0,0048 mg/l. Sedangkan pada proses kontinyu, konsentrasi limbah awal 0,0389 mg/l dan konsentrasi limbah akhir setelah melewati kolom 1 pada jam ke 8, konsentrasi limbah menjadi 0,0079 mg/l. Hal ini menunjukkan pada proses kontinyu efisiensi removal yang diperoleh sebesar 79,69 %.

Perbedaan efisiensi antara sistem *batch* dan kontinyu dikarenakan waktu kontak antara adsorbat dan adsorban yang berbeda. Pada sistem *batch* waktu kontak antara adsorbat dan adsorban selama 2 jam, sedangkan pada sistem kontinyu hanya 17,78 menit. Waktu kontak merupakan hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Gaya adsorpsi molekul suatu zat terlarut akan meningkat apabila waktu kontak dengan karbon aktif makin lama (seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.3.2).

Sistem *batch* memerlukan suatu penanaman modal yang lebih kecil dibandingkan dengan konstruksi sistem kontinyu (Cheremisinoff,1978). Keuntungan utama dari reaktor sistem *batch* ini adalah kualitas dari effluent dapat terjamin. Adapun kerugian utama yang mendasar dari sistem ini adalah operasi yang manual, walaupun sistem *batch* dapat dilakukan secara otomatis, jika mungkin dilakukan monitor kualitas atau mutu air secara terus-menerus (Freeman, 1988).

Pada sistem kontinyu, keuntungan utama dari reaktor kolom adalah sangat efisien dari penggunaan kapasitas karbon, karena pada umumnya bed dalam keadaan seimbang dengan konsentrasi influent ketika karbon diregenerasi atau dikeluarkan dari kolom (Freeman, 1988).

Ketika karbon aktif di dalam kolom 1 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.

Dalam pengaplikasian sistem kontinyu pada pengolahan air bersih maupun air limbah biaya-biaya yang dikeluarkan meliputi persiapan lokasi, pondasi, bangunan, pompa *backwash*, kompresor udara, komponen elektrik, kontrol otomatis, *engineering*

dan biaya eksploitasi (Freeman, 1988). 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-biaya konstruksi meliputi reaktor karbon, sistem pengangkutan karbon, tangki penyimpanan karbon, regenerasi karbon (jika diaplikasikan), sistem pemompaan *influent* (jika diaplikasikan) dan sistem *backwash* pada reaktor. Biaya operasi dan pemeliharaan meliputi pembelian karbon, regenerasi karbon, daya listrik yang digunakan untuk pemompaan dan kontrol dan penggantian komponen reaktor yang rusak (Anonim, 2000).

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).

Dari analisa di atas, sistem *batch* menunjukkan hasil efisiensi yang lebih besar dibandingkan dengan menggunakan sistem kontinyu. Oleh karena itu sistem *batch* dapat diaplikasikan untuk alternatif pengolahan limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia. Namun demikian, sistem kontinyu juga dapat diaplikasikan sebagai unit pengolahan limbah, namun dalam penerapannya diharapkan faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme adsorpsi seperti agitasi, karakteristik karbon aktif, ukuran molekul adsorbat, pH, temperatur dan waktu kontak lebih diperhatikan.

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 Hg dalam air limbah meningkat seiring dengan semakin banyaknya dosis karbon aktif yang digunakan. Prosentase removal Hg paling tinggi terjadi pada saat pH 8 sebesar 90,4% dengan dosis karbon aktif sebanyak 4 gram.
2. Pada kolom ke 1; semakin lama waktu operasi reaktor, efisiensi removal semakin meningkat dari 32,13% - 79,69% setelah 8 jam beroperasi. Sedangkan pada kolom ke 2 yang merupakan kolom lanjutan 1, cenderung menurun dan terjadi fluktuasi efisiensi *removal* yaitu 82,20%, 77,65%, 77,05%, 78,48%. Waktu *breakthrough* dan *exhaust point* belum tercapai. Dari perhitungan, waktu pengoperasian (*run time*) diperoleh 30074,82 hari.
3. Aplikasi untuk pengolahan limbah Laboratorium Terpadu Universitas Islam Indonesia dapat menggunakan model sistem *batch* atau sistem kontinyu.

5.2 Saran

1. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengolahan limbah laboratorium terpadu Universitas Islam Indonesia.
2. Penelitian dengan metode adsorpsi ini perlu dilanjutkan lagi dengan variabel penelitian yang berbeda, misalnya variasi bahan karbon aktif, waktu pengadukan, ketinggian kolom, diameter partikel, media bed, temperatur, debit dan lain-lain, serta pemeriksaan parameter lain yang terkandung dalam limbah sehingga diharapkan dapat melengkapi penelitian yang sudah dilakukan.
3. Memperhatikan faktor interaksi dengan parameter lain (pengaruh berbagai unsur lain dalam limbah).

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad H., 1992, **Kimia Unsur dan Radiokimia**, Penerbit PT, Citra Aditya Bakti, Bandung
- Anonim, 1997, **Capsule Report : Aqueous Mercury Treatment**, EPA/625/R-97-004, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development
- Anonim, 1998, **Arang Aktif Dari Tempurung Kelapa**, Pusat Dokumentasi dan Informasi Ilmu, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, http://www.warintek.net/arang_aktif.htm
- Anonim, 2000, **Wastewater Technology Fact Sheet, Granular Activated Carbon Absorption and Regeneration**, EPA 832-F-00-017, U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development
- Anonim, 2001, **Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengolahan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air**, www.ri.go.id
- 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
- Freeman,H.M., 1988, **Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal**, Mc Graw-Hill, New York

- Goel J.; Kadirvelu K.; Rajagopal C., 2004, **Mercury (II) Removal from Water by Coconut Shell Based Activated Carbon : Batch and Column Studies**, Environmental Technology, in www.ingentaconnect.com
- K. Vasanth Kumar; K. Subanandam; V. Ramamurthi; S. Sivanesan., **Solid Liquid Adsorption for Wastewater Treatment: Principle Design and Operation**, Department Of Chemical Engineering - A.C. College of Technology, Anna University, in Chennai – India, <http://www.eco-web/editorial/040201.html>
- K. Vasanth Kumar; K. Subanandam; V. Ramamurthi; S. Sivanesan., **GAC Sorption Process: Problems and Solutions**, Department Of Chemical Engineering - A.C. College of Technology, Anna University, in Chennai – India, <http://www.eco-web/editorial/040319.html>
- Kristianto, P., 2002, **Ekologi Industri**, LPPM Universitas Kristen PETRA Surabaya
- Metcalf and Eddy, 1991, **Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse 3rd Edition**, Mc Graw, Inc., New York, USA
- Palar, H., 1994, **Pencemaran Toksologi Logam Berat**, PT. Rhineka Cipta, Jakarta
- 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
- 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 1

PERHITUNGAN ISOTHERM FREUNDLICH

➤ Konsentrasi limbah merkuri = 0,05 ppm

| No. | m (mg) | V (ml) | C (mg/l) | x (mg) | x/m (mg/mg) |
|-----|--------|--------|----------|---------|-------------|
| 1. | 0 | 200 | 0,05 | - | - |
| 2. | 1000 | 200 | 0,0061 | 0,00878 | 0,00000878 |
| 3. | 2000 | 200 | 0,0059 | 0,00882 | 0,00000441 |
| 4. | 3000 | 200 | 0,0055 | 0,00890 | 0,00000297 |
| 5. | 4000 | 200 | 0,0048 | 0,00904 | 0,00000226 |

Keterangan :

m = berat karbon aktif (mg)

V = volume sampel (ml)

C = konsentrasi Hg akhir (mg/l)

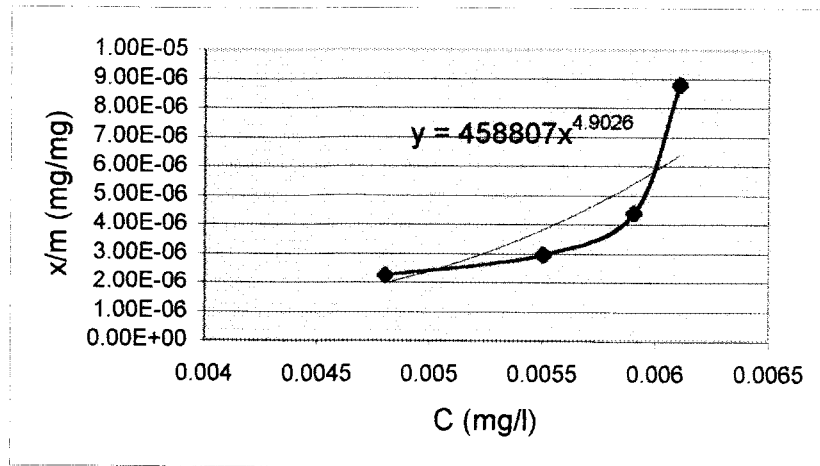
x = konsentrasi Hg yang teradsorpsi (mg)

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

$$\begin{aligned}x &= (0,05 \text{ mg/l} - 0,0061 \text{ mg/l}) \times \frac{200 \text{ ml}}{1000 \text{ ml/liter}} \\ &= 0,0439 \text{ mg/l} \times 0,2 \text{ l} = 0,00878 \text{ mg} \\ \frac{x}{m} &= \frac{0,00878 \text{ mg}}{1000 \text{ mg karbon}} = 0,00000878 \text{ mg/mg}\end{aligned}$$

Persamaan Isotherm Freundlich adalah

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



Dari grafik Freundlich Isoterm di atas didapatkan nilai $K = 458807$, sedangkan $n = 0,20397$.

LAMPIRAN 2

PERHITUNGAN DEBIT ALIRAN YANG DIGUNAKAN PADA SISTEM KONTINYU

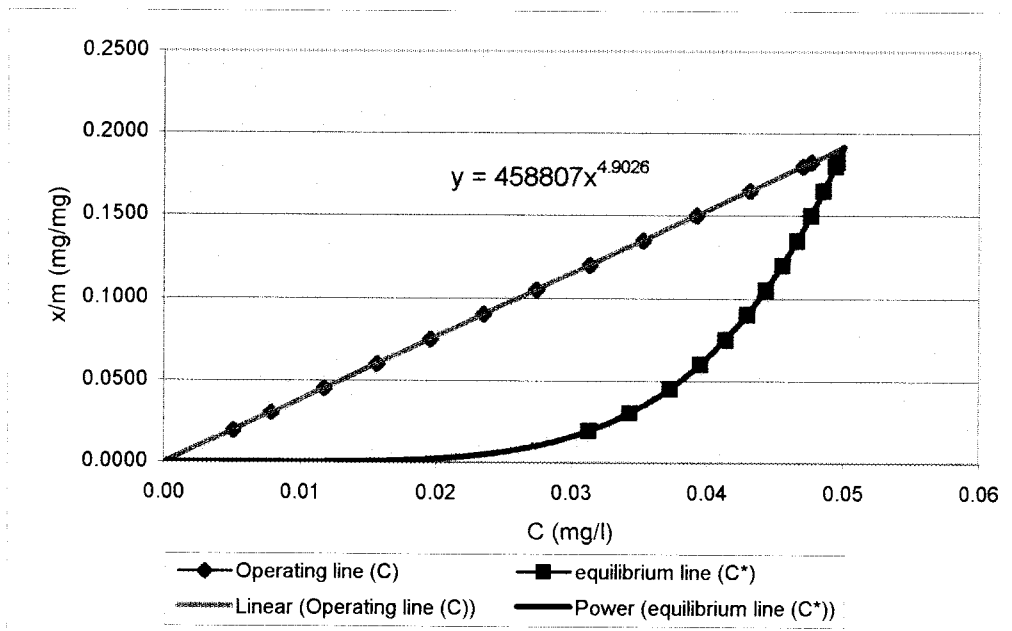
- Diameter dalam kolom = 10,3 cm
- Ketinggian karbon aktif dalam kolom = 40 cm
- Luas kolom (A) $= \frac{1}{4} \pi (10,3)^2 \text{ cm}^2$
 $= 83,323 \text{ cm}^2$
 $= 0,089655 \text{ ft}^2$
- Waktu rencana (t) = 17,78 menit
- Debit (Q) = Kecepatan linier (v) x luas permukaan kolom bagian dalam (A)
- Kecepatan (v) = tinggi kolom / waktu rencana
 $= 40 \text{ cm} / 17,78 \text{ menit}$
 $= 2,2497 \text{ cm/menit}$
 $= 0,073808 \text{ ft/menit}$
- Debit (Q) $= 2,2497 \text{ cm/menit} \times 83,323 \text{ cm}^2$
 $= 187,45 \text{ cm}^3/\text{menit}$
 $= 0,0495 \text{ gpm}$

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN RUN TIME

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

$$\frac{x}{m} = 458807 \cdot C^{4.9026}$$



Gambar 1 Garis Equilibrium dan Operating

- Untuk garis operating diperoleh dengan mengikuti koordinat :

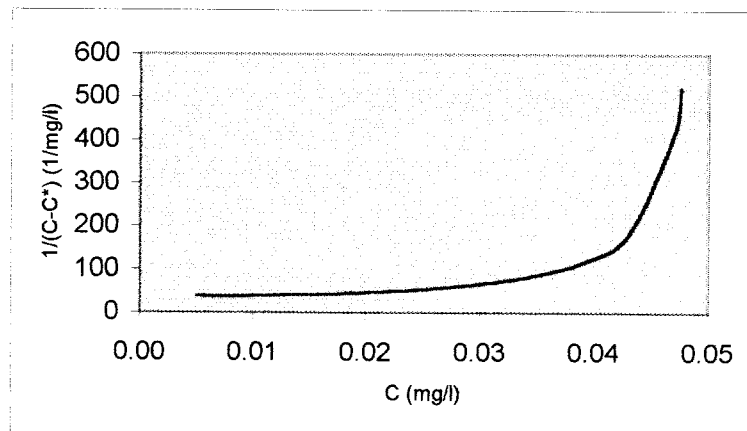
$$C_0 = 0,05 \text{ mg/l}$$

$$\left[\frac{x}{m} \right]_0 = 0,19195 \frac{\text{mg Hg}}{\text{mg karbon}}$$

- 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

| X/m | C | C* | C-C* | $(C-C^*)^{-1}$ | $\int_{C_B}^{C_E} (C-C^*)^{-1} dC$ | $\frac{(V-V_B)}{(V_E-V_B)}$ |
|--------|--------|---------|--------|----------------|------------------------------------|-----------------------------|
| 0.0192 | 0.0050 | 0.03126 | 0.0263 | 38.09 | 0 | 0 |
| 0.0300 | 0.0078 | 0.03424 | 0.0264 | 37.85 | 0.1070 | 0.0282 |
| 0.0450 | 0.0117 | 0.03719 | 0.0255 | 39.28 | 0.2578 | 0.0679 |
| 0.0600 | 0.0156 | 0.03944 | 0.0238 | 42.03 | 0.4166 | 0.1097 |
| 0.0750 | 0.0196 | 0.04128 | 0.0217 | 46.04 | 0.5885 | 0.1549 |
| 0.0900 | 0.0235 | 0.04284 | 0.0194 | 51.62 | 0.7789 | 0.2050 |
| 0.1050 | 0.0274 | 0.04421 | 0.0168 | 59.42 | 0.9950 | 0.2619 |
| 0.1200 | 0.0313 | 0.04543 | 0.0141 | 70.73 | 1.2476 | 0.3284 |
| 0.1350 | 0.0352 | 0.04654 | 0.0113 | 88.25 | 1.5548 | 0.4093 |
| 0.1500 | 0.0391 | 0.04755 | 0.0084 | 118.61 | 1.9506 | 0.5135 |
| 0.1650 | 0.0430 | 0.04848 | 0.0055 | 183.40 | 2.5141 | 0.6619 |
| 0.1800 | 0.0469 | 0.04935 | 0.0024 | 415.09 | 3.5092 | 0.9238 |
| 0.1824 | 0.0476 | 0.04948 | 0.0019 | 521.72 | 3.7986 | 1.0000 |

Tabel 1



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.

$$\int_{C_B}^{C_E} \frac{dC}{C - C^*} = 3,7986$$

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

$$\begin{aligned} F_w &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,0495 \text{ gpm}}{0,089655 \text{ ft}^2} \\ &= 0,552 \text{ gpm/ft}^2 \end{aligned}$$

$$h_z = \frac{F_w \int_{C_B}^{C_E} \frac{dC}{(C - C^*)}}{K_a}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{(0,552 \text{ gpm/ft}^2 \times (8,34 \text{ lb/gal}))}{1100 \text{ lb/min-ft}^3} \times 3,7986 \\ &= 0,01589 \text{ ft} \end{aligned}$$

- 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

- b. Pada saat jenuh, nilai x/m (gambar 1) adalah 0,19195 (mg Hg/mg). Jumlah Hg yang diserap pada saat jenuh, berdasarkan pada 99,1086% kejenuhan adalah:

$$\begin{aligned} \text{karbon lb Hg adsorbet} &= 4,7021 \text{ lb carbon} \times 0,19195 \text{ mg Hg/mg C} \times \\ &0,9912 \\ &= 0,8946 \text{ lb} \end{aligned}$$

- Hitung waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik jenuh dari karbon aktif dalam kolom, dengan *flow* 0,552 gpm/ft² dan konsentrasi Hg awal 0,05 mg/l:

$$\begin{aligned} \text{konsentrasi Hg} &= (0,05 \text{ mg/l}) \times (10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{mg}}) \times (2,205 \times 10^{-3} \frac{\text{lb}}{\text{g}}) \times 28,32 \frac{\text{l}}{\text{ft}^3} \\ &= 3,1223 \times 10^{-6} \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\text{wastewater application rate} = 0,0495 \text{ gpm}$$

$$\begin{aligned} \text{Hg application rate} &= (0,0495 \text{ gpm}) (3,1223 \times 10^{-6} \text{ lb/ft}^3) \left(\frac{1}{7,48} \times \frac{\text{ft}^3}{\text{gal}} \right) \\ &= 2,0658 \times 10^{-8} \text{ lb/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Run time} &= \frac{0,8946 \text{ lb}}{2,0658 \times 10^{-8} \text{ lb/min}} \\ &= 30074,82 \text{ hari} \end{aligned}$$

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 | | | | | | |
| Tempelatur | °C | deviasi 3 | deviasi 3 | deviasi 3 | deviasi 5 | Deviasi temperatur dari keadaan alaminya |
| 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 ≤ 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 ≤ 0,1 mg/L |
| Mangan | mg/L | 0,1 | (-) | (-) | (-) | |
| 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 |
| Khlorida | mg/l | 600 | (-) | (-) | (-) | |
| 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 |
| Belereng sebagai H ₂ S | mg/L | 0,002 | 0,002 | 0,002 | (-) | Bagi pengolahan air minum secara konvensional, S sebagai H ₂ S <0,1 mg/L |
| 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/100 ml |
| -Total coliform | jml/100 ml | 1000 | 5000 | 10000 | 10000 | |
| -RADIOAKTIVITAS | | | | | | |
| - Gross-A | Bq /L | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | |
| - Gross-B | Bq /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 | | | | | | |
| 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 | (-) | (-) | (-) | |
| Lindane | ug /L | 56 | (-) | (-) | (-) | |
| Methoxychlor | 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 \leq adalah lebih kecil atau sama dengan

Tanda $<$ adalah lebih kecil

PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA

ttd.

MEGAWATI SOEKARNO PUTRI



Form-29/Sert/Uji

Number : 002/KA/II/04

Number

Page : 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 |
|---|----------|-------------------------|-------------------------|------------------|----------------|---------------------|
| Lar. limbah cair Lab. Terpadu FMIPA Kedok- teran 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 | 7 Titrimetri |
| | | | B | Fe | µg/mL | 0,190 ± 0,010 |
| | | 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 | 7 Titrimetri |
| | | C | | Fe | µg/mL | 0,190 ± 0,005 |
| | | | Cu | µg/mL | 0,012 ± 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 | | | |

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

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

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



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 -

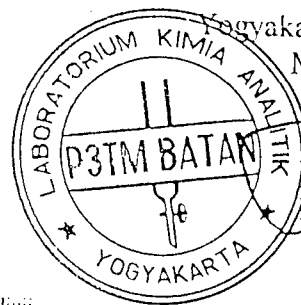
Nomor : 002/KA/II/04
Number
Halaman : 3 dari 3
Page

Keterangan :

Batas tertinggi yang diijinkan :

| No. | Parameter | Batas maksimum yang diijinkan (mg/L) | | | |
|-----|------------------|--------------------------------------|---------|----------|---------|
| | | Gol. I | Gol. II | Gol. III | Gol. IV |
| 1. | COD | 20 | 50 | 150 | 300 |
| 2. | BOD | 40 | 100 | 300 | 600 |
| 3. | Amoniak | 0,02 | 1 | 5 | 20 |
| 4. | Oksigen terlarut | - | - | - | - |

Satuan : $\mu\text{g/g} = \mu\text{g/mL} = \text{mg/L} = \text{ppm}$
F-AAS : Flame-Atomic Absorption Spectrophotometry
CV-AAS : Cold Vapour- Atomic Absorption Spectrophotometry
AAN : Analisis Aktivasi Netron



Yogyakarta, 16 Februari 2004
Manajer Teknik,

Dr. Samin APU.
NIP. 330001309

Catatan : 1 Hasil pengujian ini hanya berlaku untuk contoh yang diuji
Notes : These test result are only valid for the tested samples

2. Sertifikat ini tidak boleh diperbanyak/digandakan tanpa izin dari Manajer Teknik Laboratorium
The certificate shall not be reproduced (copied) without the written permission of the laboratory Technical Manager



PEMERINTAH PROPINSI DAERAH ISTIMEWA YOGYAKARTA
DINAS PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH
BALAI PENGUJIAN KONSTRUKSI DAN LINGKUNGAN (BPKL)

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

HASIL ANALISA CONTOH AIR .

Asal contoh : Tifa Trikarini

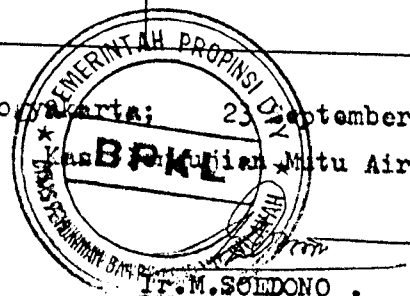
Mhs. Teknik Lingkungan UII

Yogyakarta .

Diterima tgl : 16 - 9 - 2004 .

| NO. | Kode Contoh | Satuan | Konsentrasi Merkuri |
|------|-------------|---------|---------------------|
| I. | A w a l | mg/L Hg | 0,050 |
| II. | pH 7,00 | 1. | 0,0113 |
| | | 2. | 0,0097 |
| | | 3. | 0,0093 |
| | | 4. | 0,0081 |
| III. | pH 8,00 | 1. | 0,0061 |
| | | 2. | 0,0059 |
| | | 3. | 0,0055 |
| | | 4. | 0,0048 |
| IV. | pH 9,00 | 1. | 0,0080 |
| | | 2. | 0,0077 |
| | | 3. | 0,0073 |
| | | 4. | 0,0069 |
| V. | pH 10,00 | 1. | 0,0062 |
| | | 2. | 0,0060 |
| | | 3. | 0,0060 |
| | | 4. | 0,0058 |

Yogyakarta; 23 September 2004



Ir. M. SOLDONO .
NIP. 110038650



DINAS KESEHATAN PROPINSI D.I YOGYAKARTA
BALAI LABORATORIUM KESEHATAN YOGYAKARTA
Ngadinegaran MJ. III / 62 Yogyakarta Telp. 378187

No. : 82-92/SHU/01/05
Hal : 1 dari 1

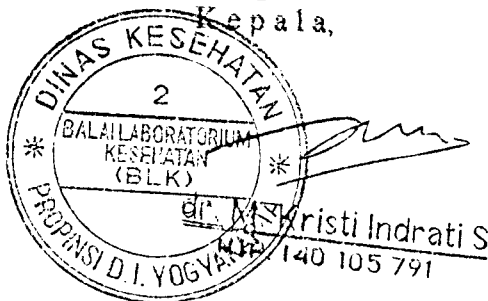
SERTIFIKAT HASIL UJI KIMIA LINGKUNGAN

Nama pengirim : Tifa Trikarini
Alamat : Jl. Kaliurang Km 14,5 Lodadi
Jenis contoh uji : Air Limbah
Asal contoh uji : Air Limbah Lab. UII
Pengambil contoh uji : Tifa Trikarini
Diambil/diterima tanggal : 18 Januari 2005 / 18 Januari 2005
Parameter yang diuji : Merkuri (Hg)
Tanggal pengujian : 19 Januari 2005 s/d 25 Januari 2005
Kode contoh uji : 00423 s/d 00433/01/05/KK
No. Lab. : 78 KL s/d 88 KL/01/05
Metode pengujian : AAS (Adisi)

| No. | Jenis contoh uji | Kode contoh uji ... /01/05/KK | No. Lab. ... KL/01/05 | Hasil (mg/L) |
|-----|------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------|
| 1. | Kode awal | 00423 | 78 | 0,0389 |
| 2. | Kode TS1 T0 | 00424 | 79 | Tidak bisa terbaca |
| 3. | Kode TS 1 T2 | 00425 | 80 | 0,0264 |
| 4. | Kode TS 1 T4 | 00426 | 81 | 0,0179 |
| 5. | Kode TS 1 T6 | 00427 | 82 | 0,0122 |
| 6. | Kode TS 1 T8 | 00428 | 83 | 0,0079 |
| 7. | Kode TS 2 T0 | 00429 | 84 | Tidak bisa terbaca |
| 8. | Kode TS 2 T2 | 00430 | 85 | 0,0047 |
| 9. | Kode TS 2 T4 | 00431 | 86 | 0,0040 |
| 10. | Kode TS 2 T6 | 00432 | 87 | 0,0028 |
| 11. | Kode TS 2 T8 | 00433 | 88 | 0,0017 |

Catatan : Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh yang diuji
Pengaduan hasil pengujian dilayani sampai dengan tanggal 19 Februari 2005

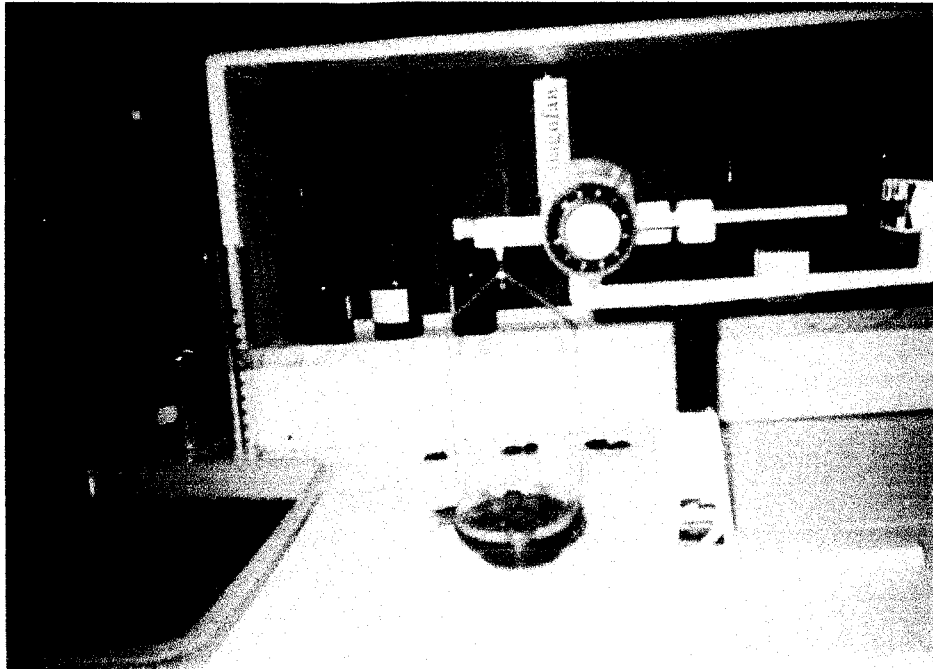
Mengetahui :
Kepala,



Yogyakarta, 12 Februari 2005
Kepala Seksi Kimia Kesehatan,

Dra. Emy Astuti, Apt
NIP. 140146778

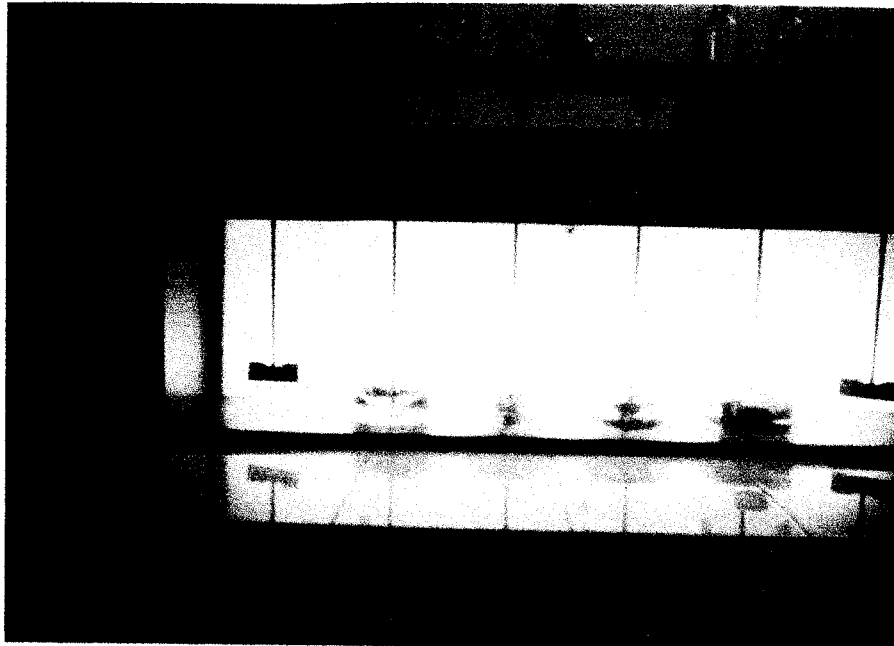
DOKUMENTASI PROSES PENELITIAN



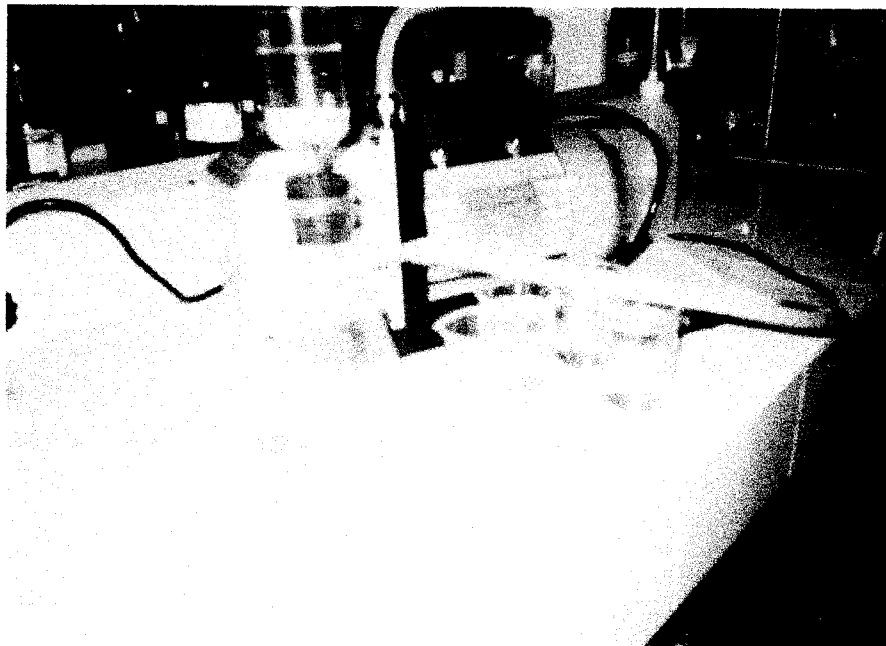
Gambar 1. Karbon Aktif dan Neraca Timbang



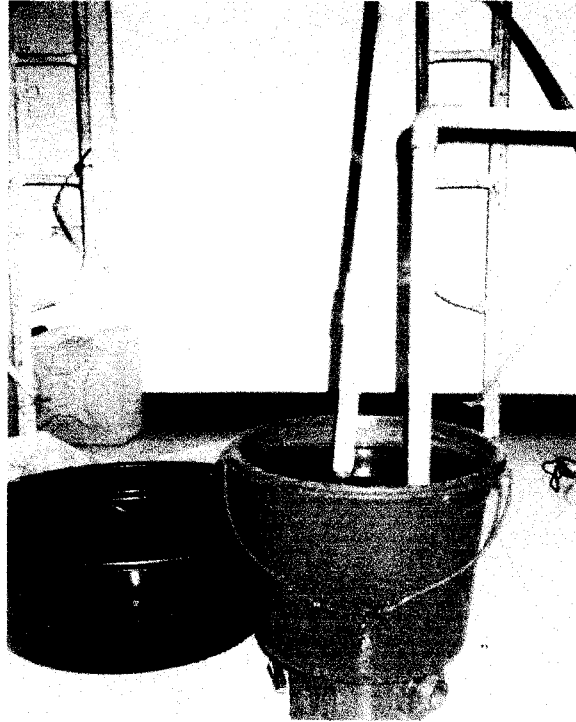
Gambar 2. Magnet Stierer dan pH Meter



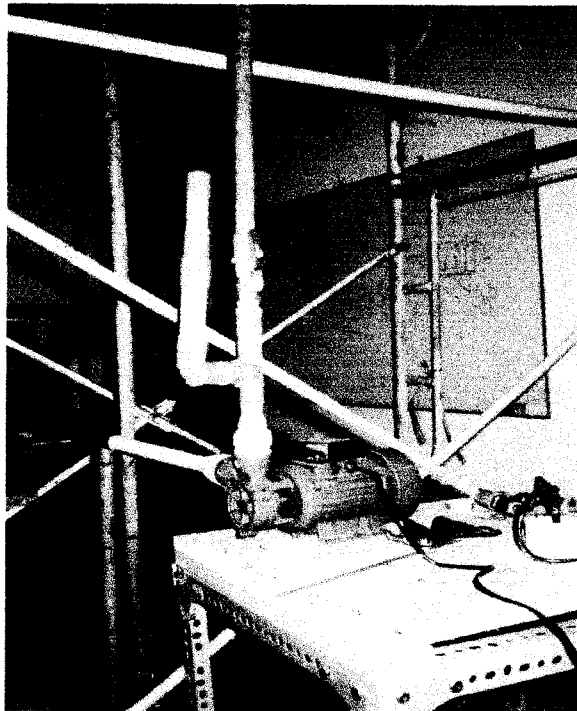
Gambar 3. Jar Test (Reaktor *Batch*)



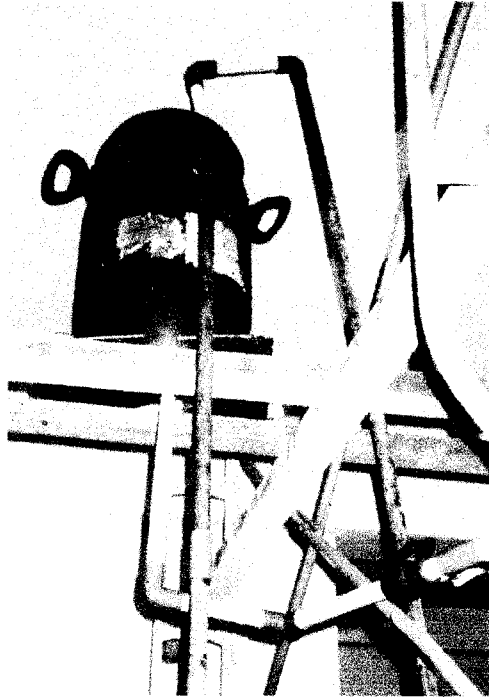
Gambar 4. *Vacuum Filter*



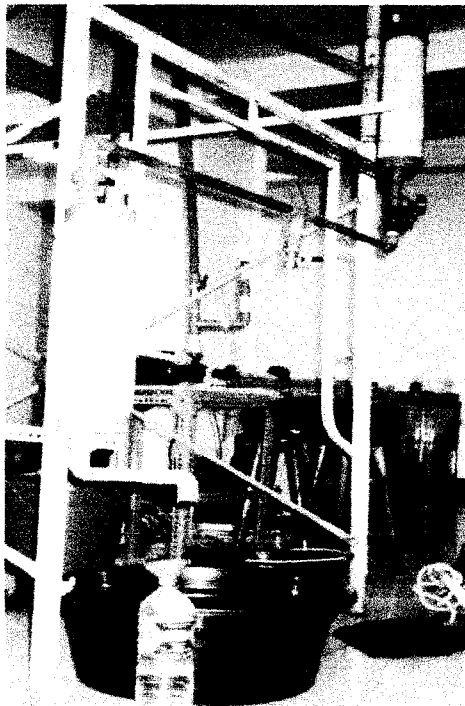
Gambar 5. Bak Penampung Air Limbah



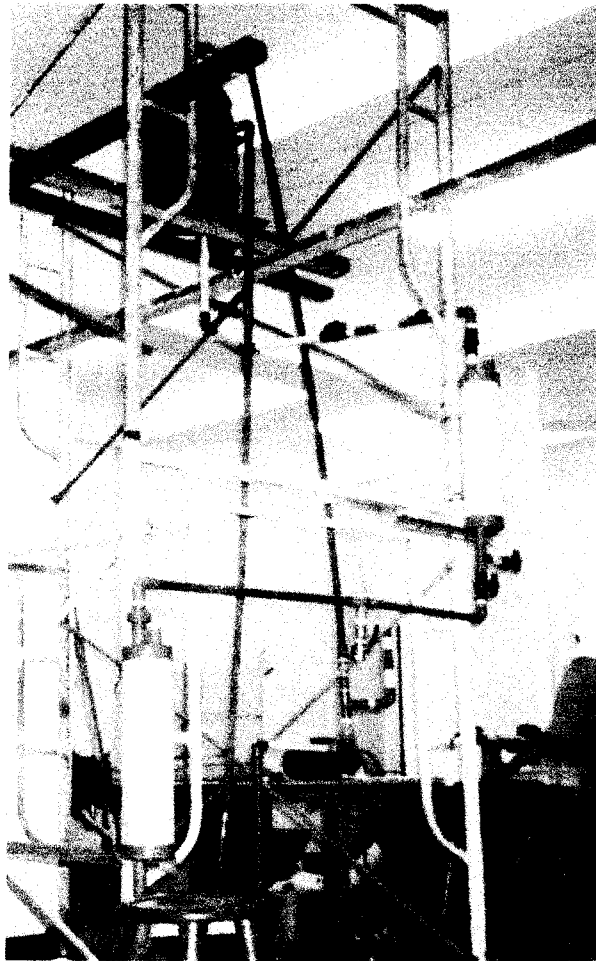
Gambar 6. Pompa



Gambar 7. Bak Penampung Air Limbah (Reservoar)



Gambar 8. Kolom 1 dan Kolom 2



Gambar 9. Reaktor Sistem Kontinyu