

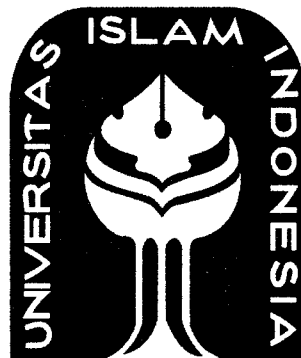
TA/TL/2006/0108

TUGAS AKHIR

PERPUSTAKAAN FTSP UI	
HADIAN/SEMI	
TGL. TERIMA :	25 April 2007
NO. JUDUL :	002386
NO. INV. :	52002386001
NO. INDEK. :	

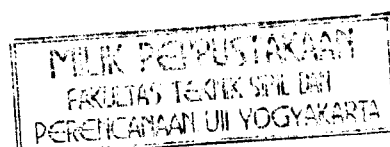
**PENURUNAN KADAR MERKURI (HG)
PADA LIMBAH CAIR LABORATORIUM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGGUNAKAN
REAKTOR AEROKARBONFILTER**

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



Nama : Hikmahwati
No. Mahasiswa : 02 513 087
Program Studi : Teknik Lingkungan

**JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2006**



HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

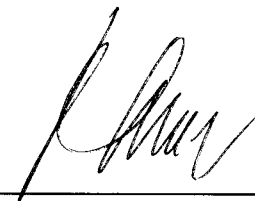
“PENURUNAN KADAR MERKURI (HG)
PADA LIMBAH CAIR LABORATORIUM
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGGUNAKAN
REAKTOR *AEROKARBONFILTER*”

Nama : Hikmahwati
No. Mahasiswa : 02 513 087
Program Studi : Teknik Lingkungan

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Dosen Pembimbing I


Ir. H. Kasam, MT.



Tanggal : 6 - 9 - 2006

Dosen Pembimbing II

Eko Siswoyo, ST.



Tanggal 6 - 9 - 2006

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah kepada saya sehingga dapat menyelesaikan tugas ini. Semoga Allah SWT memberikan ilmu dan kesehatan kepada semua orang.

Terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama proses penulisan tugas ini. Semoga Allah SWT memberikan ilmu dan kesehatan kepada semua orang.

PENURUNAN KADAR MERKURI (Hg) PADA LIMBAH CAIR LABORATORIUM UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA MENGGUNAKAN REAKTOR AEROKARBONFILTER

()

Eko Siswoyo¹⁾, Kasam²⁾, Hikmahwati³⁾

INTISARI

Secara umum proses pengolahan limbah cair pada dasarnya adalah suatu perlakuan tertentu terhadap limbah cair sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan, sehingga limbah tersebut tidak mengganggu media/lingkungan penerimanya. Air buangan dari suatu laboratorium disinyalir mengandung logam merkuri. Keadaan ini dimungkinkan karena terdapatnya senyawa merkuri dalam reagen yang banyak dipakai di laboratorium-laboratorium. Berdasarkan data pengujian awal, konsentrasi parameter Hg pada limbah cair laboratorium universitas indonesia adalah 0,22 mg/ltr, dimana konsentrasi tersebut melebihi standar baku mutu. Salah satu alternatif pengolahan limbah yang mengandung merkuri adalah dengan menggunakan reaktor aerokarbonfilter. Reaktor ini tersusun atas aerasi, adsorpsi-zeolit dan filtrasi pasir kuarsa. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah reaktor aerokarbonfilter dapat menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) serta mengetahui besar efisiensi penurunannya dan mengetahui variasi penurunan konsentrasi tiap periode waktu terhadap proses zeolit.

Metode penelitian dilakukan yaitu dengan mengalirkan air limbah melewati proses aerasi, adsorpsi dengan zeolit serta penyaringan dengan filter pasir kuarsa. Reaktor ini memiliki panjang 30 cm dan lebar 30 cm, ketinggian total 135 cm, dengan ketebalan zeolit 40 cm dan filter pasir 32 cm dan ketebalan kerikil 8 cm. Variasi pengambilan sampel adalah mulai dari 0, 30, 60, 90, 120, dan 150 menit.

Hasil dari penelitian ini diketahui bahwa reaktor aerokarbonfilter mampu menurunkan konsentrasi merkuri dengan efisiensi penurunan konsentrasi merkuri (Hg) terbesar adalah 78,39 % yang terjadi pada menit ke 90 dan sampai pada menit ke 150 zeolit masih mampu menurunkan konsentrasi merkuri. Penurunan konsentrasi merkuri disebabkan karena proses adsorpsi, dimana terjadi kontak antara adsorbat dengan adsorbant. Hal ini terjadi karena adsorbant memiliki pori yang mampu menyerap logam merkuri, sehingga dihasilkan konsentrasi merkuri lebih rendah dari inlet.

Kata Kunci: Air limbah, reaktor Aerokarbonfilter, merkuri (Hg).

¹ Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

² Staf Pengajar, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

³ Mahasiswa Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan - Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah, segala puji dan syukur hanya tertuju kepada Alla SWT. Semoga rahmat, salam dan berkah-Nya terlimpah kepada Nabi Muhammad SAW, para sahabat dan pengikutnya sampai akhir zaman.

Alhamduulillahirabbil'alamin Laporan Tugas Akhir dengan judul **“PENURUNAN KADAR MERKURI (Hg) PADA LIMBAH CAIR LABORATORIUM UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA DENGAN MENGGUNAKN REAKTOR AEROKARBONFILTER”**, dapat terselesaikan. Tugas akhir ini merupakan puncak dari seluruh kegiatan perkuliahan dalam mendapat predikat Sarjana Strata 1 Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini, penyusun ingin mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Allah SWT, Tuhan yang Maha Esa
2. Bapak Luqman Hakim, ST, Msi selaku Ketua Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak IR. H. Kasam, MT. selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir.

13. Buat anak-anak aerokarbonfilter thanks. Special buat Ayu_Imunk yang udah membantu, memberikan semangat, (senang bisa temanan ama kamu...ayo semangat...ingat jangan ampe salah milih yah).
14. Buat Bani, Desy , Bayu, persahabatan kita akan kukenang selamanya.
15. Anak kos Red Top (Ti2n, Ninik, Sukma, Umu, Nunic, Ria, Sita, Rusma, Ely, Memey, Ria junior, Putri) thanks atas kebersamaannya selama ini, termasuk pas gempa 27 Mei (ayo kita tidur bareng lagi...)
16. Buat anak-anak kkn SL 113 (Anita, Esti, Devi, Novri yang dah nerjemahin inggrisnya, Anggit, Prima, Arya, Hari, Arif, Dityo thanks yah dah ngajarin toefl dan minjamin modulnya.
17. Untuk anak-anak TL 02, special Aulia tang dah jadi teman yang baik “jadi ingat pas lagi KP”, dan semua yang ga bisa disebutkan satu-satu.

Penulis menyadari bahwa sebagai manusia biasa tentu tidak luput dari kesalahan. Apabila terdapat suatu kesalahan itu merupakan suatu kealpaan dari saya dan apabila terdapat kebenaran itu hanya datang dari Allah SWT semata. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritikan dan masukan demi kesempurnaan Laporan Tugas Akhir ini.

Akhir kata penulis mengharapkan bahwa laporan ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penilaian akhir dari Tugas Akhir ini, Amin....

وَالشُّكْرُ لِلّٰهِ وَرَحْمَةُ اللّٰهِ وَبَرَكَاتُهُ

Jogjakarta, September 2006

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	iii
INTISARI.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Batasan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Tugas Akhir.....	5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair.....	7
----------------------	---

2.2	Merkuri (Hg).....	8
2.2.1	Sifat-Sifat Merkuri.....	8
2.2.2	Pencemaran Merkuri di Lingkungan.....	10
2.2.3	Dampak Pencemaran Merkuri Bagi Kesehatan.....	11
2.3.	Reaktor Aerokarbonfilter.....	11
2.4.	Aerasi.....	13
2.4.1	Mekanisme Transfer Gas.....	15
2.4.2	Jenis-Jenis Aerasi.....	17
2.5.	Karbon Aktif.....	29
2.5.1	Karakteristik Karbon Aktif.....	20
2.5.2	Struktur Karbon Aktif.....	23
2.5.3	Daya Serap Karbon Aktif.....	24
2.5.4	Pasir Zeolit.....	25
2.5.4.1	Pengertian Zeolit.....	25
2.5.4.2	Struktur dan Sifat Zeolit.....	27
2.5.4.3	Manfaat Zeolit dalam Pengolahan Limbah Industri dan Nuklir.....	35
2.5.4.4	Manfaat Zeolit diBidang Proses Industri.....	36
2.5.4.5	Manfaat Zeolit dibidang Pertanian dan Lingkungan.....	38
2.5.5	Adsorpsi.....	40
2.5.5.1	Pengertian Adsorpsi.....	40
2.5.5.2	Mekanisme Adsorpsi.....	41

2.5.5.3	Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	41
2.5.6	Filtrasi (Penyaringan).....	45
2.5.6.1	Susunan Kimia Pasir.....	46
2.5.6.2	Karakteristik Fisik Pasir.....	46
2.5.6.3	Tipe Penyaringan.....	47
2.5.6.4	Mekanisme Filtrasi	48

BAB III METODE PENELITIAN

3.1.	Lokasi Penelitian.....	50
3.2.	Jenis Penelitian.....	50
3.2.	Objek Penelitian.....	50
3.4.	Parameter Penelitian.....	50
3.5.	Desain Reaktor.....	51
3.6.	Dimensi Reaktor.....	51
3.7.	Langkah Pelaksanaan Penelitian.....	52
3.7.1.	Tahapan Persiapan.....	52
3.7.2.	Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	52
3.7.3.	Cara Penelitian.....	53
3.7.4.	Analisa Hasil Penelitian.....	54
3.7.4.1	Analisa Statistik.....	54
3.7.4.2	Menghitung Efisiensi.....	55
3.7.5.	Diagram Alir Penelitian.....	57
3.7.6.	Gambar Reaktor Aerokarbonfilter.....	58

3.8.	Hipotesa Penelitian.....	60
------	--------------------------	----

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1.	Penurunan konsentrasi merkuri (Hg) pada proses aerasi, adsorpsi dan filtrasi terhadap variasi waktu percobaan.....	62
4.1.1.	Penurunan Konsentrasi merkuri (Hg) Inlet terhadap proses Aerasi.....	64
4.1.2.	Penurunan konsentrasi merkuri (Hg) inlet keluaran dari proses aerasi terhadap proses Adsorpsi dengan pasir Zeolit.....	66
4.1.3.	Penurunan konsentrasi merkuri (Hg) inlet terhadap proses filtrasi dengan menggunakan pasir kuarsa.....	72
4.2.	Konsentrasi dan efisiensi total alat antara Inlet awal dengan outlet filtrasi pada reaktor Aerokarbonfilter.....	73
4.3	Analisa Statistik.....	77

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.	Kesimpulan.....	80
5.2.	Saran.....	81

DAFTAR PUSTAKA	82
-----------------------	-----------

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No	Keterangan	Halaman
Tabel 1.1.	Data Hasil Pengujian.....	2
Tabel 2.1.	Klasifikasi Zeolit.....	30
Tabel 2.3.	Klasifikasi ion/ molecular sieve material.....	33
Tabel 3.1.	Dimensi reaktor.....	52
Tabel 4.1.	Hubungan waktu dengan konsentrasi Hg terhadap proses Aerasi, Pasir Zeolit dan Filtrasi.....	62
Tabel 4.2.	Konsentrasi dan efisiensi total alat untuk parameter Hg antara inlet dengan outlet filtrasi.....	73
Tabel 4.3.	Hasil Out put analisa statistik dengan metode Post Hoc Tests.....	88

DAFTAR GAMBAR

No	Keterangan	Halaman
	Gambar 2.1. Tetrahedra alumina dan silika (TO ₄) pada struktur zeolit.....	28
	Gambar 2.2. Unit Bangun Sekunder Struktur Zeolit.....	29
	Gambar 2.3. Struktur stereotip modernit.....	32
	Gambar 2.4. Struktur stereotip klinoptilolit.....	32
	Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.....	57
	Gambar 3.2. Reaktor Aerokarbonfilter.....	59
	Gambar 4.1. Grafik perbandingan konsentrasi dengan waktu terhadap media proses.....	63
	Gambar 4.2. Konsep adsorpsi pada permukaan pori.....	71
	Gambar 4.3. Konsep adsorpsi pada unsur an organik.....	71
	Gambar 4.4. Grafik konsentrasi Hg pada inlet dan outlet akhir pada berbagai variasi waktu percobaan.....	74
	Gambar 4.5. Grafik efisiensi total alat pada berbagai waktu pada proses aerokarbonfilter.....	74

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Secara umum proses pengolahan limbah cair pada dasarnya adalah suatu perlakuan tertentu terhadap limbah cair sebelum limbah tersebut dibuang ke lingkungan, sehingga limbah tersebut tidak mengganggu media/lingkungan penerimanya. Keberadaan laboratorium-laboratorium di Yogyakarta berpotensi menimbulkan pencemaran, mengingat besarnya pemakaian bahan-bahan kimia dalam reagen. Kegiatan praktikum di laboratorium Universitas Islam Indonesia adalah merupakan salah satu sumber limbah, dimana 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 penanganan limbah yang dilakukan oleh pihak laboratorium yaitu hanya dengan menampung limbah tersebut, oleh karena itu perlu adanya alternatif lain dalam pengolahannya. Berdasarkan pengujian yang dilakukan di pusat pelatihan dan pengembangan teknologi maju – BATAN Yogyakarta diketahui bahwa limbah laboratorium Universitas Islam Indonesia terdiri dari bahan-bahan organik maupun anorganik. Bahan-bahan tersebut jika dibuang ke badan air maupun lingkungan di sekitarnya dapat menurunkan kualitas air dan lingkungan.

Berdasarkan data yang diperoleh dari pusat penelitian dan teknologi maju BATAN, konsentrasi untuk parameter Hg $27,170 \pm 0,220$ mg/l konsentrasi tersebut melebihi persyaratan ambang batas menurut peraturan pemerintah No. 82 tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pencemaran air untuk parameter logam merkuri (Hg) kelas II sebesar 0,02 mg/ltr. Data hasil pengujiannya adalah sebagai berikut (lihat tabel 1.1) :

Tabel 1.1 Data Hasil Pengujian

Nama contoh	Kode	Label	Parameter	Satuan	Hasil Uji	Metode Uji
Limbah Cair lab. Terpadu FMIPA	293/ C/K	A	Hg	mg/liter	$15,680 \pm 0,220$	022/ MU / F-AAS/ 00
		B	Hg	mg/liter	$15,230 \pm 0,31$	022/ MU / F-AAS/ 00
		C	Hg	mg/liter	$27,170 \pm 0,220$	022/ MU / F-AAS/ 00

Sumber hasil pengujian BATAN

Merkuri merupakan salah satu unsur yang dalam keadaan normal tidak terdapat dalam tubuh, tetapi mempunyai sifat mudah terakumulasi dalam jaringan tubuh. Senyawa merkuri bersifat sangat toksik bagi manusia dan hewan.

Menurut *National Atmospheric Emission Inventori* (NAEI, 2002), merkuri diklasifikasikan dalam golongan logam berat, yang mempunyai nama kimia *Hidrogyrum* yang berarti perak cair. Logam berat adalah unsur-unsur yang

mempunyai nomor atom lebih dari 22 dan terletak pada periode 3 sampai 7 dalam susunan berkala dan mempunyai densitas lebih dari 5 dan pada umumnya beracun. Selain mempunyai daya racun yang kuat, logam merkuri dan senyawanya mudah bereaksi dengan enzim yang mengandung belerang, yang menyebabkan fungsi enzim terganggu.

Dalam penelitian ini akan dicoba untuk menjawab persoalan mengenai logam merkuri yang terdapat dalam limbah laboratorium Universitas Islam Indonesia, yaitu dengan reaktor yang susunanya terdiri atas aerasi, karbon aktif, dan filter pasir (aerokarbonfilter). Dengan adanya aerasi diharapkan ada penambahan oksigen yang dapat mengurangi kejenuhan air sehingga diharapkan mampu menurunkan kadar merkuri (Hg). Filter karbon aktif yang memiliki ruang pori-pori yang sangat banyak dengan ukuran tertentu berfungsi untuk menghilangkan polutan mikro misalnya zat organik, detergen, bau, senyawa Phenol, serta untuk menyerap logam-logam berat. Filter karbon aktif juga merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan sebagai media adsorpsi-filtrasi dalam menurunkan parameter logam berat yang terkandung dalam limbah laboratorium. Sedangkan filter pasir adalah berfungsi untuk menurunkan tingkat kekeruhan serta memisahkan antara zat padat dan zat kimia yang terkandung dalam air limbah.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan di atas, maka penelitian ini perlu dilakukan dan diharapkan dapat memberikan alternatif untuk menangani permasalahan limbah, sehingga konsentrasi limbah tersebut dapat memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan dan aman jika dibuang ke lingkungan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut :

- a. Apakah reaktor aerokarbonfilter (aerasi, karbon aktif, dan filter) dapat menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) dalam limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia dan seberapa besar efisiensi penurunannya.
- b. Berapa besar variasi penurunan konsentrasi merkuri tiap periode waktu terhadap proses zeolit.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui kemampuan dan efisiensi reaktor aerokarbonfilter dalam menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) dalam limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia.
- b. Untuk mengetahui variasi penurunan konsentrasi merkuri tiap periode waktu terhadap proses zeolit.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian diatas, maka manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

- a. Memberikan alternatif teknologi baru untuk pengolahan limbah laboratorium Universitas Islam Indonesia dalam menurunkan konsentasi merkuri (Hg) yang tinggi dengan biaya murah serta mudah dalam pengoperasiannya.

- b. Digunakan sebagai bahan kajian lebih lanjut untuk pengolahan terhadap parameter lain yang sejenis.

1.5 Batasan Masalah

Sesuai dengan tujuan penelitian, agar penelitian ini lebih mudah perlu adanya batasan-batasan sebagai berikut :

- a. Air limbah yang diambil adalah campuran dari laboratorium terpadu dengan laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan Universitas Islam Indonesia.
- b. Reaktor yang digunakan adalah reaktor yang susunannya terdiri atas aerasi, karbon aktif, dan filter pasir.
- c. Jenis karbon aktif yang digunakan adalah zeolit.
- d. Jenis pengaliran limbah yaitu secara Kontinyu
- e. Parameter yang diukur adalah merkuri (Hg) dengan variasi waktu pengambilan sampel 0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit ,120 menit dan 150 menit.

1.6 Sistematika Tugas Akhir

Pada tugas akhir ini dibagi dalam lima bab yang dimaksudkan untuk memberikan suatu kerangka tentang isi dari tugas akhir ini, sehingga dapat dihubungkan antara bab yang satu dengan yang lainnya. Sistematika penulisan Tugas Akhir secara garis besar adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pengantar permasalahan yang dibahas, seperti latar belakang masalah, identifikasi masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian dan manfaat penelitian.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini merupakan penjelasan mengenai teori – teori yang dipergunakan sebagai landasan untuk pemecahan permasalahan.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan mengenai metode – metode yang digunakan oleh peneliti dalam melakukan penelitian, mulai dari pengumpulan data sekunder dan primer, sampai pada tahapan pengerjaan.

BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisikan data – data hasil sampling, hasil pengolahan data dengan berbagai metode perhitungan yang diperoleh dari analisa laboratorium.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bagian terakhir yang berisikan kesimpulan dari hasil penelitian dan saran yang dianjurkan untuk pengembangan penelitian yang selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah cair

Proses pengelolaan limbah cair dapat dilakukan melalui beberapa cara yaitu secara fisik, kimia dan biologi. Saat ini cara metode kimia dan biologi atau gabungannya banyak digunakan dalam mengolah limbah cair. Semua ini dilakukan sesuai dengan karakteristik limbah cair.

Secara garis besar kegiatan pengolahan limbah cair dapat dikelompokkan menjadi 7 tingkatan (*Metcalf dan Eddy, 1991*) yaitu:

1. *Preliminary treatment.*

Pengolahan pendahuluan (*preliminary treatment*) adalah bersifat fisik atau mekanik yang berupa penyisihkan sampah/kotoran yang berukuran besar seperti kayu, potongan kain, sampah, lemak, dll yang dapat mengganggu proses pengolahan dan pemeliharaan.

2. *Primary treatment.*

Pengolahan ini bertujuan untuk menyisihkan padatan tersuspensi dan bahan organik dari limbah cair melalui pengendapan atau pengapungan. Dengan adanya pengendapan ini maka akan dapat mengurangi kebutuhan oksigen pada pengolahan biologis berikutnya dan pengendapan yang terjadi adalah pengendapan secara gravitasi.

3. *Advanced primary.*

Pengolahan ini bertujuan untuk meningkatkan penyisihan padatan tersuspensi & bahan organik dari limbah. Umumnya dilakukan dengan penambahan bahan kimia atau filtrasi.

4. *Secondary treatment.*

Pengolahan ini bertujuan untuk mengolah zat organik terlarut melalui biokimia oksidasi serta menyisihkan bahan organik yang dapat terdegradasi secara biologis.

5. *Advanced (tertiary) treatment.*

Pengolahan ini adalah kelanjutan dari pengolahan-pengolahan terdahulu. Oleh karena itu pengolahan ini baru akan dipergunakan apabila pada pengolahan pertama dan kedua masih banyak terdapat zat-zat tertentu. Tujuan dari pengolahan ini adalah untuk menyisihkan residu padatan tersuspensi (setelah *secondary treatment*) biasanya dengan penyaringan media granular atau *mikroscreen* maupun penyerapan (*adsorption*)

6. *Sludge treatment and disposal*

7. *Wastewater disposal and reuse.*

2.2 Merkuri (Hg)

2.2.1 Sifat-Sifat Merkuri

Merkuri (Hg) adalah unsur-unsur renik pada kerak bumi, yakni hanya sekitar 0,08 mg/kg (Moore, 1991). Pada perairan alami merkuri juga hanya ditemukan dalam jumlah yang sangat kecil. Merkuri merupakan satu-satunya

logam yang berada dalam bentuk cairan pada suhu normal. Merkuri terserap dalam bahan-bahan partikulat dan mengalami presipitasi. Pada dasar perairan anaerobik, merkuri berikatan dengan sulfur.

Sifat-sifat kimia dan fisika 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 rendah dibanding logam lain, yaitu -39°C .
2. Kisaran suhu dimana 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 dalam merkuri membentuk komponen yang disebut dengan amalgam.
6. Merkuri dan komponen-komponen bersifat racun terhadap semua makhluk hidup.

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

2.2.2 Pencemaran Merkuri (Hg) di Lingkungan

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

Disamping 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 Pb, As, Cd, Cr dan Ni (Kristianto, 2002).

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

Kasus keracunan merkuri yang cukup terkenal adalah kasus yang terjadi di Teluk Minamata, Jepang pada tahun 1950-an. Industri kimia yang beroperasi di sekitar teluk Minamata membuang limbah yang mengandung merkuri ke perairan teluk. 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 (Sawyer dan McCarty, 1978).

Senyawa merkuri bersifat toksik bagi ikan dan biota akuatik lainnya karena dapat mengalami biomagnifikasi pada jalan makanan. Organisme yang berada pada rantai makanan yang paling tinggi (*top carnivora*) memiliki kadar merkuri yang lebih tinggi daripada organisme yang ada dibawahnya.

2.2.3 Dampak Pencemaran Merkuri Bagi Kesehatan

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 (Kristanto,2002).

Metil merkuri pada umumnya terakumulasi pada system jaringan syaraf pusat. Akumulasi paling tinggi ditemukan pada bagian *cortex* dan *cerebellum*, yaitu merupakan bagian otak. Seperti yang terjadi pada kasus minamata senyawa alkali merkuri masuk bersama makanan melalui plasenta karena dibawa oleh peredaran darah ke janin sehingga pada saat lahir bayi menjadi cacat.

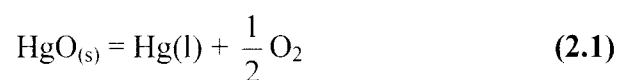
2.3 Reaktor Aerokarbonfilter

Reaktor yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan prinsip-prinsip dari beberapa unit pengolahan yaitu, aerasi, karbon aktif, dan filtrasi yang digabungkan menjadi satu kesatuan. Berdasarkan dari penelitian terdahulu dengan menggunakan reaktor yang sama, dengan kombinasi zeolit dan karbon aktif untuk mengolah air tanah dalam menurunkan konsentrasi Fe dan Mn diperoleh efisiensi 100%, yaitu dari konsentrasi awal 0,888 mg/L menjadi konsentrasi *effluent* 0 mg/L dan efisiensi 94,23%, yaitu dari konsentrasi awal 1,230 mg/L menjadi 0,071 mg/L (Warih, 2006). Penelitian terdahulu juga dilakukan untuk menurunkan konsentrasi logam Cr serta Tss dari limbah penyamakan kulit, dengan efisiensi 93,32% (menggunkan zeolit), 95,15% (menggunkan karbon aktif), efisiensi Tss mencapai 94 % dengan penurunan dari

2130 mg/ltr menjadi 258 mg/ltr (Hakim, 2006). Sedangkan penelitian dalam menurunkan konsentrasi COD, TSS, dan warna pada limbah cair industri batik diperoleh efisiensi COD sebesar 87,16 %, efisiensi TSS sebesar 91,67% serta efisiensi warna sebesar 100% (Ahmat Nur, 2006).

Berdasarkan pada penelitian-penelitian terdahulu tersebut, maka pada penelitian ini akan dicoba dengan menggunakan reaktor yang sama untuk menurunkan konsentrasi logam merkuri (Hg) pada limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia, dan diharapkan dari penelitian ini dapat diketahui tingkat efektifitasnya dalam menurunkan kandungan logam merkuri (Hg) pada limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia. Secara garis besar mekanisme serta fenomena yang terjadi dalam reaktor aerokarbonfilter dalam menurunkan konsentrasi merkuri memiliki efisiensi yang tinggi dalam menurunkan konsentrasi merkuri. Didalam reaktor ini terjadi proses antara lain :

- 1) Pengikatan merkuri oleh udara bebas yang dikontakkan, dimana udara bebas itu mengandung senyawa terbesar yaitu nitrogen yang dengan kecepatan tertentu akan dapat mengikat merkuri sehingga akan terbentuk suatu logam yang dapat diendapkan.
- 2) Hg dapat bereaksi dengan O_2 pada suhu $25^{\circ}C$ sehingga terbentuk HgO yang berupa endapan hitam. Akan tetapi bila Hg bereaksi dengan O_2 pada suhu $400^{\circ}C$ maka senyawa akan terdekomposisi menjadi unsur-unsurnya (Achmad, H, 1992):



- 3) Terjadi proses adsorpsi oleh media penyerap (adsorbant) dalam hal ini adalah zeolit, dimana zeolit sendiri memiliki struktur "framework" tiga dimensi dan menunjukkan sifat penukar ion, sorpsi, "molecular sieving" dan katalis sehingga memungkinkan digunakan dalam menurunkan konsentrasi logam berat seperti merkuri. Selain itu zeolit juga mempunyai luas permukaan yang besar, sehingga mampu menurunkan Hg dalam konsentrasi yang tinggi. Zeolit selain sebagai Adsorpsi, juga mempunyai sifat sebagai penukar ion, katalis, serta penyaring.
- 4) Mekanisme penurunan yang terjadi pada proses filtrasi yaitu selain sebagai *Mechanical Straining*, yaitu proses penyaringan partikel *suspended matter* yang terlalu besar, didalam filtrasi juga terjadi fenomena adsorpsi. Filtrasi disini juga sebagai penyaring endapan-endapan logam yang lolos dari proses sebelumnya.

Pada akhir proses yang terjadi pada reaktor aerokarbonfilter diharapkan terjadi efisiensi penurunan konsentrasi logam merkuri yang sangat tinggi. Hal ini dapat di lihat dari fenomena yang terjadi disetiap bagian dari reaktor aerokarbonfilter tersebut.

2.4 Aerasi

Adalah fenomena fisik dimana terjadi pertukaran molekul-molekul gas di udara dengan cairan pada gas-liquid interface. Pertukaran tersebut menyebabkan konsentrasi molekul gas di dalam cairan mencapai titik jenuh. Karena pertukaran gas hanya terjadi pada permukaan (interface), maka proses tersebut harus

dilakukan dengan kontak sebanyak-banyaknya antara ke dua permukaan tersebut. Atau dengan kata lain aerasi adalah proses pengolahan air dengan mengontakkannya dengan udara. Sasaran yang utama adalah memaksimalkan luas dari permukaan air ke udara. Dengan maksud perpindahan efisien terbesar dari satu medium ke medium yang lain. Hal ini sangat penting agar dalam proses ini cukup berlangsung percampuran antara air dengan udara (Walker, 1978).

Pengambilan zat pencemar yang terkandung di dalam air merupakan tujuan pengolahan air. Penambahan oksigen adalah salah satu usaha dari pengambilan zat pencemar tersebut, sehingga konsentrasi zat pencemar akan berkurang atau bahkan dapat dihilangkan sama sekali. Zat yang diambil dapat berupa gas, cairan, ion, koloid atau bahan tercemar.

Aerasi bertujuan untuk (Agustjik, 1991) :

1. Mengurangi *taste and odor*
2. Mengurangi sifat korosif air (CO_2)
3. Menghilangkan gas-gas terlarut yang tidak dikehendaki (H_2S , NH_3 , VOC)
4. Oksidasi senyawa-senyawa terlarut dalam air (Fe, Mn dll).
5. Penambahan jumlah oksigen
6. Penurunan jumlah karbon dioksida (CO_2)
7. Menghilangkan hidrogen sulfida (H_2S), metan (CH_4) dan berbagai senyawa organik yang bersifat volatile (menguap) yang berkaitan untuk rasa dan bau.

2.4.1 Mekanisme transfer gas

Gas-gas yang terlarut di dalam bahan cair akan mencari kondisi *equilibrium* atau seimbang. Konsentrasi gas yang terlarut di dalam bahan cair pada keadaan setimbang disebut nilai penjumlahan (C_s). Nilai penjumlahan gas bergantung pada temperatur bahan cair, tekanan gas sebagian, dan konsentrasi bahan-bahan padat yang terlarut dalam bahan cair. Nilai penjumlahan secara langsung seimbang dengan tekanan sebagian dan secara terbalik seimbang dengan temperatur dan konsentrasi bahan-bahan padat terlarut.

Perbedaan antara nilai penjumlahan dan konsentrasi aktual memberikan kekuatan dorong untuk pertukaran gas-gas dari sifat gas menjadi sifat terlarut dan demikian pula sebaliknya. Tingkat pertukaran secara langsung seimbang dengan perbedaan antara konsentrasi aktual dan nilai penjumlahan.

Tingkat pemindahan gas untuk seluruh interface atau bidang pemisah zat cair-gas pada umumnya dinyatakan dalam persamaan integrasi sebagai berikut :

$$\frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C_o) \quad (2.2)$$

$$(C_s - C) = (C_s - C_o) e^{-K_L a \cdot t} \quad (2.3)$$

dimana :

$$\frac{dC}{dt} = \text{Tingkat perubahan pada konsentrasi (mg/L-s)}$$

$$K_L a = \text{Keseluruhan koefisien pemindahan masa (/s)}$$

$$C_s = \text{Konsentrasi penjumlahan (mg/L)}$$

C = Konsentrasi pada setiap waktu

C_0 = Konsentrasi pada awal pada $t = 0$ (mg/L)

Koefisien transfer gas ($K_{L,a}$) adalah nilai variabel yang bergantung pada hubungan yang kompleks, termasuk temperatur, area melalui gas yang dipencar, volume zat air yang bersentuhan, dan koefisien pemencaran gas. Nilai $K_{L,a}$ bergantung pada temperatur, yaitu nilai $K_{L,a}$ akan meningkat jika suhu dinaikan. Nilai $K_{L,a}$ yang besar akan memberikan efisiensi yang lebih baik serta nilai oksigen terlarut pun besar. Selain itu, nilai $K_{L,a}$ dipengaruhi oleh kekeruhan air.

Dari persamaan (2.2) dan (2.3), pertimbangan penting dalam desain reaktor yang dikembangkan sebagai berikut :

1. Kecepatan gas transfer berbanding langsung dengan luas kontak per unit volume. Peralatan aerasi yang ideal akan memaksimumkan luas kontakannya. Misal untuk aerator cascade, terjunan yang lebih tinggi akan meningkatkan luas kontak. Untuk spray aerator, nozzle yang menghasilkan butiran yang lebih kecil memberikan luas kontak yang lebih besar.
2. Kecepatan transfer gas juga berbanding langsung dengan waktu kontak, sehingga unit aerator harus memperbesar waktu kontakannya.
3. Kecepatan transfer gas terhadap perbedaan antara konsentrasi jenuh dan konsentrasi awal dari gas ($C_s - C_0$). Konsentrasi jenuh tergantung pada faktor-faktor yang telah disebutkan diatas.

Kapasitas oksigenasi (OC) yaitu sejumlah oksigen yang masuk ke dalam suatu sistem aerasi. Kemungkinan adanya kenaikan O_2 dalam volume limbah cair

(m^3), sehingga kapasitas oksigenasi OC (g/detik) dalam suatu sistem aerasi diperoleh sebagai perkalian OC dengan volume air :

$$OC = K_L a \times Cs \text{ volume limbah cair} \quad (2.4)$$

2.4.2 Jenis-Jenis Aerasi

Berikut adalah jenis-jenis aerasi :

1. *Gravity aerator*

Gravity aerator menggunakan bendungan (*weirs*), air terjun (*water falls*), air terjun kecil (*cascades*), bidang miring dengan piringan penderas, menara vertikal dengan udara yang naik, menara piringan yang dilubangi (*perporated filled towers*), atau *packed towers filled* dengan media kontak seperti *coke* atau batu (*stone*), diantaranya :

a. *Multiple Tray aerator*

Aerator ini perlengkapannya sangat sederhana dan persiapannya tidak mahal serta membutuhkan lahan yang kecil. Tipe ini terdiri dari 4-8 tray dengan lubang dibagian bawah pada interval 30-50 cm. Lubang air dibuat sama dengan tray yang di atasnya, dan aliran ke bawahnya rata-rata sekitar $0.02 \text{ m}^3/\text{detik}$. Air diterjunkan dan dikumpulkan lagi pada tiap-tiap tray. Tray dapat dibuat dari beberapa bahan yang sesuai seperti papan asbes yang berlubang-lubang, pipa-pipa plastik dengan diameter kecil atau bilah-bilah kayu yang disusun paralel (Agustjik, 1991).

b. *Cascade aerator*

Aerator ini terdiri dari 4 – 6 anak tangga, ketinggian masing-masing sekitar 10 cm dengan kapasitas sekitar $0,01 \text{ m}^3/\text{detik}$. Untuk turbulensi dan meningkatkan efisiensi aerasi, rintangan-rintangan seringkali ditempatkan pada ujung tiap anak tangga. Dibandingkan dengan *tray aerator* memerlukan ruang yang lebih luas tetapi mempunyai *headloss* lebih rendah. (Holden, 1970).

c. *Multiple platform aerator*

Aerator ini menggunakan prinsip yang sama dengan *cascade aerator*. Piringan berlapis (*platform*) untuk terjunan air dibuat terbuka sehingga air dapat kontak dengan udara.

2. *Spray aerator*

Merupakan aerasi yang dapat menghasilkan semprotan air, sehingga yang jatuh keluar akan berupa butiran-butiran. Hal ini sangat menguntungkan karena air yang dihasilkan semakin kecil, karena dengan butiran yang kecil permukaan air yang kontak langsung dengan udara semakin luas.

3. *Diffused-air aerator*

Tipe ini terdiri dari sebuah basin dengan pipa-pipa perlokasi, tabung-tabung porous yang digunakan untuk memompakan udara yang akan dilewatkan ke air, sehingga air tersebut teraerasikan. Tingkat terjadinya gelembung-gelembung itu banyak dipengaruhi oleh *spray aerator*, tetapi meskipun demikian udara harus ditekan diatas tekanan kedalaman air dimana difusi itu ditetapkan.

4. *Mechanical aerator*

Aerator tipe ini terdiri dari sebuah propeler seperti daun pengaduk terpasang pada ujung sumbu vertikal yang dikendalikan oleh sebuah motor. Akibat putaran daun pengaduk yang cepat di dalam air, maka terjadi pencampuran antara udara dan air. Tipe-tipe aerator mekanik pada umumnya yaitu aerator permukaan (tipe air ke dalam udara), aerator rendam (tipe udara ke dalam air), dan aerator kombinasi.

2.5 Karbon 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). Proses karbon aktif merupakan salah satu proses penyaringan air limbah terutama setelah mengalami proses biologi atau proses fisika kimia.

Karbon aktif adalah karbon yang diproses sedemikian rupa sehingga pori-porinya terbuka, dan dengan demikian akan mempunyai daya serap yang tinggi. Karbon aktif merupakan karbon yang akan membentuk amorf, yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas serta memiliki permukaan dalam (*internal surface*), sehingga mempunyai daya serap yang lebih baik. Keaktifan menyerap dari karbon aktif ini tergantung dari jumlah senyawa karbonnya yang berkisar antara 85% sampai 95% karbon bebas.

Karbon aktif berwarna hitam, tidak berbau, tidak berasa, dan mempunyai daya serap yang jauh lebih besar dibandingkan dengan karbon yang belum menjalani proses aktivasi, serta mempunyai permukaan yang luas, yaitu antara 300 sampai 2000 m²/gram. Luas permukaan yang luas disebabkan karbon mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) yang berongga, sehingga mempunyai kemampuan menyerap gas dan uap atau zat yang berada didalam suatu larutan.

2.5.1 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).

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 (Cheremisinof, 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.

Struktur pori adalah faktor utama dalam proses adsorpsi. Distribusi ukuran pori menentukan molekul yang masuk dalam partikel karbon untuk diadsorb.

Ada dua macam pori dalam partikel karbon aktif yaitu *mikropore* dengan diameter 10-1000 Å dan *makropore* dengan diameter >1000 Å (Cheremisinof, 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 karbon aktif lebih kecil dari 200 mesh dan *granular* jika diameter karbon aktif berukuran lebih besar dari 0,1 mm. (Metcalf dan Eddy, 1991).

a. Pengolahan dengan karbon aktif *powder* (serbuk).

Karbon aktif ini berbentuk serbuk. Luas permukaannya lebih besar dibandingkan dengan karbon aktif butiran, sehingga kecepatan adsorpsinya juga menjadi lebih besar (A.Abrams, et al, 1966). Karbon aktif serbuk dapat digunakan secara langsung pada proses fisik dan kimia. Setelah beberapa lama terjadi kontak maka karbon akan mengendap pada dasar bak pengolahan (Tchobanoglous, 1983).

Penggunaan karbon aktif disini dilakukan dengan cara menaburkan bubuk ini ke dalam saluran yang berasal dari pengolahan biologis. Pengontakkan ini biasanya diletakkan pada bak tertentu, setelah bubuk tercampur maka gaya beratnya akan mengendap dengan membawa partikel terlarut dan partikel tercampur. Agar menjadikan bahan ini lebih ekonomis, maka karbon aktif dapat dipergunakan kembali setelah dipakai dengan cara melakukan oksidasi dengan tekanan tinggi. Pada proses regenerasi ini biasanya karbon aktif akan hancur sebanyak 5-10%. Karbon aktif jenis ini yang paling sulit untuk regenerasi.

Salah satu kerugian menggunakan karbon aktif berbentuk bubuk adalah kemungkinan terjadinya penyumbatan lebih besar karena karbon aktif bercampur dengan bubuk.

b. **Karbon aktif berbentuk Granular (butiran).**

Karbon aktif berbentuk granular ditetapkan dalam ukuran mesh. Kecepatan adsorbsinya lebih kecil dibandingkan dengan karbon aktif berbentuk serbuk karena luas permukaan totalnya lebih sedikit dibandingkan karbon aktif berbentuk serbuk, dimana luas permukaan total akan mempengaruhi kapasitas adsorpsi. Karbon aktif berbentuk granular dipakai untuk memisahkan kontaminan dalam air buangan seperti fenol, insektisida, trinitrotolune (TNT), deterjen, warna dan logam berat lainnya (A. Abrams, et al, 1996).

Adsorpsi dengan menggunakan karbon aktif butiran (granular) dapat menggunakan system *batch*, *column* atau *fluideized bed*. System kontak yang umum digunakan adalah *fixed bed* atau *contercurrent moving bed* (reynold, 1982).

Adapun 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 pengolahan lagi yaitu filter.

2. Luas permukaan kontak persatuan berat lebih kecil karena ukuran butiran karbon besar.

2.5.2 Struktur Karbon Aktif

Sifat adsorpsi karbon aktif tidak hanya ditentukan oleh struktur porinya, tetapi ditentukan juga oleh komposisi kimianya. Misalnya ketidak teraturan struktur mikrokristal elementer, karena adanya lapisan karbon yang terbakar tidak sempurna (terbakar sebagian), akan mengubah susunan awal elektron dalam rangka karbon. Akibatnya akan terjadi elektron tak berpasangan, keadaan ini akan mempengaruhi sifat adsorpsi karbon aktif, terutama senyawa polar atau yang dapat terpolarisasi. Jenis ketidakaturan yang lain adalah adanya hetero atom didalam struktur karbon.

Karbon aktif mengandung elemen-elemen yang terikat secara kimia, seperti oksigen dan hidrogen. Elemen-elemen ini dapat berasal dari bahan baku yang tertinggal akibat tidak sempurnanya proses karbonisasi, atau pula dapat terikat secara kimia pada proses aktivasi. Demikian pula adanya kandungan abu yang bukan bagian organik dari produk. Untuk tiap-tiap jenis karbon aktif kandungan abu dan komposisinya ada bermacam-macam. Adsorpsi elektrolit dan non elektrolit dari larutan dari karbon aktif, juga dipengaruhi oleh adanya sejumlah kecil abu. Adanya oksigen dan hidrogen mempunyai pengaruh besar pada sifat-sifat karbon aktif. Elemen-elemen ini berkombinasi dengan atom-atom karbon membentuk gugus-gugus fungsional tertentu. Gugus yang biasanya terdapat pada permukaan atom adalah : (1) gugus karboksilat, (2) gugus hidroksi

fenol, (3) gugus kuinon tipe karbonil (4) normal lakton, (5) lakton tipe fluoresein, (6) asam karbosilat anhidrit dan peroksida siklis.

2.5.3 Daya Serap Karbon Aktif.

Proses adsorpsi terjadi pada bagian permukaan antara padatan-padatan, padatan-cairan, cairan-cairan, atau cairan-gas. Adsorpsi dengan bahan padat seperti karbon, tergantung pada luasan permukaannya.

Sifat daya serap karbon aktif terbagi atas dua jenis, yaitu daya serap fisika dan daya serap kimia. Beberapa teori yang menerangkan tentang gejala daya serap yang sebenarnya, belum cukup untuk mengemukakan tentang terjadinya daya serap pada karbon aktif.

Karbon aktif dapat menyerap senyawa organik maupun anorganik, tetapi mekanisme penyerapan senyawa tersebut belum semua diketahui dengan jelas. Mekanisme penyerapan yang telah diketahui antara lain penyerapan golongan fenol dan aldehyd aromatis maupun derivatnya. Senyawa fenol-aldehyd maupun derivatnya terserap oleh karbon karena adanya peristiwa donor-akseptor elektron. Gugus karbonil pada permukaan karbon bertindak sebagai donor elektron. Karena ada peristiwa tersebut, maka inti benzena akan berikatan dengan gugus karbonil pada permukaan berikut :

- a. Dengan adanya pori-pori mikro antar partikuler yang sangat banyak jumlahnya pada karbon aktif, akan menimbulkan gejala kapiler yang menyebabkan adanya daya serap. Selain itu distribusi ukuran pori merupakan faktor penting dalam menentukan kemampuan adsorpsi karbon aktif.

Misalnya, ukuran 20 angstrom dapat digunakan untuk menghilangkan campuran rasa dan bau, hanya lebih efektif untuk pembersihan gas, sedangkan untuk ukuran 20-100 angstrom efektif untuk menyerap warna.

- b. Pada kondisi yang bervariasi ternyata hanya sebagian permukaan yang mempunyai daya serap. Hal ini dapat terjadi karena permukaan karbon dianggap heterogen, sehingga hanya beberapa jenis zat yang dapat diserap oleh bagian permukaan yang lebih aktif, yang disebut pusat aktif.

Sedangkan faktor-faktor yang mempengaruhi adsorpsi adalah sebagai berikut :

- a. Karakteristik fisika dan kimia adsorben, antara lain : luas permukaan ukuran pori, komposisi kimia
- b. Karakteristik fisis dan kimia adsorbat, antara lain : ukuran molekul, polaritas molekul komposisi kimia.
- c. Konsentrasi adsorbat dalam fase cair.
- d. Sistem waktu adsorpsi.

2.5.4 Pasir Zeolit

2.5.4.1 Pengertian Zeolit

Mineral alam zeolit yang merupakan senyawa alumino-silikat dengan struktur sangkar terdapat di Indonesia dalam jumlah besar dengan bentuk hampir murni dan harga murah. Mineral zeolit mempunyai struktur "*framework*" tiga dimensi dan menunjukkan sifat penukar ion, sorpsi, "*molecular sieving*" dan katalis sehingga memungkinkan digunakan dalam pengolahan limbah industri, limbah nuklir dan limbah logam lainnya. Mineral alam zeolit biasanya masih

tercampur dengan mineral lainnya seperti kalsit, gipsum, feldspar dan kuarsa dan ditemukan di daerah sekitar gunung berapi atau mengendap pada daerah sumber air panas (*hot spring*). Zeolit juga ditemukan sebagai batuan endapan pada bagian tanah jenis basalt dan komposisi kimianya tergantung pada kondisi hidrotermal lingkungan lokal, seperti suhu, tekanan uap air setempat dan komposisi air tanah lokasi kejadiannya. Hal itu menjadikan zeolit dengan warna dan tekstur yang sama mungkin berbeda komposisi kimianya bila diambil dari lokasi yang berbeda, disebabkan karena kombinasi mineral yang berupa partikel halus dengan impuritis lainnya. Deposit mineral alam zeolit yang cukup besar ditemukan di beberapa negara seperti Amerika Serikat, Uni Soviet, Jepang, Australia, Kuba dan beberapa negara Eropa bagian timur seperti Ceko dan Hungaria. Di Indonesia, zeolit ditemukan pada tahun 1985 oleh PPTM Bandung dalam jumlah besar, diantaranya tersebar di beberapa daerah pulau Sumatera dan Jawa. Namun dari 46 lokasi zeolit, baru beberapa lokasi yang ditambang secara intensif antara lain di Bayah, Banten, Cikalong, Tasikmalaya, Cikembar, Sukabumi, Nanggung, Bogor dan Lampung. Pemanfaatan zeolit masih belum banyak diketahui secara luas, yang pada saat ini zeolit di Indonesia di pasarkan masih dalam bentuk alam terutama pada pemupukan bidang pertanian.

Istilah zeolit berasal dari kata *zein* (bahasa Yunani) yang berarti membuih dan *lithos* berarti batu. Nama ini sesuai dengan sifat yang membuih bila dipanaskan pada suhu 100° celcius.

2.5.4.2 Struktur dan Sifat Zeolit.

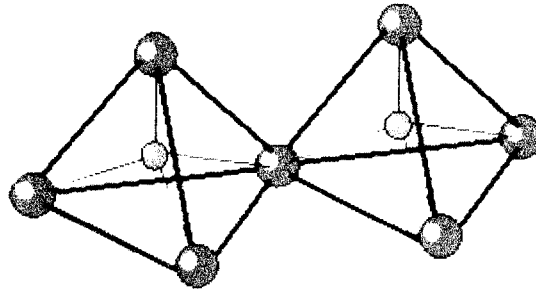
Mineral zeolit telah dikenal sejak tahun 1756 oleh Cronstedt ketika menemukan Stilbit yang bila dipanaskan seperti batuan mendidih (*boiling stone*) karena dehidrasi molekul air yang dikandungnya. Pada tahun 1954 zeolit diklasifikasi sebagai golongan mineral tersendiri, yang saat itu dikenal sebagai *molecular sieve materials*.

Pada tahun 1984 Professor Joseph V. Smith ahli kristalografi Amerika Serikat mendefinisikan zeolit sebagai :

"A zeolite is an aluminosilicate with a framework structure enclosing cavities occupied by large ions and water molecules, both of which have considerable freedom of movement, permitting ion-exchange and reversible dehydration".

Dengan demikian, zeolit merupakan mineral yang terdiri dari kristal alumino silikat terhidrasi yang mengandung kation alkali atau alkali tanah dalam kerangka tiga dimensi. Ion-ion logam tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit dan dapat menyerap air secara reversibel. Zeolit biasanya ditulis dengan rumus kimia oksida atau berdasarkan satuan sel kristal $M_{2/n}O \cdot Al_2O_3 \cdot a SiO_2 \cdot b H_2O$ atau $M_{c/n} \{(AlO_2)_c(SiO_2)_d\} \cdot b H_2O$. Dimana n adalah valensi logam, a dan b adalah molekul silikat dan air, c dan d adalah jumlah tetrahedra alumina dan silika. Rasio d/c atau SiO_2/Al_2O_3 bervariasi dari 1-5. Zeolit tidak dapat diidentifikasi hanya berdasarkan analisa komposisi kimianya saja, melainkan harus dianalisa strukturnya. Struktur kristal zeolit dimana semua atom Si dan Al dalam bentuk tetrahedra (TO_4) disebut Unit Bangun Primer, zeolit hanya dapat

diidentifikasi berdasarkan Unit Bangun Sekunder (UBS) sebagaimana terlihat pada Gambar berikut.



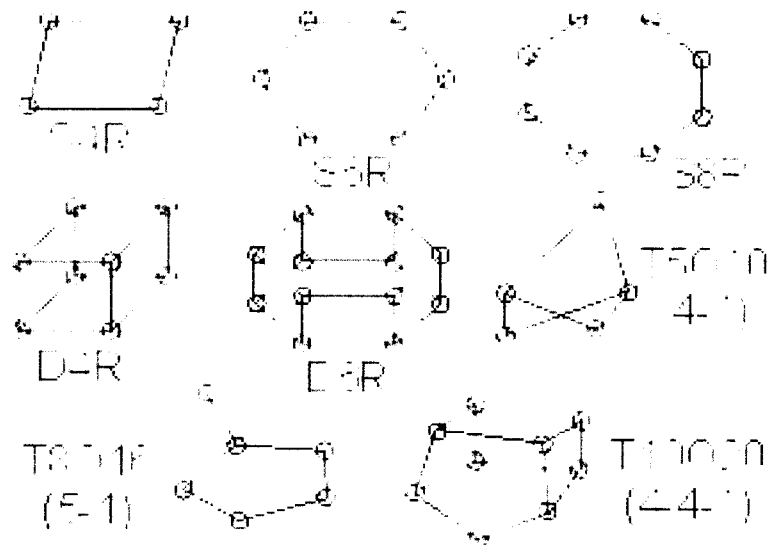
Gambar 2.1 Tetrahedra alumina dan silika (TO_4) pada struktur zeolit

Pada saat ini dikenal sekitar 40 jenis zeolit alam, meskipun yang mempunyai nilai komersial ada sekitar 12 jenis, diantaranya klinoptilolit, mordenit, filipsit, kabasit dan erionit. Zeolit sintetis dihasilkan dari beberapa perusahaan seperti Union Carbide, ICI dan Mobil Oil dan lebih dari 100 jenis telah dikenal strukturnya antara lain zeolit A, X, Y, grup ZSM/ $AlPO_4$ (*Zeolite Sieving Materials/Aluminium Phosphate*) dan bahkan akhir-akhir ini dikenal grup Zeotip, yaitu material seperti zeolit tetapi bukan senyawa alumino-silikat.

Berdasarkan UBS semua zeolit baik dalam bentuk alami atau sintetis dapat dibagi atas 9 grup yaitu:

1. single 4-ring (S4R)
2. single 6-ring (S6R)
3. single 8-ring (S8R)
4. double 4-ring (D4R)
5. double 6-ring (D6R)
6. double 8-ring (D8R)

7. complex 4-1 (T_5O_{10})
8. complex 5-1 (T_8O_{16})
9. complex 4-4-1 ($T_{10}O_{20}$)



Gambar 2.2 Unit Bangun Sekunder Struktur Zeolit

Tabel 2.1 Klasifikasi zeolit

Zeolit	Rumus kimia	UBS
Grup Analsim		
Analsim	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}]6\text{H}_2\text{O}$	S4R
Wairakit	$\text{Ca}_8[\text{Al}_{16}\text{Si}_{31}\text{O}_{96}] 6\text{H}_2\text{O}$	S4R
Grup Natrolit		
Natrolit	$\text{Na}_{16}[\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}]6 \text{H}_2\text{O}$	T_5O_{10} (4-1)
Thomsonit	$\text{Na}_{16}\text{Ca}_8[\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{80}]24 \text{H}_2\text{O}$	T_5O_{10}
Grup Heulandit		
Heulandit	$\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}] 24\text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_{10}\text{O}_{20}$ (4-4-1)
Klinoptilolit	$\text{Na}_6[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}]24 \text{H}_2\text{O}$	$\text{T}_{10}\text{O}_{20}$
Grup Filipsit		
Filipsit	$\text{K}_2\text{Ca}_{1.5}[\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}]12\text{H}_2\text{O}$	S4R
Zeolit Na-P-1	$\text{Na}_8[\text{Al}_{31}\text{SiO}_{16}] 16\text{H}_2\text{O}$	S4R
Grup Mordernit		
Mordernit	$\text{Na}_8[\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}]24 \text{H}_2\text{O}$	T_8O_{16} (5-1)
Ferrierit	$\text{NaCa}_{0.5}\text{Mg}_2[\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}]24 \text{H}_2\text{O}$	T_8O_{16}
Grup Kabazit		
Kabazit	$\text{Ca}_2[\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}] 13\text{H}_2\text{O}$	D4R,D6R
Zeolit L	$\text{K}_6\text{Na}_3[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] 21\text{H}_2\text{O}$	S6R

Grup Faujasit

Faujasit $\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11}[\text{Al}_{58}\text{Si}_{134}\text{O}_{384}]235\text{H}_2\text{O}$ D4R,D6R

Zeolit A $\text{Na}_{12}[\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}] 27 \text{H}_2\text{O}$ D4R, D6R

Grup

Laumontit

Laumontit $\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{46}] 16\text{H}_2\text{O}$ S4R,S6R,S8R

Grup Pentasil

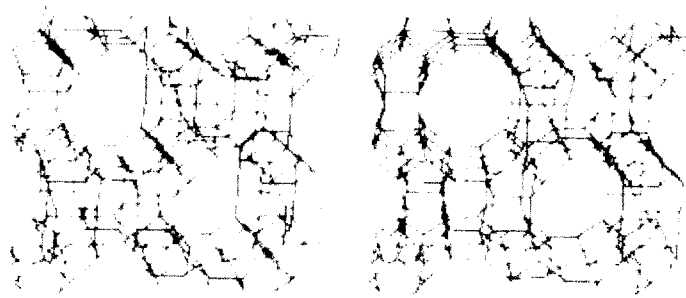
ZSM-5 $\text{Na}_n[\text{Al}_n\text{Si}_{96}\text{O}_{192}] 16 \text{H}_2\text{O}$ 5-1

Grup Zeotype

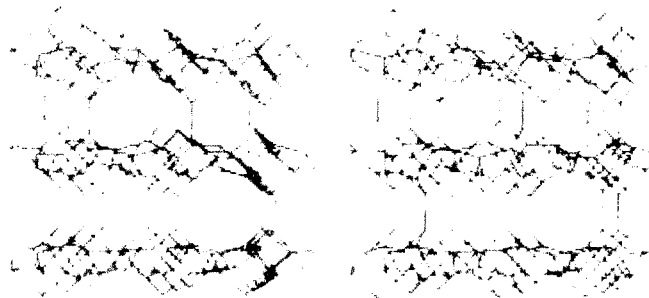
ALPO4-5 $[\text{Al}_{12} \text{P}_{12}\text{O}_{48}] (\text{C}_3\text{H}_7)_4 \text{NOH} q \text{H}_2\text{O}$ S4R, S6R

Pada struktur zeolit, semua atom Al dalam bentuk terahedra sehingga atom Al akan bermuatan negatif karena berkoordinasi dengan 4 atom oksigen dan selalu dinetralkan oleh kation alkali atau alkali tanah untuk mencapai senyawa yang stabil. Lain halnya dengan batuan lempung (*clay materials*) dengan struktur lapisan, dimana sifat pertukaran ionnya disebabkan oleh 1). *Brokend bonds* yaitu makin kecil partikel penyerapan makin besar, 2). Gugus hidroksid yang mana atom hidrogen dapat digantikan dengan kation lain atau 3). Substitusi isomorf Al pada terahedra Si menyebabkan ikatan Al-Si cukup kuat dan mengurangi *swelling*. Kemampuan pertukaran ion (dengan istilah kemampuan penyerapan ion atau sorpsi) zeolit merupakan parameter utama dalam menentukan kualitas zeolit yang akan digunakan, biasanya dikenal sebagai KTK (kemampuan tukar kation).

KTK adalah jumlah meq ion logam yang dapat diserap maksimum oleh 1 gr zeolit dalam kondisi kesetimbangan. Kemampuan tukar kation (KTK) dari zeolit bervariasi dari 1,5 sampai 6 meq/g. Nilai KTK zeolit ini banyak tergantung pada jumlah atom Al dalam struktur zeolit, yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan KTK batuan lempung, seperti kaolinit (0,03-015 meq/g), bentonit (0,80-1,50 meq/g) dan vermikulit (1-1,50 meq/g).



Gambar 2.3. Struktur stereotip mordenit



Gambar 2.4. Struktur stereotip klinoptilolit

Zeolit dengan struktur "framework" mempunyai luas permukaan yang besar dan mempunyai saluran yang dapat menyaring ion/molekul (*molecular sieving*). Bila atom Al dinetralsir dengan ion polivalen, misalnya logam Pt, Cu dsb, zeolit dapat berfungsi sebagai katalis yang banyak digunakan pada reaksi-

reaksi petrokimia. Tabel 2.2 memperlihatkan klasifikasi zeolit berdasarkan kemampuan terhadap penyaringan molekul organik. Zeolit khabazit yang mempunyai pori 0,489-0,588 nm dan dapat digunakan untuk memisahkan senyawa parafin seperti CH₄ dan C₂H₆, n-parafin dan iso-parafin dan aromatis. Zeolit Na-mordenit dengan pori 0,400-0,489 nm dapat memisahkan gas N₂, O₂, CH₄, C₂H₆ dengan n-parafin, iso-parafin dan aromatis. Begitu pula Ca dan Ba-Mordenite yang mempunyai pori 0,384-0,400 dapat memisahkan hidrokarbon, CH₄ dengan gas Ar dan N₂. Sifat katalitis zeolit disebabkan uni kation pada atom Al zeolit yang dapat dipertukarkan dengan ion H dan aktif sebagai katalisis reaksi.

Tabel 2.2 Klasifikasi "ion/ molecular sieve material"

Diameter (nm)	Jenis	Penyaring	Tak disaring
0.489 - 0.558	Khabazit	CH ₄ , C ₂ H ₆ , nparaffins	iso-parafin
0.400 - 0.489	Mordenit	N ₂ , O ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆	n-parafin,aromatik
0.384 - 0.400	Ca-mordenit	gas Ar, N ₂	hidro karbon, CH ₄

Secara umum sifat Zeolit adalah sebagai berikut :

a. Dehidrasi

Sifat dehidrasi dari zeolit berpengaruh terhadap sifat adsorbsinya. Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam permukaan rongga yang menyebabkan medan listrik meluas kedalam rongga utama dan efektif terinteraksi dengan molekul yang diadsorbsi. Jumlah molekul air sesuai dengan jumlah pori-pori

atau volume ruang hampa yang terbentuk apabila unit sel kristal tersebut dipanaskan

b. Adsorpsi

Dalam keadaan normal ruang hampa dalam kristal zeolit terisi oleh molekul air bebas yang berada disekitar kation. Apabila kristal zeolit dipanaskan pada suhu 300° - 400° celcius maka air tersebut akan keluar sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas atau cairan. Selain mampu menyerap gas atau zat, zeolit juga mampu memisahkan molekul zat berdasarkan ukuran dan kepolarannya.

c. Penukaran Ion

Ion-ion pada rongga atau kerangka elektrolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion ini akan bergerak bebas sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan maupun jenis zeolitnya. Penukaran kation dapat menyebabkan perubahan beberapa sifat zeolit seperti stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktivitas katalis.

d. Katalis

Ciri khusus zeolit yang secara praktis menentukan sifat khusus mineral ini adalah adanya ruang kosong yang membentuk saluran di dalam struktur. Apabila zeolit digunakan pada proses penyerapan atau katalis maka akan terjadi difusi molekul ke dalam ruang bebas diantara kristal. Zeolit merupakan katalisator yang baik karena mempunyai pori-pori besar dan permukaan yang maksimum.

e. Penyaring / pemisah

Zeolit dapat memisahkan molekul gas atau zat lain dari campuran tertentu, karena mempunyai ruang hampa yang cukup besar dengan garis tengah yang bermacam-macam (berkisar antara 2A-8A tergantung dari jenis zeolit). Volume dan ukuran ruang hampa dalam kisi-kisi kristal ini menjadi dasar kemampuan zeolit untuk bertindak sebagai penyaring.

2.5.4.3 Manfaat Zeolit dalam pengolahan limbah industri dan nuklir.

Untuk pemisahan ammonia/ammonium ion dari air limbah industri, untuk pemisahan hasil fisi dari limbah radioaktif dan penggunaan dibidang limbah pertanian. Clinoptilolit dapat memisahkan 99% amoniak/ ammonium dari limbah industri. Tsitsisvii (1980) dan Blanchard (1984) menemukan clinoptilolite juga dapat memisahkan logam berat (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Ni dan Hg) baik dalam limbah industri ataupun dalam tanah pertanian untuk "*soil conditioning*". Dalam pengolahan limbah nuklir, Ames dari tahun 1959-1962 telah meneliti penggunaan clinoptilolite untuk pemisahan zat radioaktif. Terakhir clinoptilolite juga telah dipakai untuk dekontaminasi air pendingin reaktor pada kecelakaan reaktor *Three Mile Island* di Amerika pada tahun 1979 (10). Zeolit juga digunakan untuk dekontaminasi air pendingin reaktor *Three Mile Island* Unit II dan pada tahun 1987 untuk penyerapan gas radioaktif reaktor Chernobiel yang terbakar.

Zeolit dari deposit California digunakan untuk pemisahan radionuklida hasil fisi dalam air kolam penyimpanan bahan bakar nuklir di SIXEP (Site Ion-Exchange Plant) British Nuclear Fuel Limited, Sellafield, Inggris disamping untuk pengganti pasir digunakan campuran zeolit, fly ash dan slug pada proses sementasi limbah.

Di Inggris dan Korea, limbah sementasi tidak menggunakan pasir dengan pertimbangan pasir akan meningkatkan volume limbah yang bertentangan dengan prinsip "*minimized waste*" atau reduksi volume. Beberapa mineral anorganik banyak diteliti di Cina seperti jenis mineral fosfat, oksida, magnetit yang dilakukan tidak hanya untuk penyerapan nuklida hasil fisi tetapi juga untuk penyerapan Pu, Am dan Ce dalam simulasi limbah dengan keasaman dan kandungan garam tinggi. Hasilnya menunjukkan penyerapan terhadap nuklida umumnya rendah kecuali mineral apatit yang menunjukkan penyerapan tinggi terhadap Pu, Am dan Ce.

Untuk penyerapan Cs dan Sr, Balek dari Ceko, menggunakannya untuk penyerapan Cs, Co dan Ru. Zeolit yang sama juga digunakan untuk menyerap gas RuO_4 pada suhu 50°C dan suhu kamar. Tsitsisvii (1980) dan Blanchard (1984) menemukan klinoptilolit yang dapat memisahkan logam berat (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Ni dan Hg) baik dalam limbah industri. Akhir-akhir ini, para peneliti banyak mempelajari prospek zeolit dalam pengelolaan limbah industri. Klinoptilolit dan mordenit dapat memisahkan 99% amoniak/ammonium dari limbah industri.

2.5.4.4 Manfaat Zeolit dibidang Proses Industri

Berdasarkan sifat sorpsinya terhadap gas dan hidrasi molekul air, zeolit digunakan untuk pengeringan pada berbagai produk industri. Molekul uap air dapat diserap sebanyak 8-10 g dengan 100 g klinoptilolit dibandingkan 3 g dan 1,2 g oleh Al_2O_3 dan gel silika dengan berat yang sama pada kondisi 1,33 atm dan

25°C. Zeolit klinoptilolit yang diaktivasi pada suhu 300 - 350 °C selama 2-3 jam .

Sebagai "*drying agent*" dari senyawa organik, zeolit digunakan antara lain :

- Pada proses pemurnian metil khlorida dalam industri karet
- Pemurnian fraksi alkohol, metanol, benzen, xylene, LPG dan LNG pada industri petro- kimia
- Untuk hidrokarbon propellents-fillers aerosol untuk pengganti freons
- Penyerap klorin, bromin dan fluorin
- Menurunkan humiditas ruangan.

Zeolit digunakan dalam proses penyerapan gas seperti :

- Gas mulia antara lain Ar, Kr dan gas He,
- Gas rumah kaca (NH_3 , CO_2 , SO_2 , SO_3 dan no_x),
- Gas organik CS_2 , CH_4 , CH_3CN , CH_3OH , termasuk pirogas dan fraksi etana/etilen,
- Pemurnian udara bersih mengandung O_2 ,
- Penyerapan gas N_2 dari udara sehingga meningkatkan kemurnian O_2 diudara,
- Campuran filter pada rokok,
- Penyerapan gas dan penghilangan warna dari cairan gula pada pabrik gula.

Dalam bidang katalis, sorben Al_2O_3 biasanya digunakan tetapi akhir-akhir ini juga digunakan zeolit A dalam industri petrokimia pada proses isomerisasi, hidro sulfurisasi, hidrocracking, hidrogenasi, reforming, dehidrasi, dehidrogenasi

dan de-alkilasi, cracking parafin, disportion toluen/benzen dan xylen. Zeolit mordenite klinoptilolit sering digunakan, sedangkan zeolit sintetik terutama digunakan jenis ZSM 5 dan zeolit A.

Dengan adanya kekawatiran pencemaran lingkungan oleh polifosfat yang biasa digunakan dalam deterjen sebagai "builder" untuk meningkatkan efisiensi ditergen pada air yang mengandung Ca dan Mg tinggi. Saat sekarang, zeolit klinoptilolit juga digunakan sebagai pengganti polifosfat. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan zeolit A pada deterjen ternyata tidak menyebabkan akumulasi pada sistim air buangan, zeolit berlaku seperti partikel padat dan tidak bersifat toksik terhadap kehidupan di air. Di Jepang, klinoptilolit digunakan untuk filler kertas, karet dan polimer untuk memperoleh material "low density". Di Amerika Serikat, zeolit alam juga digunakan untuk campuran pada semen dan Tchernev telah mendemonstrasikan penggunaan zeolit yang sama untuk "solar heating/cooling" pada panel energi cahaya matahari berdasarkan adsorpsi/desorpsi molekul air diwaktu siang dan malam hari.

2.5.4.5 Manfaat Zeolit dibidang Pertanian dan Lingkungan

Makin meningkatnya kebutuhan pupuk kimia seperti urea, KCl dan SP-36 yang pada saat ini yang sulit terbeli oleh masyarakat untuk digunakan dalam peningkatan hasil pertaniannya, pada hal dalam pelaksanaan pemupukan hanya sekitar 50% pupuk yang dapat diserap oleh tanaman, sedangkan sebagian lainnya mengalami degradasi atau terbawa hanyut oleh air tanah sehingga pemupukan

tidak efisien yang juga akan mencemari lingkungan dengan kandungan N, S dan P.

Zeolit digunakan sebagai "*soil conditioning*" yang dapat mengontrol dan menaikkan pH tanah serta kelembaban tanah. Dalam pengalaman petani di Jepang, penambahan zeolit pada pupuk tanaman bervariasi dari 15-63% terutama untuk tanaman apel dan gandum. Penambahan zeolit pada pupuk kandang ternyata juga akan meningkatkan proses nitrifikasi. Pada saat ini bidang pertanian merupakan pemakai zeolit terbesar di Indonesia. Disamping untuk "*slow release fertilizer*", zeolit juga digunakan untuk sebagai carrier pestisida/herbisida dan fungisida. Namun ada keraguan penambahan zeolit pada pupuk akan terjadi akumulasi zeolit pada lahan pertanian. Jumlah penambahan zeolit ini akan tergantung pada jenis tanah setempat. Untuk tanah arid dan semi desert penggunaan zeolit sebagai campuran pupuk mungkin perlu dikurangi.

Dalam bidang peternakan, zeolit juga digunakan sebagai "*food supplement*" pada ternak ruminansia dan non-ruminansia masing-masing dengan dosis 2.5 - 5% dari rasio pakan perhari yang dapat meningkatkan produktivitas baik susu, daging dan telur, laju pertumbuhan serta memperbaiki kondisi lingkungan kandang dari bau yang tidak sedap. Dalam hal fauna laut, zeolit berperan sebagai pengontrol pH air dan penyerap NH_3NO_3^- dan H_2S , filter air masuk ke tambak, pengontrol kandungan alkali, oksigen dan perbaikan lahan dasar tambak melalui penyerapan logam berat Pb, Fe, Hg, Sn, Bi dan As. Selektivitas penyerapan ion sangat penting ditentukan mengingat kompleksnya komposisi kimia air (air tanah, permukaan, air limbah) yang diperlakukan

terhadap zeolit baik dalam penggunaannya pada bidang pertanian dan lingkungan. Zeolit juga pernah ditaburkan dari pesawat terbang diatas reaktor Chernobil untuk maksud menyerap hasil fisi yang terdapat dalam jatuhan debu radioaktif (*fall out*) akibat kebakaran reaktor Sovyet tahun 1985 .

2.5.5 Adsorpsi

2.5.5.1 Pengertian adsorpsi

Adsorpsi adalah proses pengumpulan substansi larut yang ada dalam larutan, oleh permukaan zat atau benda penyerap dimana terjadi suatu ikatan kimia fisika antara substansi dengan penyerapan. Adsorpsi menggunakan adsorbad dan adsorbant, dimana adsorbad adalah merupakan suatu komponen yang diserap dan adsorbant adalah suatu media penyerap yang dalam hal ini merupakan senyawa karbon aktif (sugiharto,1987).

Adsorpsi dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu :

1. Adsorpsi fisik.

Adsorpsi fisik berhubungan dengan gaya Van der Walls dan merupakan suatu proses bolak-balik (berulang). Jika gaya tarik menarik antara zat terlarut dan adsorbant lebih besar dari pada gaya tarik menarik antara zat terlarut dengan pelarutnya, maka zat terlarut akan teradsorpsi pada permukaan adsorbant.

2. Adsorpsi kimia.

Adsorpsi kimia merupakan reaksi yang terjadi antara zat padat dan zat terlarut yang teradsorpsi.

2.5.5.2 Mekanisme Adsorpsi

Proses adsorpsi digambarkan sebagai proses dimana molekul meninggalkan larutan yang menempel pada permukaan zat akibat ikatan kimia fisika. Menurut Reynold, 1982 proses adsorpsi dibagi menjadi empat tahap, yaitu:

1. Transfer molekul-molekul zat terlarut yang teradsorpsi menuju lapisan film yang mengelilingi adsorbant.
2. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui lapisan film (*film diffusion process*).
3. Difusi zat terlarut yang teradsorpsi melalui pori-pori dalam adsorbant (*pore diffusion process*).
4. Adsorpsi zat terlarut yang teradsorpsi pada dinding kapiler atau permukaan adsorbant.

Proses adsorpsi dibatasi oleh film *diffusion* dan *pore diffusion*. Jika pengolahan antara partikel karbon dan fluida relatif kecil, maka lapisan film di sekeliling partikel akan tebal sehingga proses adsorpsi berlangsung lambat. Jika dilakukan pengadukan yang cukup maka kecepatan difusi film akan meningkat.

2.5.5.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Faktor-faktor yang mempengaruhi mekanisme adsorpsi adalah luas permukaan adsorban, ukuran partikel, waktu kontak, pH larutan, temperatur dan distribusi ukuran pori.

1. Luas permukaan adsorben.

Semakin luas permukaan adsorben, semakin banyak adsorbat yang dapat diserap, sehingga proses adsorpsi dapat semakin efektif. Semakin kecil ukuran diameter partikel maka semakin luas permukaan adsorben.

2. Ukuran partikel

Makin kecil ukuran partikel yang digunakan maka semakin besar kecepatan adsorpsinya. Ukuran diameter dalam bentuk butir adalah lebih dari 0,1 mm, sedangkan ukuran diameter dalam bentuk serbuk adalah 200 mesh (Tchobanoglous, 1991).

3. Waktu kontak

Waktu kontak merupakan suatu hal yang sangat menentukan dalam proses adsorpsi. Waktu kontak yang lebih lama memungkinkan proses difusi dan penempelan molekul adsorbat berlangsung lebih baik. Konsentrasi zat-zat organik akan turun apabila waktu kontakannya cukup dan waktu kontak berkisar 10 – 15 menit (Reynolds, 1982).

4. Distribusi ukuran pori.

Distribusi pori akan mempengaruhi distribusi ukuran molekul adsorbat yang masuk ke dalam partikel adsorben.

5. Temperatur

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. Proses adsorpsi dapat berlangsung baik pada suhu 20⁰C.

6. pH

pH berpengaruh besar dalam proses adsorpsi, karena menentukan tingkat ionisasi larutan. Pada proses adsorpsi pH yang bagus adalah berkisar antara 8- 9. Senyawa asam organik dapat diadsorpsi pada pH rendah dan sebaliknya bahan organik dapat diadsorpsi pada pH tinggi.

Adapun untuk kebutuhan adsorben dapat dilakukan dengan perhitungan menggunakan persamaan:

1. Persamaan Freundlich, yaitu:

$$X/M = KC_e^{1/n} \quad (2.5)$$

X = Jumlah massa zat teradsorpsi (mg)

M = Jumlah massa adsorben (g)

C_e = Konsentrasi zat polutan yang tertinggal dalam larutan (mg/l)

K,n = Konstanta eksperimen n: 4.55 k: 0.198 (Reynolds, 1982)

2. Persamaan Langmuir, yaitu:

$$X/M = K_b C_e / 1 + C_e \quad (2.6)$$

X = Jumlah massa zat teradsorpsi (mg)

M = Jumlah massa adsorben (g)

C_e = Konsentrasi zat polutan yang tertinggal dalam larutan (mg/l)

K = Konstanta eksperimen (Reynolds, 1982)

b = Massa adsorbat terlarut yang dibutuhkan untuk menjenuhkan massa adsorben.

Menurut Reynolds (1982), kriteria adsorpsi karbon aktif adalah sebagai berikut:

1. Tipe reaktor

- Carbon contrktor : *Gravity flow* atau *presurried flow*
- Sistem kontak : *Fixed bed columns*
- Sistem operasi : *Up flow* dan *down flow*

2. Ukuran karbon aktif

- 8 x 30 mesh : *Down flow fixed bed columns*
- 12 x 40 mesh : *Up flow fixed bed columns*

3. Ukuran bak karbon

- Kedalaman bak : 10 – 40 ft
- Perbandingan kedalaman bak karbon dengan diameter : 1.5 : 4 – 4 : 1
- Diameter : 12 ft

4. Kecepatan *Back washing*

- 10 – 20 grm/ft^2 : *Down flow bed* (8 x 30 mesh)
- 10 – 12 grm/ft^2 : *Up flow bed* (12 x 40 mesh)

5. Waktu *Back washing*

- 10 – 15 menit : *Down flow* dan *Up flow*

6. Kecepatan filtrasi

- 2 – 4 grm/ft^2 : *Down flow* (8 x 30 mesh)
- 6 – 10 grm/ft^2 : *Up flow* (12 x 40 mesh)

6. COD terombak (berat) / Karbon aktif (berat) : 0.2 – 0.8

Ukuran molekul mempengaruhi proses adsorpsi karena molekul-molekul memasuki pori-pori partikel karbon agar teradsorpsi. Banyak air buangan mengandung campuran senyawa-senyawa dengan ukuran molekul yang berbeda. Molekul zat terlarut yang teradsorpsi (besar) dapat menutupi lubang pori-pori sehingga permukaan dalam yang tersedia tidak berguna (Culp dan Culp, 1971).

2.5.6 Filtrasi (penyaringan)

Penyaringan adalah pengurangan Lumpur tercampur dan partikel koloid dari air limbah dengan melewati pada media yang porous. Kedalaman penyaringan menentukan derajat kebersihan air yang disaringnya. Akan tetapi penyaringan ini banyak dijumpai sebagai pengolahan lanjutan setelah mengalami proses biologis atau proses fisik kimia. Penyaringan akan memisahkan zat padat dan zat kimia yang dikandung air limbah.

Pasir adalah media filter yang paling umum dipakai dalam proses penjernihan air, karena pasir dinilai ekonomis, tetapi tidak semua pasir dapat dipakai sebagai media filter. Artinya diperlukan pemilihan jenis pasir, sehingga diperoleh pasir yang sesuai dengan syarat-syarat media pasir. Dalam memilih jenis pasir sebagai media filter hal-hal yang diperhatikan adalah :

- a. Senyawa kimia pada pasir
- b. Karakteristik fisik pasir
- c. Persyaratan kualitas pasir yang disyaratkan
- d. Jenis pasir dan ketersediaannya



2.5.6.1 Susunan Kimia Pasir

Pada umumnya pasir mempunyai senyawa kimia antara lain : SiO_2 , Na_2O , CaO , MgO , Fe_2O_3 , dan Al_2O_3 . Senyawa yang terpenting dalam pasir sebagai media filter adalah kandungan SiO_2 yang tinggi, karena SiO_2 yang tinggi memberikan kekerasan pasir semakin tinggi pula (Lewis, 1980). Proses yang terpenting dalam filter yang berhubungan dengan kekerasan pasir adalah pencucian pasir.

2.5.6.2 Karakteristik Fisik Pasir

Karakteristik fisik pasir yang perlu diperhatikan untuk media filter antara lain adalah :

a. Bentuk Pasir

Bentuk pasir sangat berpengaruh terhadap kelolosan / permeabilitas. Menurut bentuknya pasir dapat dibagi menjadi 3, yaitu : bundar, menyudut tanggung, dan bundar menyudut (Lewis, 1980). Umumnya dalam satu jenis pasir ditemukan bentuk lebih dari satu bentuk butir. Pasir dengan bentuk bundar memberikan kelolosan lebih tinggi dari pada pasir bentuk lain.

b. Ukuran Butiran Pasir

Butiran pasir berukuran kasar dengan diameter > 2 mm memberikan kelolosan yang besar, sedangkan ukuran pasir berukuran halus dengan diameter 0,15-0,45 mm memberikan kelolosan yang rendah. Faktor yang penting dalam memilih ukuran butiran pasir sebagai media saring adalah *effective size (ES)*

c. Kemurnian pasir

Pasir yang digunakan sebagai media saringan semurni mungkin, artinya pasir benar-benar bebas dari kotoran, misalnya lempung. Pasir dengan kandungan lempung yang tinggi jika digunakan sebagai media filter akan berpengaruh pada kualitas filtrat yang dihasilkan.

d. Kekerasan pasir

Kekerasan pasir dihubungkan dengan kehancuran pasir selama pemakaian sebagai media filter. Kekerasan berhubungan erat dengan kandungan SiO_2 yang tinggi, maka akan memberikan kekerasan yang tinggi pula.

2.5.6.3 Tipe Penyaringan

Terdapat dua macam penyaringan yaitu :

a. Saringan pasir lambat.

Terdiri dari lapisan gravel dengan tebal 0,3 meter dan pasir setebal 0,6-1,2 meter dengan diameter pasir sekitar 0,2-0,35 milimeter. Dari penyaringan ini akan dihasilkan kecepatan pengaliran sebanyak 0,034-0,10 liter/ m^3 /detik.

b. Saringan pasir cepat

Saringan cepat dapat menghasilkan air bersih sejumlah 1,3 - 2,7 liter/ m^3 /detik.

Diameter pasir yang dipakai 0,4 mm - 0,8 mm dengan ketebalan 0,4 m - 0,7 m.

Faktor yang mempengaruhi efisiensi penyaringan ada 4 (empat) faktor dan menentukan hasil penyaringan dalam bentuk kualitas effluent serta masa operasi saringan yaitu :

- a. Kualitas air baku, semakin baik kualitas air baku yang diolah maka akan baik pula hasil penyaringan yang diperoleh.
- b. Suhu, Suhu yang baik yaitu antara 20-30 °C, temperatur akan mempengaruhi kecepatan reaksi-reaksi kimia.
- c. Kecepatan Penyaringan, Pemisahan bahan-bahan tersuspensi dengan penyaringan tidak dipengaruhi oleh kecepatan penyaringan. Berbagai hasil penelitian ternyata, kecepatan penyaringan tidak mempengaruhi terhadap kualitas effluen. Kecepatan penyaringan lebih banyak terhadap masa operasi saringan. (Huisman, 1975)
- d. Diameter butiran, secara umum kualitas effluent yang dihasilkan akan lebih baik bila lapisan saringan pasir terdiri dari butiran-butiran halus. Jika diameter butiran yang di gunakan kecil maka yang terbentuk juga kecil. Hal ini akan meningkatkan efisiensi penyaringan.

2.5.6.4 Mekanisme Filtrasi

Menurut Razif (1985), proses filtrasi adalah kombinasi dari beberapa fenomena yang berbeda, yang paling penting adalah :

1. *Mechanical Straining*, yaitu proses penyaringan partikel *suspended matter* yang terlalu besar untuk bisa lolos melalui lubang antara butiran pasir, yang berlangsung diseluruh permukaan saringan pasir dan sama sekali tidak bergantung pada kecepatan penyaringan.

2. Sedimentasi, akan mengendapkan partikel *suspended matter* yang lebih halus ukurannya dari lubang pori pada permukaan butiran. Proses pengendapan terjadi pada seluruh permukaan pasir.
3. Adsorption adalah proses yang paling penting dalam proses filtrasi. Proses adsorpsi dalam saringan pasir lambat terjadi akibat tumbukan antara partikel-partikel tersuspensi dengan butiran pasir saringan dan dengan bahan pelapis seperti gelatin yang pekat yang terbentuk pada butiran pasir oleh endapan bakteri dan partikel koloid. Proses ini yang lebih penting terjadi sebagai hasil daya tarik menarik elektrostatis, yaitu antara partikel-partikel yang mempunyai muatan listrik yang berlawanan.
4. Aktivitas Kimia, beberapa reaksi kimia akan terjadi dengan adanya oksigen maupun bikarbonat.
5. Aktivitas biologis yang disebabkan oleh mikroorganisme yang hidup dalam filter.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Air Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian yang dilakukan adalah pada skala laboratorium dengan tahapan-tahapan seperti pada gambar 3.1 dan penelitian dengan menggunakan reaktor seperti gambar 3.2

3.3 Obyek Penelitian

Obyek yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah limbah cair dari laboratorium Universitas Islam Indonesia.

3.4 Parameter Penelitian

Parameter yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah kandungan Merkuri (Hg) yang terdapat dalam limbah cair laboratorium.

3.5 Desain Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor yang terdiri dari :

1. Aerasi

Susunan aerasi adalah dengan menggunakan empat Tray (empat tingkat)

2. Karbon aktif

Karbon aktif yang digunakan dalam penelitian ini adalah Zeolit dengan ketebalan 40 cm.

3. Filtrasi

Media penyaring yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pasir, dengan diameter pasir yang dipakai 0,4 - 0,8 mm dengan ketebalan 32 cm, dan media kerikil dengan ketebalan 8 cm Tipe saringan pasir ini adalah saringan pasir cepat.

3.6 Dimensi Reaktor

Reaktor yang direncanakan terbuat dari akrilik untuk bagian aerasi dan kaca untuk bagian zeolit dan filtrasi. Reaktor yang digunakan adalah jenis reaktor bertingkat yang susunannya terdiri atas aerasi, karbon aktif, dan filter pasir.

Tabel 3.1 Perhitungan dimensi reaktor

Dimensi	Simbol	Hasil perhitungan	Satuan	Pers.yang digunakan
Panjang	L	0,3	m	
Lebar	W	0,3	m	
Tinggi Filtrasi	Tf	0,4	m	
Tinggi karbon	Tk	0,4	m	
Tinggi tray aerasi	Tt	4 x 0,1	m	
Luas area	A	0,09	m	L x W
Volum reaktor	Vr	0,108	m	$A \times (T_f + T_k + T_t)$
Debit	Q	0,01	l/detik	

Sumber : hasil perhitungan

3.7 Langkah Pelaksanaan Penelitian

3.7.1 Tahap Persiapan

Pengambilan sampel awal dilakukan secara acak dari laboratorium Universitas Islam Indonesia yang mengandung kadar Merkuri (Hg) yang tinggi dan digunakan sebagai air limbah yang akan diolah.

3.7.2 Tahap Pelaksanaan penelitian

Tahap Prapenelitian sebagai berikut :

1. Merancang Alat

Desain reaktor terdiri dari susunan bertingkat, yang akan di buat menjadi tiga bagian :

1. Aerasi
 2. Karbon Aktif
 3. Pasir Filter (*Sand Filter*)
2. Membuat Alat Proses dan optimasi alat
- Pembuatani alat, direncanakan reaktor terbuat dari kaca dengan ketebalan 5 mm dan fiber dengan ketebalan 5 mm.

Tahap Penelitian sebagai berikut :

- Uji penggunaan alat proses
- Pemakaian alat proses
- Pengambilan sampel dari limbah yang telah melewati alat proses
- Analisa hasil pengolahan alat proses
- Analisa kualitas data dan hasil pengolahan proses

3.7.3 Cara Penelitian

Cara penelitian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Analisa kandungan merkuri (Hg) dalam limbah cair.
2. Limbah cair ditampung di bak penampungan (ember).
3. Limbah cair dipompa keatas menuju spray, sehingga limbah akan keluar dengan memancar dan terjadi kontak dengan udara (aerasi).
4. Limbah jatuh di permukaan karbon aktif dan terjadi adsorpsi zat-zat pencemar.
Digunakan karbon aktif jenis Pasir Zeolit.
5. Limbah cair akan menuju filter pasir dan terjadi penyaringan oleh pasir.

6. Pengukuran parameter Hg pada outlet 1, outlet 2 dan outlet 3 (lihat gambar) pada setiap variasi waktu (0 menit, 30 menit, 60 menit, 90 menit, 120 menit dan 150 menit).

3.7.4 Analisa Hasil Penelitian

3.7.4.1 Analisa Statistik

Data hasil penelitian dengan menggunakan reaktor aerokarbonfilter akan dilakukan uji statistik dengan menggunakan software ANOVA, yang bertujuan untuk mengetahui tingkat pengaruh dari variasi terhadap efisiensi removal. Analisa data dilakukan untuk setiap bagian, yaitu tray aerasi, karbon aktif dan sand filter serta total sistem (Aerokarbonfilter).

Pada analisa statistik ini dilakukan dengan metode Analisa Post Hoc Tests. Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah penurunan konsentrasi Hg pada proses (inlet, aerasi, zeolit, dan filtrasi) secara statistik signifikan atau tidak. Berikut adalah hipotesisnya.

Adapun Hipotesis sebagai berikut :

H_0 = Perbedaan penurunan konsentrasi antara proses (inlet, aerasi, zeolit, dan filtrasi) secara statistik tidak signifikan.

H_1 = Perbedaan penurunan konsentrasi antara proses (inlet, aerasi, zeolit, dan filtrasi) secara statistik signifikan

Dengan syarat jika $\alpha > 0.05$ maka H_0 diterima.

3.7.4.2 Menghitung Efisiensi

Untuk mengetahui tingkat efisiensi dari reaktor yang sedang diteliti, maka dilakukan analisa data yang diperoleh dari hasil pengamatan, baik data utama (tingkat removal) maupun data pendukung.

Untuk mengetahui efisiensi dari masing-masing sistem tersebut dilakukan dengan cara sebagai berikut :

A. Efisiensi Tray Aerasi

Untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem tray aerasi terhadap parameter uji dilakukan dengan cara :

- Mengukur kadar parameter uji (Hg) di inlet dan outlet 1 (lihat gambar)
- Menghitung besarnya efisiensi removal dengan persamaan :

$$\eta = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100 \% \quad (3.1)$$

B. Efisiensi Karbon Aktif

Untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem karbon aktif terhadap parameter uji dilakukan dengan cara :

- Mengukur kadar parameter uji (Hg) di inlet dan outlet 2 (lihat gambar)
- Menghitung besarnya efisiensi removal dengan persamaan :

$$\eta = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100 \% \quad (3.2)$$

C. Efisiensi *Sand Filter*

Untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem *Sand Filter* terhadap parameter uji dilakukan dengan cara :

- Mengukur kadar parameter uji (Hg) di inlet dan outlet 3 (lihat gambar)
- Menghitung besarnya efisiensi removal dengan persamaan :

$$\eta = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100 \% \quad (3.3)$$

D. Efisiensi Aerokarbonfilter

Untuk mengetahui tingkat efisiensi sistem Aerokarbonfilter terhadap parameter uji dilakukan dengan cara :

- Mengukur kadar parameter uji (Hg) di inlet dan outlet 3 (lihat gambar)
- Menghitung besarnya efisiensi removal dengan persamaan :

$$\eta = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100 \% \quad (3.4)$$

dimana :

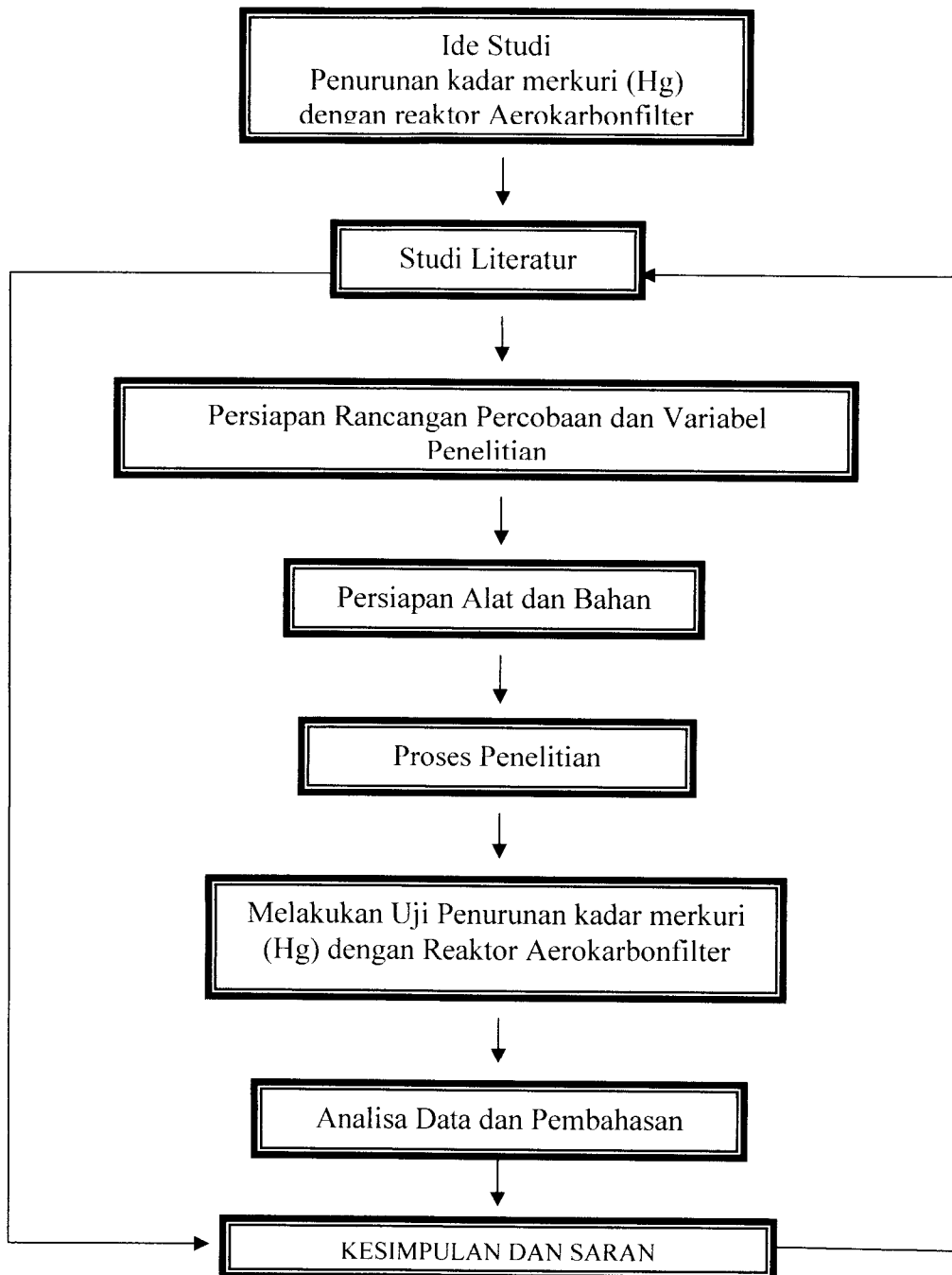
η = Tingkat efisiensi (%)

C_0 = konsentrasi parameter uji di inlet

C_1 = konsentrasi parameter uji di outlet

3.7.5 Diagram Alir Penelitian

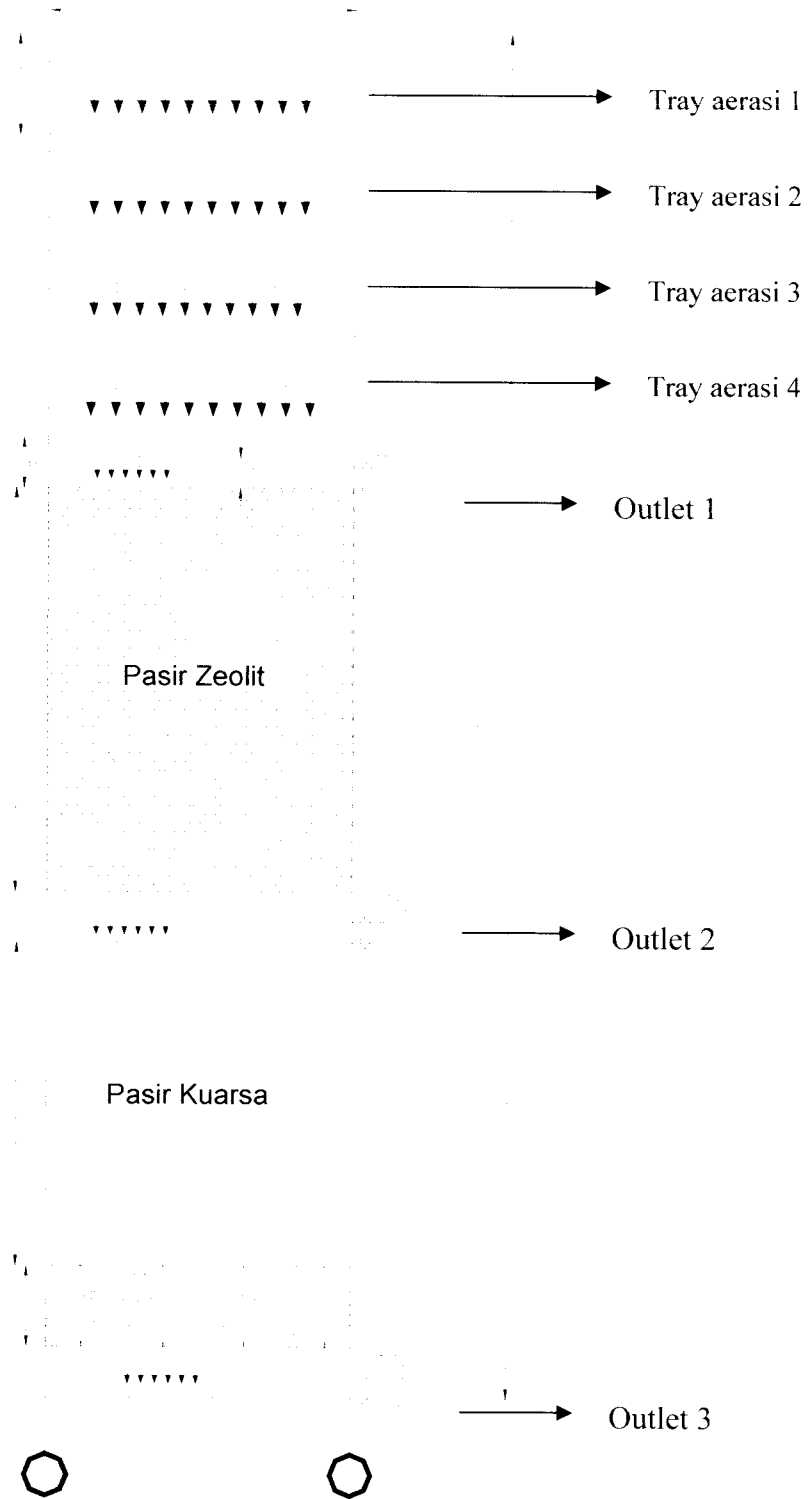
Secara garis besar tahapan-tahapan penelitian dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.7.6 Gambar Reaktor

Reaktor yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor aerokarbonfilter yang merupakan kombinasi dari aerasi, karbon aktif dan filter. Reaktor ini memiliki panjang 30 cm dan lebar 30 cm, dengan ketinggian total 135 cm. Aerasi dengan tipe *multiple tray aeration* dengan jumlah tray 4 buah dan jarak tiap tray 10 cm. Ketebalan zeolit 40 cm dan filter pasir 32 cm dan ketebalan kerikil 8 cm. Untuk selengkapnya dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3.2 Reaktor AEROKARBONFILTER

3.8 Hipotesa Penelitian

Hipotesis yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah :

- Reaktor AEROKARBONFILTER dapat menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) dalam limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia, memberikan tingkat efisiensi removal Merkuri (Hg) sampai 80%.
- Berdasarkan variasi waktu, penurunan konsentrasi terbesar pada proses di zeolit terjadi pada variasi pengambilan sampel menit ke 120.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pengolahan air limbah sangat penting dilakukan untuk mengetahui apakah air limbah yang akan dibuang ke lingkungan berbahaya atau tidak bagi lingkungan maupun makhluk hidup dan apakah telah memenuhi standar yang sudah ditetapkan. Maka dirancang suatu teknologi proses untuk mengolah limbah yang berasal dari laboratorium Universitas Islam Indonesia. Pengolahan limbah tersebut yaitu dengan menggunakan reaktor aerokarbonfilter, yang merupakan kombinasi antara proses aerasi, adsorpsi dan filtrasi. Dengan menggunakan reaktor ini, maka diharapkan mampu menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) pada limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia.

Adapun pengujian dilakukan pada inlet, outlet aerasi, outlet media adsorpsi dan outlet filtrasi. Pengambilan sampel dilakukan sebanyak enam kali yaitu pada menit 0, 30, 60, 90, 120 dan 150. Pengujian dilakukan untuk mengetahui konsentrasi merkuri (Hg) dalam limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia. Hasil analisa laboratorium untuk konsentrasi merkuri (Hg) diharapkan memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan dalam Peraturan Pemerintah No.82 tahun 2001, dimana batas maksimum untuk parameter Hg adalah 0.02 mg/ltr. Pemeriksaan konsentrasi merkuri (Hg) dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Hasil analisis mencakup konsentrasi merkuri (Hg) yang terkandung

dalam limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia, yaitu pada inlet, outlet aerasi, outlet adsorpsi, dan outlet filtrasi.

Untuk perhitungan prosentase dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\eta = (C_0 - C_1) / C_0 \times 100 \%$$

Dimana :

η = Tingkat efisiensi (%)

C_0 = konsentrasi parameter uji di inlet

C_1 = konsentrasi parameter uji di outlet

4.1. Penurunan konsentrasi merkuri (Hg) pada proses aerasi, adsorpsi dan filtrasi terhadap variasi waktu percobaan.

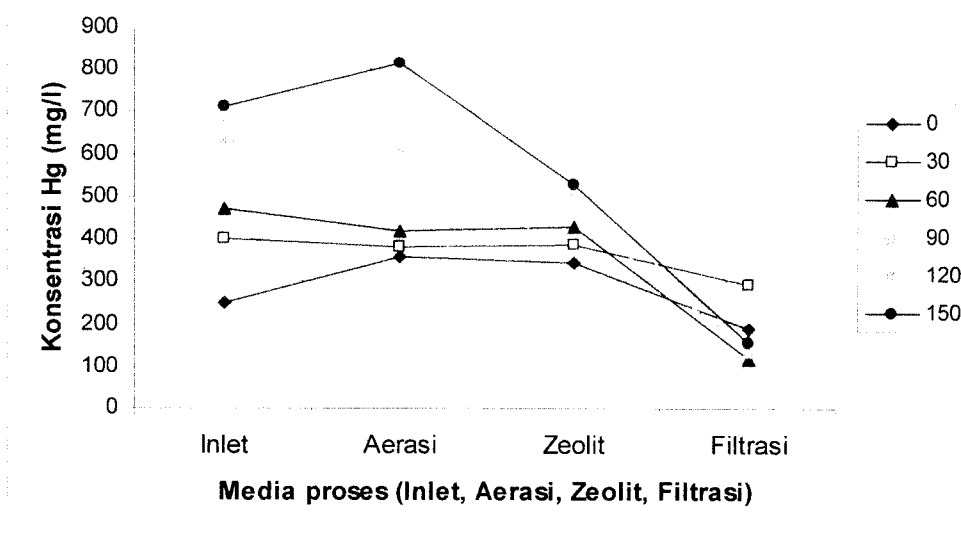
Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Penelitian dan Pengujian Terpadu (LPPT) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta, maka di peroleh konsentrasi pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hubungan waktu dengan konsentrasi Hg terhadap proses Aerasi, Pasir Zeolit dan Filtrasi.

Menit	Inlet Awal	Aerasi		Zeolit		Filtrasi	
	Konsentrasi (mg/ltr)	Konsentrasi (mg/ltr)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (mg/ltr)	Efisiensi (%)	Konsentrasi (mg/ltr)	Efisiensi (%)
0	250.30	357.75	* -42.9	342.82	4.2	189.80	44.6
30	398.70	382.64	4.0	387.61	* -1.3	293.10	24.4
60	470.26	417.47	11.2	427.43	* -2.4	116.06	72.8
90	636.73	497.10	21.9	462.27	7.0	137.59	70.2
120	670.16	601.62	10.2	507.06	15.7	153.75	69.7
150	710.16	815.62	* -14.9	526.96	35.4	157.67	70.1

keterangan : * = terjadi kenaikan

Berdasarkan tabel hasil percobaan tersebut, maka dapat diplotkan grafik yang menjelaskan perbandingan antara konsentrasi merkuri pada variasi waktu percobaan terhadap media proses yaitu proses yang terjadi di aerasi, adsorpsi, dan filtrasi.



Gambar 4.1. Grafik perbandingan konsentrasi dengan waktu terhadap media proses.

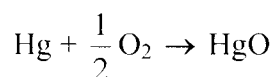
Jika dilihat dari Tabel 4.1, pada setiap variasi waktu dari menit ke 0, 30, 60, 90, 120, dan 150 percobaan, terjadi peningkatan konsentrasi merkuri (Hg) di Inlet awal. Kenaikan konsentrasi tiap variasi waktu di inlet dimungkinkan ada persoalan dalam pengujian. Faktor lain yang berpengaruh pada peningkatan konsentrasi inlet setiap variasi waktu percobaan adalah pada saat terjadi proses sebelum limbah dipompa ke inlet, tidak terjadi pengadukan yang sempurna pada bak penampung limbah tersebut (konsentrasi limbah pada bak penampung tidak homogen)

Inlet sebagai perbandingan pada proses adsorpsi (pasir zeolit) adalah diambil dari konsentrasi outlet dari proses aerasi, begitu juga untuk inlet proses filtrasi adalah konsentrasi dari outlet pada proses adsorpsi (pasir zeolit).

Berikut adalah proses penurunan konsentrasi merkuri (Hg) terhadap setiap proses yang terjadi di reaktor Aerokarbonfilter.

4.1.1 Penurunan Konsentrasi merkuri (Hg) Inlet terhadap proses Aerasi.

Pada proses aerasi menggunakan jenis multiple tray aerasi dengan jumlah tray 4 buah, jarak tiap tray 8 cm. Pada proses aerasi ini diharapkan terjadi penurunan konsentrasi merkuri (Hg). Pada proses aerasi ini terjadi reaksi antara Hg dengan O₂ pada suhu 25⁰C sehingga terbentuk HgO yang berupa endapan hitam (Achmad, H, 1992). Adapun reaksi pembentukan tersebut adalah sebagai berikut :



Konsentrasi merkuri (Hg) pada inlet 0 menit yaitu sebesar 250,3 mg/ltr dan terjadi kenaikan menjadi 357,35 mg/ltr. Pada proses aerasi ini penurunan terbesar yaitu terjadi pada pengambilan sampel ke 4 yaitu pada menit ke 90. Dimana konsentrasi awal menit ke 90 yaitu sebesar 636,75 mg/ltr turun menjadi 497,10 mg/ltr atau sebesar 21,9%. Pada pengambilan sampel berikutnya yaitu menit ke 30, konsentrasi merkuri juga mengalami penurunan dari konsentrasi awal 398,7 mg/ltr menjadi 382,64 mg/ltr atau sebesar 4 %. Pada menit ke 60 terjadi peningkatan efisiensi menjadi 11,2 %, dimana konsentrasi inlet awal 470,25 mg/ltr turun menjadi 417,47 mg/ltr, walaupun efisiensi penurunan dari menit ke 30 dan menit 60 tersebut sangat kecil. Akan tetapi pada menit ke 90 terjadi

peningkatan efisiensi dimana konsentrasi inlet awal sebesar 636,73 mg/ltr turun menjadi 497,1 mg/ltr atau sebesar 21,9 %. Pada menit ke 120 juga terjadi penurunan konsentrasi dari 670,16 mg/ltr menjadi 601,62 mg/ltr atau sebesar 10,2 %. Walaupun jika dibandingkan pada menit-menit sebelumnya terjadi penurunan efisiensi removal yang terjadi pada proses aerasi. Pada menit ke 30, 60, 90, 120 terjadi penurunan konsentrasi Hg dengan efisiensi seperti pada Tabel 4.1, akan tetapi pada menit ke 150 terjadi peningkatan atau kenaikan konsentrasi Hg dari 710,16 mg/ltr meningkat menjadi 815,62 mg/ltr. Pada proses aerasi tersebut terjadi penurunan efisiensi pada setiap variasi waktu percobaan, hal ini terjadi seiring dengan adanya peningkatan konsentrasi di setiap inlet pada setiap variasi waktu percobaan. Akan tetapi secara keseluruhan dari menit ke 30, 60, 90, 120 proses aerasi mampu menurunkan konsentrasi merkuri.

Terjadinya perubahan turun naiknya konsentrasi sangat dipengaruhi oleh oksigen terlarut yang ada didalam air. Temperatur juga berpengaruh dalam proses ini, dimana dengan temperatur yang cukup tinggi maka proses oksidasi akan berlangsung dengan cepat. Temperatur sangat dipengaruhi oleh adanya penyinaran matahari selama berlangsungnya penelitian ini. Untuk faktor lain yang berpengaruh dimungkinkan karena adanya tiupan angin yang akan berpengaruh pada jumlah oksigen terlarut yang akan masuk kedalam air. Dimungkinkan pada percobaan menit ke 90 tiupan angin lebih besar daripada menit-menit yang lain, sehingga penurunan konsentrasi merkuri yang paling besar terjadi pada menit tersebut dan pada menit ke 90 kondisi tray masih bersih (proses belum terhalang oleh endapan dari limbah itu sendiri), sehingga efisiensi penurunan terbesar terjadi

pada menit tersebut. Terjadi peningkatan konsentrasi merkuri pada menit ke 0 dimungkinkan karena proses aerasi belum berjalan sempurna dan proses aerasi belum stabil. Sedangkan untuk menit ke 150 terjadi peningkatan konsentrasi merkuri disebabkan kondisi tray yang sudah tertutup oleh endapan limbah itu sendiri sehingga dimungkinkan pada menit tersebut limbah yang keluar di outlet aerasi sudah terakumulasi dengan konsentrasi limbah sebelumnya.

4.1.2 Penurunan konsentrasi merkuri (Hg) inlet keluaran dari proses aerasi terhadap proses Adsorpsi dengan pasir Zeolit.

Pada proses adsorpsi dengan menggunakan pasir zeolit ini diharapkan mampu menurunkan konsentrasi merkuri (Hg). Penurunan konsentrasi merkuri oleh zeolit disebabkan karena kemampuan zeolit sebagai pengadsorb kontaminan. Dimana zeolit memiliki sejumlah sifat kimia maupun fisika yang menarik, di antaranya mampu menyerap zat organik maupun anorganik, dapat berlaku sebagai penukar kation, dan sebagai katalis untuk berbagai reaksi. Menurut Lowell and Shield (1984), kemampuan penyerapan zeolit juga sangat dipengaruhi oleh luas permukaan dari media adsorpsi itu sendiri. Pada saat terjadinya intertisi atau abrasi antara logam akan menyebabkan penurunan jari-jari pori zeolit, dan bila terjadi akumulasi logam aktif pada muka padatan adsorpsi, maka akan menyebabkan tertutupnya mulut pori sehingga menyebabkan menurunnya luas permukaan pori yang mengakibatkan terjadinya penurunan kemampuan adsorpsi dari zeolit itu sendiri. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi interaksi adsorbat dengan adsorben, yaitu sifat alamiah ion logam ligan pada adsorben dan sifat alamiah pelarut. Daya dorong adsorpsi permukaan merupakan kombinasi dua

faktor yaitu afinitas adsorbat terhadap pelarut dan afinitas adsorbat terhadap adsorben (Lynam dkk, 1995).

Konsentrasi merkuri untuk inlet berasal dari outlet proses aerasi untuk tiap menitnya. Terjadi penurunan konsentrasi merkuri mulai pada menit ke 90 sampai menit ke 150. Pada menit ke 90 konsentrasi merkuri menjadi 462,27 mg/ltr, pada menit ke 120 konsentrasi merkuri di inlet aerasi sebesar 601,62 mg/ltr menjadi 507,06 mg/ltr, sedangkan pada menit ke 150 terjadi penurunan konsentrasi merkuri terbesar yaitu dari inlet aerasi 815,62 mg/ltr menjadi 526,96 mg/ltr. Pada menit ke 0 juga terjadi penurunan konsentrasi merkuri dari inlet aerasi sebesar 357,35 mg/ltr menjadi 342,82 mg/ltr. Pada konsentrasi 0 menit ini terjadi penurunan konsentrasi yang sangat kecil. Jadi pasir zeolit sampai pada menit ke 150 masih mampu menurunkan konsentrasi merkuri walaupun masih di atas standar baku mutu yang ditetapkan.

Meskipun pada menit ke 30 dan 60 terjadi kenaikan konsentrasi merkuri jika dibandingkan antara outlet aerasi terhadap inlet proses zeolit, akan tetapi naiknya konsentrasi pada menit 30 dan 90 ini tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan inletnya. Terjadinya kenaikan konsentrasi ini dimungkinkan dipengaruhi oleh faktor aliran air yang tidak merata di zeolit dan penyerapan yang belum sempurna, mengingat debit yang diolah adalah kecil. Faktor lain yang berpengaruh adalah waktu detensi yang kecil yaitu hanya berlangsung 2 menit. Sedangkan untuk proses adsorpsi secara sempurna dibutuhkan waktu detensi minimal 10 menit. Salah satu parameter yang mempengaruhi jumlah adsorpsi adalah pH. Semakin tinggi derajat keasaman suatu larutan (pH semakin rendah),

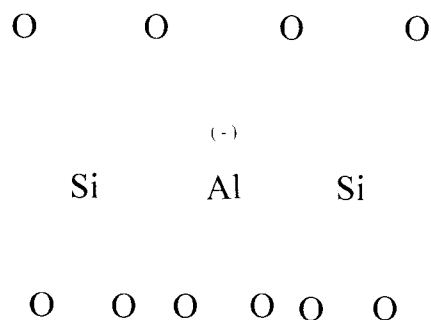
maka adsorpsi merkuri oleh zeolit cenderung kecil dan turun (Saadi 1995). Mengingat pH limbah laboratorium Universitas Islam Indonesia yaitu hanya berkisar 2, maka adsorpsi merkuri tidak berlangsung maksimal.

Pekat atau tidaknya limbah yang digunakan juga berpengaruh pada kemampuan adsorpsi suatu limbah. Bila terlalu encer maka jarak antara molekul-molekul semakin besar sehingga kontak antara bahan penyerap dengan bahan yang akan diserap kurang baik. Pada jarak tertentu antara permukaan penyerap dan bahan yang diserap, penyerap tidak mampu menarik bahan yang akan diserap, sehingga penyerapan tidak terjadi. Sebaliknya jika limbah terlalu pekat, maka jarak antara partikel-partikel bahan yang akan diserap terlalu dekat, sehingga gaya tarik menarik antara penyerap dan bahan yang akan diserap cukup besar dan terjadi penarikan serentak terhadap bahan yang akan diserap, sehingga terjadi penarikan secara bersama-sama, hal ini dapat menutupi pori dalam zeolit, dan menyebabkan efisiensi penyerapan kecil.

Berdasarkan hasil pengujian, seperti yang tertera pada Tabel 4.1, diketahui terjadi penurunan konsentrasi merkuri pada proses adsorpsi dengan pasir zeolit jika dibandingkan antara inlet awal masing-masing variasi waktu percobaan dengan zeolit. Akan tetapi seperti yang terlihat pada Tabel 4.1, menunjukkan bahwa pada setiap variasi waktu dari menit ke 0 sampai 150 terjadi peningkatan konsentrasi merkuri pada proses adsorpsi, hal ini disebabkan karena pengaruh dari peningkatan konsentrasi merkuri di inlet awal pada setiap menit percobaan, sehingga tidak bisa diketahui pada menit beberapa zeolit tidak mampu lagi meremoval logam merkuri. Dari hasil penelitian didapat bahwa zeolit masih

mampu menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) mulai dari menit ke 90 sampai pada menit ke 150, walaupun konsentrasinya masih di atas standar baku mutu yang ditetapkan.

Penurunan konsentrasi merkuri tersebut yaitu disebabkan karena dengan struktur "framework" zeolit mempunyai luas permukaan yang besar dan mempunyai saluran yang dapat menyaring ion/molekul /molecular sieving, (*Professor Joseph V. Smith, 1998*). Selain itu Penurunan konsentrasi merkuri dapat terjadi karena permukaan rongga yang terdapat pada zeolit menyebabkan medan listrik meluas kedalam rongga utama dan terjadi interaksi dengan molekul yang teradsorpsi. Sebagai salah satu material yang banyak digunakan sebagai adsorban, zeolit juga merupakan senyawa alumina silikat tetrahidrat dengan struktur sel berpori dan mempunyai sisi aktif bermuatan negatif yang dapat menyebabkan zeolit memiliki kemampuan sebagai penukar ion, adsorpsi, dan katalis dan dengan rongga tersebut menyebabkan zeolit dapat dimanfaatkan sebagai adsorban untuk menyerap logam-logam berat dan senyawa-senyawa yang terdapat dalam limbah cair. Struktur kimia yang sisi aktifnya dapat digambarkan sebagai berikut (Dloyer, 1984) :



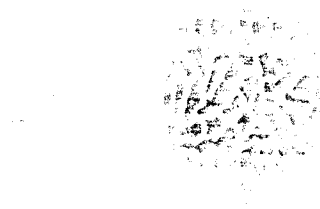
Struktur yang demikian menjadikan zeolit mampu melakukan pertukaran ion dan mengadsorb logam seperti Hg, Cu, Pb dll. Pertukaran kation dapat terjadi pada suhu kamar, dan pertukaran kation dengan kation lain yang berbeda ukuran dan muatan listriknya, dapat mempengaruhi ukuran pori yang akhirnya mempengaruhi sifat serapan dari zeolit (*Kharinal, 2000*). Sebaliknya jika kandungan aluminium dalam kerangka zeolit tinggi, menyebabkan kerangka zeolit dapat polar sehingga terjadinya hambatan dalam proses adsorpsi. Zeolit dengan kandungan Al yang cukup besar mempunyai kestabilan yang rendah terhadap asam. Dalam kondisi yang relatif asam, konsentrasi H^+ (proton) yang relatif tinggi akan menyerang sisi aluminat yang ada dalam kerangka zeolit. Hal ini dapat menyebabkan putusya ikatan antara Al – O dan Si – O dalam kerangka struktur, sehingga zeolit dapat mengalami kerusakan (*Dewi, 1999*).

Bilamana suatu adsorban dibiarkan berkontak dengan suatu larutan, jumlah zat yang diadsorpsi pada permukaan adsorban akan meningkat, sehingga konsentrasi zat terlarut akan menurun. Setelah beberapa saat kesetimbangan adsorpsi akan tercapai bilamana jumlah molekul yang meninggalkan permukaan adsorban sama dengan jumlah molekul yang diadsorpsi pada permukaan adsorban.

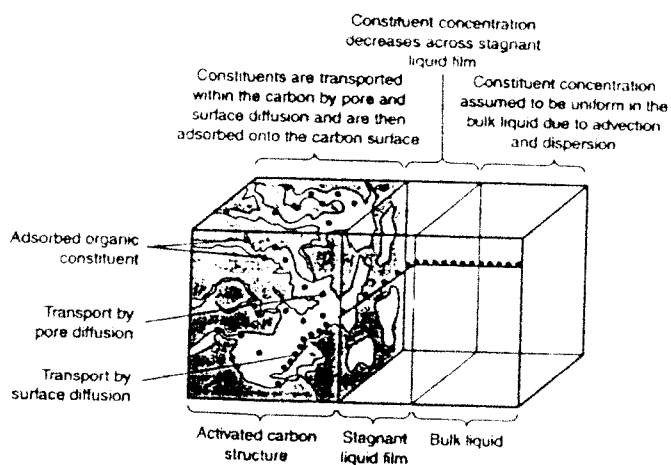
Secara umum kecepatan adsorpsi ditunjukkan oleh kecepatan difusi zat terlarut kedalam pori-pori saluran kapiler partikel adsorban. Kecepatan difusi akan menurun dengan meningkatnya ukuran partikel dan meningkat dengan kenaikan konsentrasi zat terlarut dan temperatur. Zat terlarut dengan berat molekul tinggi tidak diadsorpsi secepat substansi dengan berat molekul rendah dan meningkatnya

kelarutan akan menurunkan kemampuan adsorpsi suatu senyawa (Tebbut 1982). Jadi zeolit tidak mampu menurunkan konsentrasi merkuri yang tinggi, mengingat Hg termasuk logam yang memiliki berat molekul yang tinggi. Berdasarkan sifat dari zeolit itu sendiri yang mudah jenuh, mengakibatkan daya serap pada konsentrasi tinggi tidak dapat dilakukan (Osak, J. 1982).

Secara umum konsep adsorpsi pada permukaan pori dapat ditunjukkan seperti gambar berikut :



Gambar 4.2 Konsep adsorpsi pada permukaan pori
(Cheremisinoff, 1978)



Gambar 4.3 Konsep adsorpsi pada unsur an organik
(Crittenden, 1999)

4.1.3 Penurunan konsentrasi merkuri (Hg) inlet terhadap proses filtrasi dengan menggunakan pasir kwarsa.

Proses yang terjadi dalam filtrasi yaitu proses penyaringan. Tipe saringan yang digunakan saringan pasir cepat sedangkan media filtrasi yang digunakan pasir kwarsa dan kerikil. Pasir kwarsa digunakan untuk menyaring endapan merkuri, sedangkan kerikil sebagai media penopang pasir kuarsa. Filter pasir kwarsa ini mempunyai fungsi hampir sama dengan karbon aktif dan juga zeolit, dimana pasir ini dapat menghilangkan bau, rasa, warna dan sekaligus logam berat karena mempunyai daya serap yang baik.

Pada percobaan ini dimana air yang masuk ke proses filtrasi merupakan outlet dari proses adsorpsi, terjadi penurunan konsentrasi merkuri mulai dari menit ke-0 yaitu dari konsentrasi awal 342,82 mg/ltr menjadi 189,8 mg/ltr atau sebesar 17 %. Pada menit ke 30 juga terjadi penurunan konsentrasi merkuri dari 387,61 mg/ltr atau sebesar 24,4% walaupun penurunan paling kecil yaitu terjadi pada menit ini. Penurunan konsentrasi yang paling besar terjadi pada menit ke-60 yaitu konsentrasi merkuri awal 427,43 mg/ltr menjadi 116,06 mg/ltr atau dengan efisiensi sebesar 72,8 %. Selanjutnya pada menit ke 90 terjadi penurunan dari konsentrasi 462,27 mg/ltr menjadi 137,59 mg/ltr atau sebesar 70,2 %. Pada menit ke 120 juga terjadi penurunan konsentrasi dari 507,06 mg/ltr menjadi 153,75 mg/ltr atau sebesar 69,7 %. Sedangkan pada menit ke 150 terjadi penurunan dari konsentrasi awal 526,96 mg/ltr menjadi 157,67 mg/ltr atau sebesar 70,1 %. Dengan turunnya konsentrasi merkuri ini maka filtrasi mampu menurunkan konsentrasi merkuri yang terdapat dalam air dan sampai pada menit ke 150 proses

filtrasi masih mampu menurunkan konsentrasi merkuri, sehingga proses filtrasi masih efektif untuk menurunkan konsentrasi merkuri, walaupun penurunannya masih belum memenuhi standar baku mutu dan harus melewati proses lanjutan, dikarenakan konsentrasi merkuri di inlet awal masih cukup tinggi.

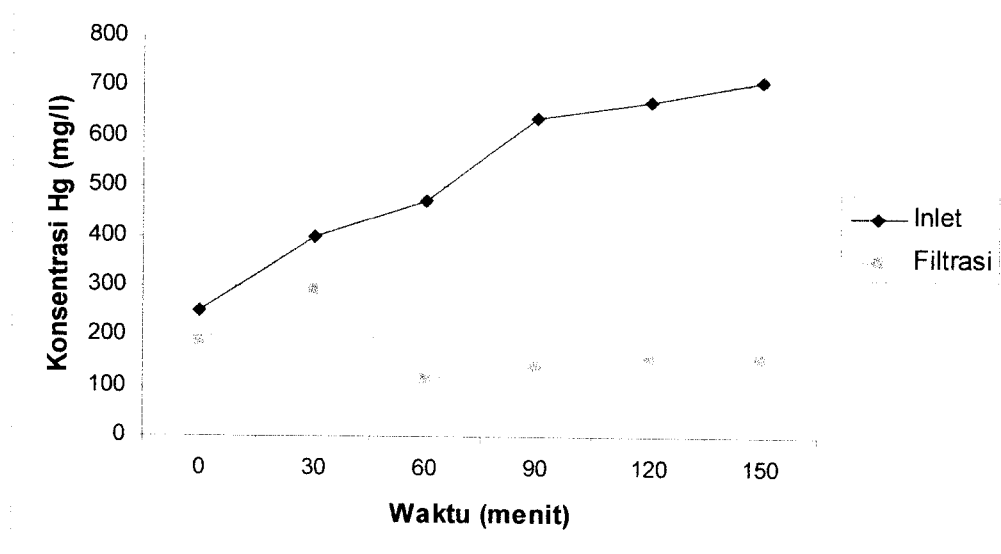
4.2 Konsentrasi dan efisiensi total alat antara Inlet awal dengan outlet filtrasi pada reaktor Aerokarbonfilter.

Berikut adalah akan dibahas efisiensi total dari reaktor aerokarbonfilter jika dibandingkan antara konsentrasi inlet awal sebelum melewati proses pada reaktor dengan konsentrasi outlet akhir yang merupakan hasil akhir dari proses filtrasi. Data hasil penelitian parameter Hg untuk konsentrasi dan efisiensi total alat dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut ini.

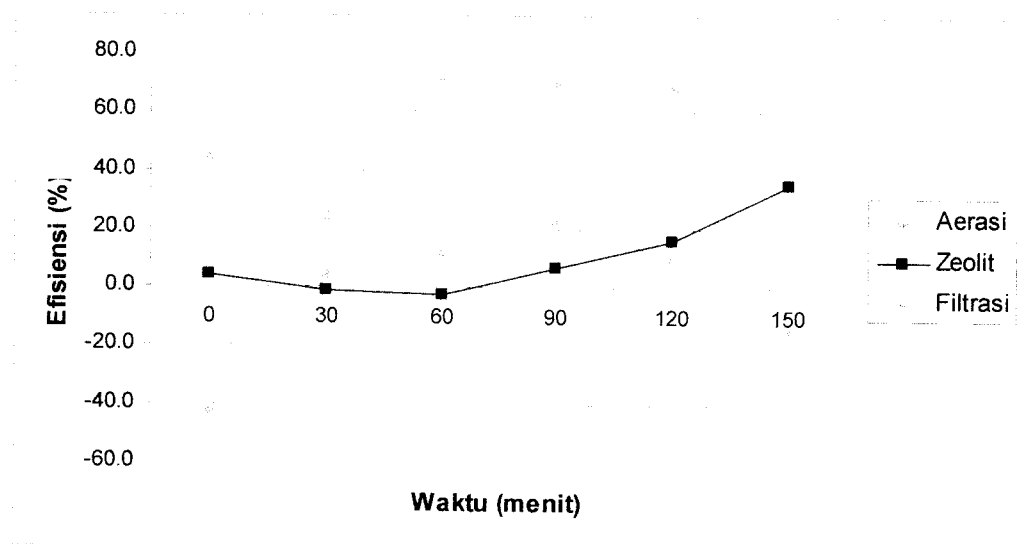
Tabel 4.2 Konsentrasi dan efisiensi total alat untuk parameter Hg antara inlet dengan outlet filtrasi.

Menit	Inlet Awal	Outlet Filtrasi	Efisiensi (%)
	Konsentrasi (mg/ltr)	Konsentrasi (mg/ltr)	
0	250.30	189.80	24.17
30	398.70	293.10	26.49
60	470.26	116.06	75.32
90	636.73	137.59	78.39
120	670.16	153.75	77.06
150	710.16	157.67	77.80

Dari Tabel 4.2 dapat dibuat grafik hubungan antara konsentrasi dan efisiensi total alat terhadap waktu antara inlet awal dan outlet filtrasi



Grafik 4.4 Konsentrasi Hg pada inlet dan outlet akhir pada berbagai variasi waktu percobaan



Grafik 4.5 Efisiensi total alat pada berbagai waktu pada proses aerokarbonfilter



Grafik 4.2 menunjukkan konsentrasi merkuri di inlet dan outlet akhir filtrasi pada berbagai variasi waktu percobaan. Mulai dari menit ke 0, 30, 60, 90, 120 dan 150 terjadi peningkatan konsentrasi merkuri di inlet. Meskipun terjadi peningkatan konsentrasi merkuri di inlet pada setiap variasi waktu percobaan, akan tetapi mulai dari menit ke 0 sampai 150 terjadi penurunan konsentrasi pada outlet akhir dari reaktor aerokarbonfilter dengan efisiensi mencapai 78,39 %.

Penurunan konsentrasi merkuri pada limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan reaktor aerokarbonfilter. Reaktor aerokarbonfilter terdiri dari proses aerasi, adsorpsi, dan filtrasi. Pada penelitian ini akan dicari seberapa besar efisiensi total dari reaktor aerokarbonfilter dalam menurunkan konsentrasi merkuri dan sampai berapa lama reaktor mampu menurunkan konsentrasi merkuri. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Pada percobaan ini yaitu menggunakan aerasi, pasir zeolit dan filter pasir kuarsa, dengan konsentrasi inlet 0 menit adalah sebesar 250,30 mg/ltr terjadi penurunan konsentrasi sebesar 189,80 mg/ltr atau dengan efisiensi penurunan sebesar 24,17 %. Kemudian pada menit ke 30 terjadi penurunan efisiensi reaktor, dimana konsentrasi pada inle 30 menit adalah sebesar 398,70 mg/ltr turun menjadi 293,10 mg/ltr atau dengan efisiensi sebesar 26,49 %. Begitu juga pada menit ke 60 terjadi kenaikan efisiensi menjadi 75,32 % . Pada menit ke 120 terjadi penurunan efisiensi alat, akan tetapi penurunan ini tidak terlalu besar. Penurunan efisiensi alat pada menit ke 120 disebabkan karena reaktor sudah mulai jenuh. Namun pada menit ke 150 kembali terjadi peningkatan efisiensi alat, tetapi

peningkatan ini tidak terlalu besar. Jadi secara garis besar bahwa reaktor aerokarbonfilter mampu menurunkan konsentrasi merkuri dengan efisiensi alat terbesar yaitu sebesar 78,39 % yang terjadi pada menit ke 90. Walaupun penurunannya masih belum memenuhi standar baku mutu dan harus melewati proses lanjutan, dikarenakan konsentrasi merkuri di inlet awal masih cukup tinggi. Penurunan konsentrasi merkuri disebabkan karena pada reaktor aerokarbonfilter terjadi proses adsorpsi dan penyaringan, dimana kedua proses tersebut sangat berpengaruh pada penurunan konsentrasi merkuri.

Dengan media pasir kuarsa, proses penyaringan yang berlangsung terus menerus, mengakibatkan semakin banyak endapan-endapan merkuri maupun zat pencemar yang lain yang tersaring pada filter (pasir kuarsa). Semakin banyaknya endapan ini maka akan menutup rongga-rongga antara butiran pasir sehingga endapan merkuri tidak mampu lagi tertahan dalam proses penyaringan.

4.3 Analisa Statistik

Data hasil penelitian dengan menggunakan reaktor aerokarbonfilter akan dilakukan uji statistik dengan ANOVA. Pada analisa statistik ini dilakukan dengan metode Analisa Post Hoc Tests. Uji ini dilakukan untuk mengetahui apakah perbedaan penurunan konsentrasi antara proses (inlet, aerasi, zeolit, dan filtrasi) secara statistik signifikan. atau tidak. Berikut adalah hipotesisnya.

o Hipotesis :

H_0 = Perbedaan penurunan konsentrasi antara proses (inlet, aerasi, zeolit, dan filtrasi) secara statistik tidak signifikan.

H_1 = Perbedaan penurunan konsentrasi antara proses (inlet, aerasi, zeolit, dan filtrasi) secara statistik signifikan

Dengan syarat jika $\alpha > 0,05$ maka H_0 diterima. Berikut adalah tabel *output* analisa statistik.

Tabel 4.3 Hasil Out put analisa statistik dengan metode Post Hoc Tests

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Konsentrasi Hg

(I) Proses di reaktor	(J) Proses di reaktor	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval		
					Lower Bound	Upper Bound	
Tukey HSD	inlet	aerasi	10.6850	61.62622	.998	-166.9309	188.3009
		zeolit	80.3600	61.62622	.574	-97.2559	257.9759
		filtrasi	348.0567*	61.62622	.000	170.4407	525.6726
	aerasi	inlet	-10.6850	61.62622	.998	-188.3009	166.9309
		zeolit	69.6750	61.62622	.677	-107.9409	247.2909
		filtrasi	337.3717*	61.62622	.000	159.7557	514.9876
	zeolit	inlet	-80.3600	61.62622	.574	-257.9759	97.2559
		aerasi	-69.6750	61.62622	.677	-247.2909	107.9409
		filtrasi	267.6967*	61.62622	.003	90.0807	445.3126
	filtrasi	inlet	-348.0567*	61.62622	.000	-525.6726	-170.4407
		aerasi	-337.3717*	61.62622	.000	-514.9876	-159.7557
		zeolit	-267.6967*	61.62622	.003	-445.3126	-90.0807
Bonferroni	inlet	aerasi	10.6850	61.62622	1.000	-176.4296	197.7996
		zeolit	80.3600	61.62622	1.000	-106.7546	267.4746
		filtrasi	348.0567*	61.62622	.000	160.9420	535.1713
	aerasi	inlet	-10.6850	61.62622	1.000	-197.7996	176.4296
		zeolit	69.6750	61.62622	1.000	-117.4396	256.7896
		filtrasi	337.3717*	61.62622	.000	150.2570	524.4863
	zeolit	inlet	-80.3600	61.62622	1.000	-267.4746	106.7546
		aerasi	-69.6750	61.62622	1.000	-256.7896	117.4396
		filtrasi	267.6967*	61.62622	.003	80.5820	454.8113
	filtrasi	inlet	-348.0567*	61.62622	.000	-535.1713	-160.9420
		aerasi	-337.3717*	61.62622	.000	-524.4863	-150.2570
		zeolit	-267.6967*	61.62622	.003	-454.8113	-80.5820

Based on observed means.

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Dari analisa diatas maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari Hasil Tukey HSD maupun Bonferoni menunjukkan bahwa terdapat perbedaan konsentrasi Hg pada proses inlet terhadap aerasi dengan perbedaan sebesar 10,6850 mg/ltr dan secara statistik tidak signifikan ($\alpha = 0,998 > 0,05$), dengan kata lain bahwa perbedaan penurunan konsentrasi Hg antara proses di inlet dan proses di aerasi tidak signifikan.

2. Perbedaan konsentrasi Hg antara inlet dan zeolit dengan perbedaan sebesar 80,3600 mg/ltr dan secara statistik tidak signifikan ($\alpha = 0,574 > 0,05$), artinya perbedaan penurunan konsentrasi Hg pada proses di inlet terhadap proses di zeolit tidak signifikan.
3. Perbedaan konsentrasi Hg antara inlet terhadap filtrasi sebesar 348,0567 mg/ltr dan secara statistik signifikan ($\alpha = 0,000 < 0,05$), berarti perbedaan penurunan konsentrasi Hg pada proses di inlet terhadap proses di filtrasi adalah signifikan.
4. Perbedaan konsentrasi Hg antara aerasi dan zeolit dengan perbedaan sebesar 69,6750 mg/ltr dan secara statistik tidak signifikan ($\alpha = 0,677 > 0,05$).
5. Perbedaan konsentrasi Hg antara aerasi dan filtrasi sebesar 337,3717 mg/ltr dan secara statistik signifikan ($\alpha = 0,000 < 0,05$), artinya terjadi perbedaan penurunan konsentrasi merkuri yang signifikan antara proses di aerasi dan proses di filtrasi.
6. Perbedaan konsentrasi Hg antara zeolit dan filtrasi dengan perbedaan sebesar 267,697 mg/ltr dan secara statistik signifikan ($\alpha = 0,003 < 0,05$), artinya terjadi perbedaan penurunan konsentrasi Hg yang signifikan antara proses di zeolit dan proses di filtrasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat ditarik suatu kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada reaktor Aerokarbonfilter yang tersusun dari 3 susunan (aerasi, adsorpsi, dan filtrasi) mampu menurunkan konsentrasi merkuri (Hg) yang terdapat dalam limbah cair laboratorium Universitas Islam Indonesia. Dengan efisiensi penurunan konsentrasi merkuri (Hg) adalah sebesar 78,39 % yang terjadi pada menit ke 90 dimana konsentrasi inlet awal adalah 636,73 mg/ltr turun menjadi 137,59 mg/ltr. Jika dilihat perbandingan dari konsentrasi merkuri pada inlet awal masing-masing variasi waktu terhadap konsentrasi merkuri pada *effluent* tidak terjadi kenaikan, sehingga penurunan yang terjadi secara statistik adalah signifikan.
2. Dari hasil penelitian didapat bahwa berdasarkan variasi waktu pengambilan sampel didapat penurunan konsentrasi terbesar pada proses di zeolit adalah terjadi pada menit ke 150.

5.2. Saran

Berdasarkan pada hasil penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan di atas maka perlu diajukan beberapa saran sebagai berikut :

1. Pada saat proses percobaan, sebaiknya diperhatikan kondisi limbah agar dapat diketahui keadaan yang homogen dan sebaiknya ada pengadukan pada saat proses percobaan maupun sebelum dilakukan percobaan.
2. Perlu dilakukan lagi penelitian menggunakan reaktor aerokarbonfilter berdasarkan variasi diameter butiran dalam mencari efektifitas penyaringan.
3. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan variasi debit yang lebih besar lagi, agar waktu detensi yang didapat bisa lebih lama, sehingga proses yang terjadi bisa berjalan sempurna. Selain itu juga agar dapat diketahui pada debit berapa didapat efisiensi reaktor terbesar.
4. Pengaktifan zeolit sangat dianjurkan, karena pengaktifan ini merupakan salah satu faktor dalam kemampuan zeolit sebagai adsorpsi, sehingga diharapkan diperoleh efisiensi yang optimal dalam menurunkan konsentrasi logam merkuri (Hg).
5. Perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan variasi pH limbah, agar dapat diketahui pada pH berapa penyerapan oleh zeolit yang paling optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, H, (1992). "*Kimia unsur dan radiokimia*", UI Press, Jakarta
- Alaerts,G. 1984, "*Metodologi Penelitian Air*", Usaha Nasional Indonesia, hal. 86-102,149-244
- Effendi, H, 2003, "*Telaah Kualitas Air*", Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan, Kanisius, Yogyakarta.
- Goel J, Kadirevelu K, Rajagopal C, 2004,"*Mercury (II) Removal from Water By Coconut Shell Based Activated Carbon : Batch and Column Studies, Environmental Technology*, www.ingenta.com/eng/1001001
- Kusumaningsih, Yeni, Ira, 2004, "*Optimasi filter pasir kuarsa, karbon aktif, zeolit alam dan kombinasinya untuk menurunkan Ca dalam air*", Ilmu Kimia, F Matematika dan IPA, UII.
- Lass, T, 2004, "*Potensi Zeolit untuk Mengolah Limbah Industri dan Radioaktif*", www.kemkominfo.go.id
- Metcalf and Eddy, 1991, "*Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse 3rd Edition*", Mc Graw, Inc, New York, USA
- Novalia, Desi, 2003, "*Pengaruh pH terhadap Adsorpsi Cd pada adsoeben tanah diatomae*", skripsi FMIPA, UGM.
- Pallar, H, (1994), "*Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*", Rineke Cipta, Jakarta.
- Reynolds, Tom D, 1982,"*Unit Operations and Process in Environmental Engineering*", Texas A&M University, Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California, USA, pp. 165 – 166.

- Soemirat, J, (1994), "*Kesehatan Lingkungan*", Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Supranto, 1996, "*Pemakaian Karbon Aktif Dalam Penyediaan Air Minum*", jurnal ilmiah STTL, Yogyakarta.
- Susanto, H, G, , 2000, "*Diktat Kuliah Teknik Lingkungan*", Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
- Sugiharto, 1987, "*Dasar-dasar Pengelolaan Air Limbah*", Penerbit Universitas Indonesia, Jakarta.
- T. H. Y, Tebbut dkk, 1982, "*Principles of Water Quality Control* ", Departemen of Civil Engineering University of Birmingham.
- Wardana, 1995, "*Dampak Pencemaran Lingkungan*", Penerbit Andi Offset, Yogyakarta.

LAMPIRAN I

**PERATURAN PEMERINTAH REPUBLIK INDONESIA
NOMOR 82 TAHUN 2001
TENTANG
PENGELOLAAN KUALITAS AIR DAN
PENGENDALIAN PENCEMARAN AIR**

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				KETEGORIAN
		I	II	III	IV	
FISIKA						
Temperatur	°C	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 3	Deviasi 5	Deviasi Tempertur 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	
Scelenium	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	(-)	(-)	(-)	
Klorin 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

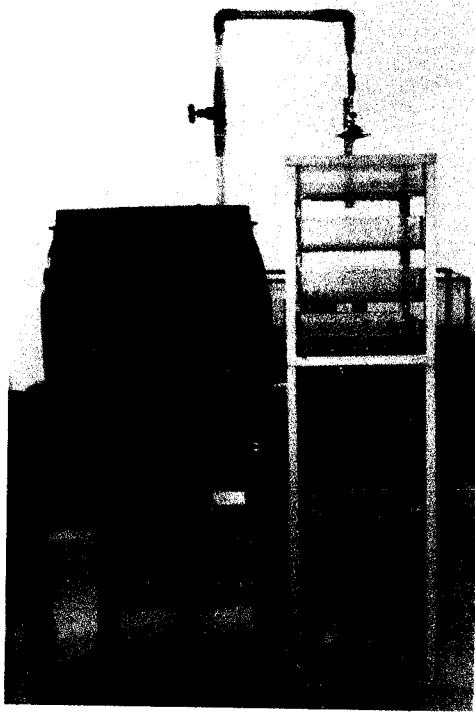
PRESIDEN REPUBLIK INDONESIA

ttd.

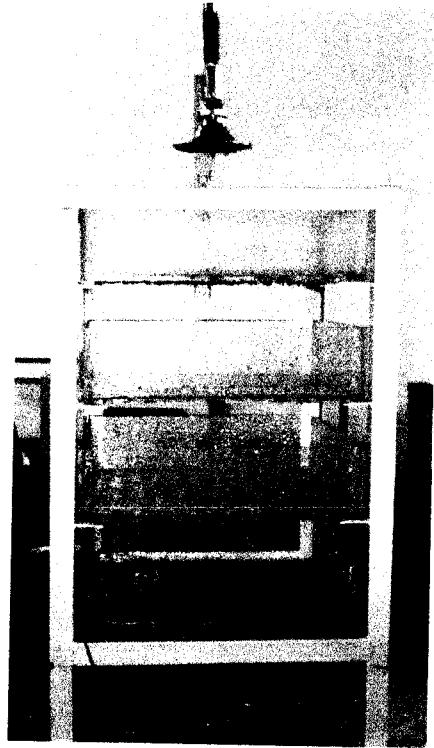
MEGAWATI SOEKARNO PUTRI

LAMPIRAN II

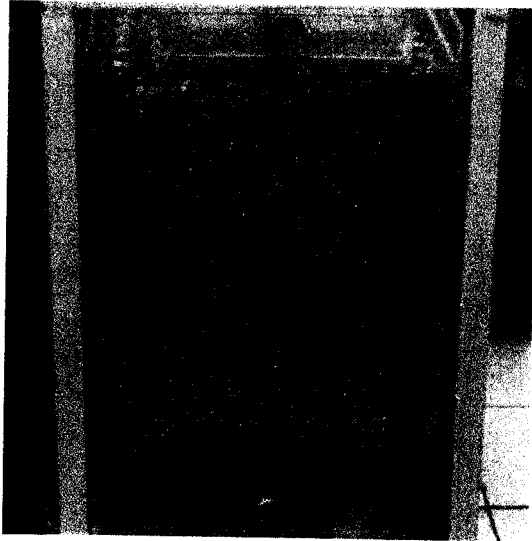
DOKUMENTASI PENELITIAN



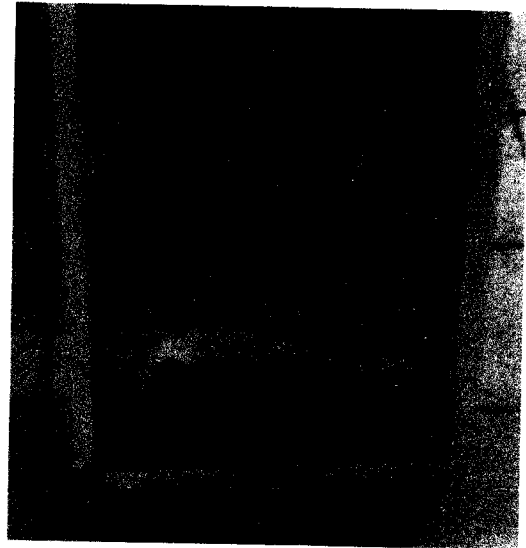
Reaktor Aerokarbonfilter



Tray Aerasi



Pasir Zeolit



Pasir Kwarsa



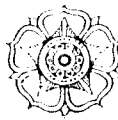
Pasir Zeolit



Pasir Kwarsa

LAMPIRAN III

**HASIL PENGUJIAN MERKURI (HG)
DI LABORATORIUM PENELITIAN dan PENGUJIAN
TERPADUDU (LPPT) UGM**



UNIVERSITAS GADJAH MADA
Laboratorium Penelitian Dan Pengujian Terpadu

DP.5.10.01
Halaman 1 dari 1

LAPORAN HASIL PENGUJIAN

Nomor : 481/LPPT-UGM/U/VI/2006

Laporan hasil pengujian dibuat untuk :
Nama : Hikmahwati
Institusi : Teknik Lingkungan
Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta
Nomor sampel : 162-03-020-799
Sampel : Larutan Hg
Jumlah sampel : 20
Parameter uji : Logam Hg
Metode : AAS-Hydrida

HASIL UJI

No	Kode sampel	Kadar Hg (ppm)
1	Inlet 60	470,26
2	Inlet 90	636,73
3	Inlet 120	670,16
4	Inlet 150	710,16
5	Filtrasi 60	116,06
6	Filtrasi 90	137,59
7	Filtrasi 120	153,75
8	Filtrasi 150	157,67
9	Aerasi 0	357,75
10	Aerasi 30	382,64

No	Kode sampel	Kadar Hg (ppm)
11	Aerasi 60	417,47
12	Aerasi 90	497,10
13	Aerasi 120	601,62
14	Aerasi 150	815,62
15	Zeolit 0	342,82
16	Zeolit 30	387,61
17	Zeolit 60	427,43
18	Zeolit 90	462,27
19	Zeolit 120	507,06
20	Zeolit 150	526,96

Hasil pengujian ini berlaku hanya untuk sampel yang diujikan



Prof. Siswindari, Apt., SU, Ph.D.

Yogyakarta, 30 Juni 2006
Manajer Teknik,

Dr. Tri Joko Raharjo, M.Si.