

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Proses *Batch*

##### 4.1.1 Hasil Pengujian Awal Kadar Merkuri dan pH Sebelum Proses Adsorpsi

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

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

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

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

Percobaan pada metode ini dilakukan pada kondisi:

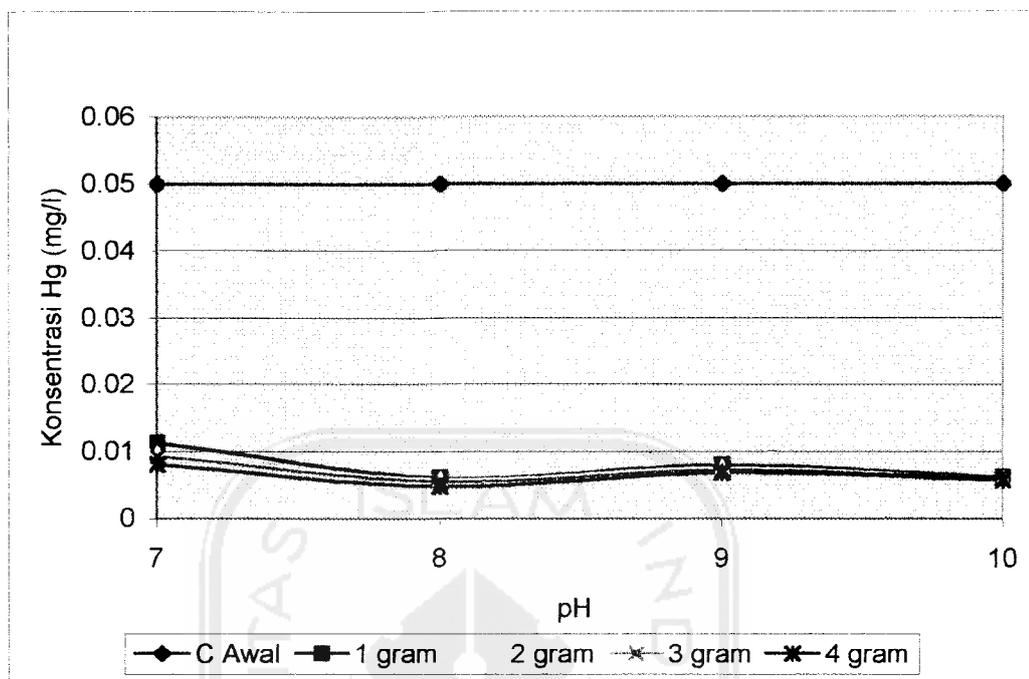
- Konsentrasi merkuri awal = 0,05 mg/l
- Volume limbah cair = 200 ml
- Berat adsorbant (karbon aktif) = 1000 mg, 2000 mg, 3000 mg dan 4000 mg.
- Kecepatan pengadukan = 150 RPM
- Waktu pengadukan = 2 jam

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

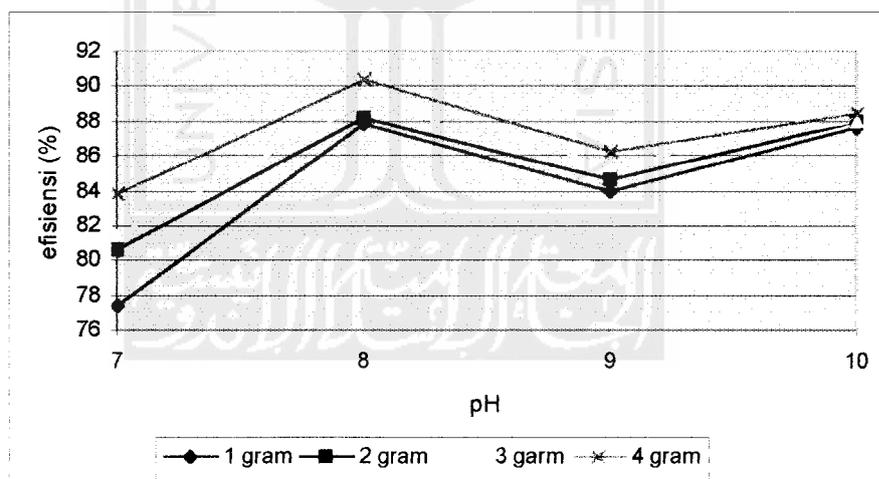
Tabel 4.2 Hasil Pengujian dan Berat Karbon Aktif Terhadap Efisiensi Penurunan

Limbah Cair Merkuri

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



Gambar 4.1 Grafik Hubungan antara pH dengan Konsentrasi Merkuri



Gambar 4.2 Grafik Hubungan antara pH dengan Efisiensi Penurunan Konsentrasi Merkuri

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

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

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

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

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



Pada gambar 4.2 terjadi lonjakan efisiensi pada  $\text{pH} 8$  yaitu sebesar 90,4 %.

Hal ini dikarenakan terjadinya presipitasi seperti dijelaskan di atas.

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

Berdasarkan perhitungan pada lampiran 2 didapat harga  $k = 458807$  dan  $n = 0,20397$  sehingga model persamaan kandungan logam Hg menggunakan karbon aktif adalah

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

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

## 4.2 Proses Kontinyu

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

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

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

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

#### 4.2.2 Hasil Pengujian Pengaruh Waktu Pengambilan Sampel terhadap Efisiensi

##### Penyerapan Kadar Merkuri

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

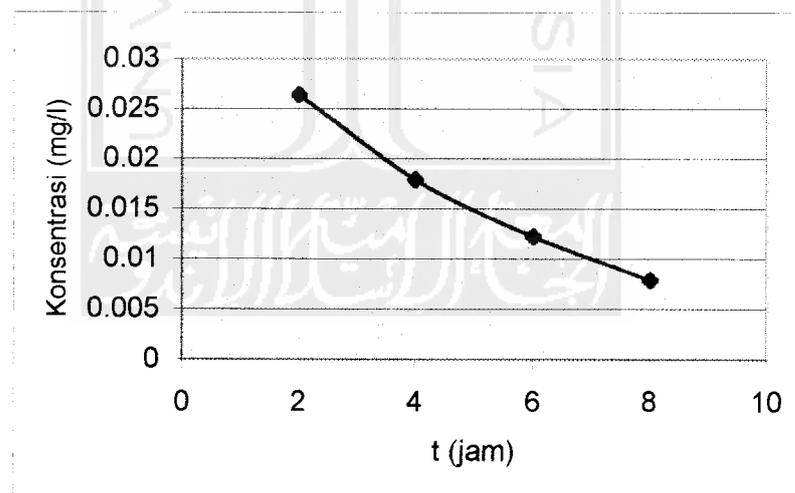
- Konsentrasi Hg awal = 0,0389 mg/l
- pH = 8
- Tinggi media adsorben = 40 cm
- Debit = 0,187368 l/m
- Jumlah kolom = 2 buah

Dari proses *batch* diperoleh lamanya waktu pengoperasian yang dibutuhkan untuk mencapai titik jenuh dalam kolom (lampiran 3). Waktu pengoperasian (*run time*) yang di dapatkan adalah 30074,82 hari. Tetapi dalam pelaksanaan percobaan, reaktor dioperasikan selama 8 jam. Dan sampel diambil setiap 2 jam pada setiap titik sampling.

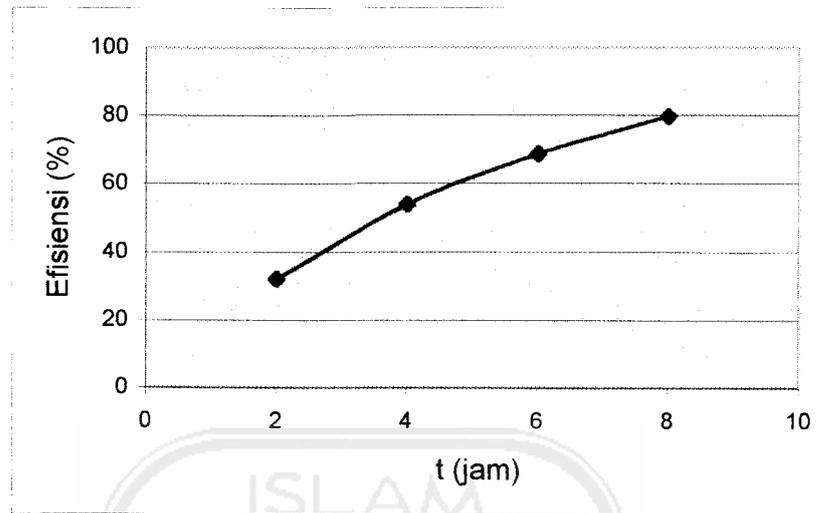
Untuk mengetahui pengaruh waktu pengambilan sampel terhadap konsentrasi dan efisiensi penurunan kadar merkuri dalam limbah cair pada proses kontinyu dapat dilihat pada tabel 4.4, gambar 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.6 berikut ini

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

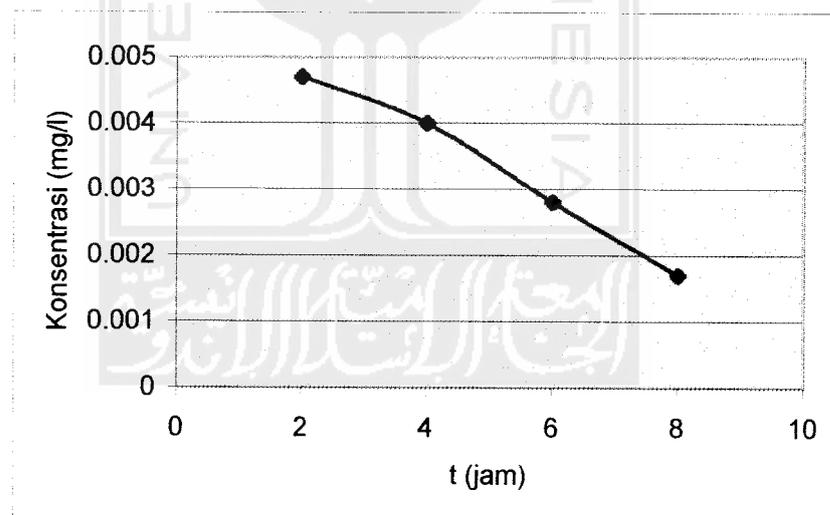
No.	Titik Pengambilan Sampling	Waktu Kumulatif (jam)	Konsentrasi Awal (mg/l)	Konsentrasi Akhir (mg/l)	Efisiensi Penurunan (%)
1.	1	2	0,0389	0,0264	32,13
		4	0,0389	0,0179	53,98
		6	0,0389	0,0122	68,64
		8	0,0389	0,0079	79,69
2.	2	2	0,0264	0,0047	82,20
		4	0,0179	0,004	77,65
		6	0,0122	0,0028	77,05
	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



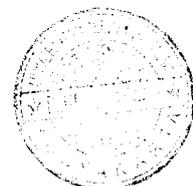
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel dengan Konsentrasi Merkuri Pada Titik Sampling 1

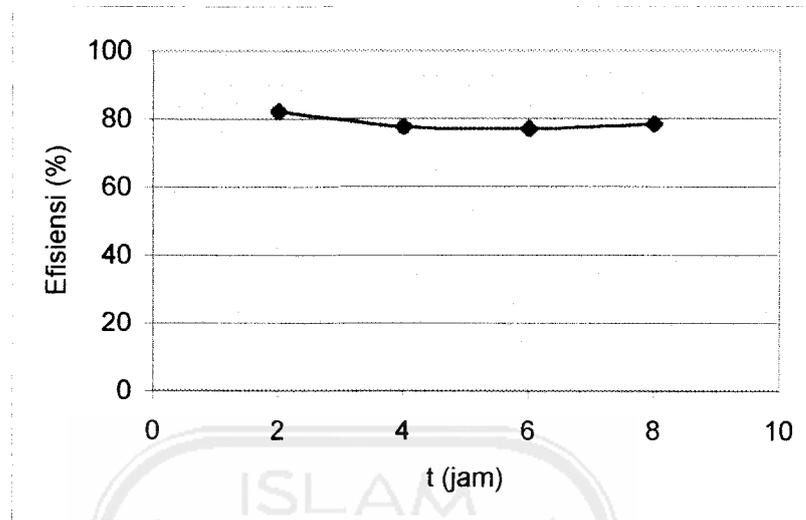


Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Waktu Pengambilan Sampel dengan Efisiensi Merkuri Pada Titik Sampling 1



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





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

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

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

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

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

Limbah laboratorium Universitas Islam Indonesia merupakan limbah campuran yang terdiri dari berbagai bahan. Interaksi persaingan antara adsorbate yang berbeda-beda (COD, warna, logam berat, campuran organik dll) akan mengurangi kapasitas penyerapan dari adsorben (K. Vasanth Kumar dkk, 2004). Ukuran molekulnya juga berbeda-beda. Pada situasi ini akan memperburuk penyaringan molekul karena molekul yang lebih besar akan menutup pori sehingga mencegah jalan masuknya molekul yang lebih kecil (seperti yang dijelaskan pada sub bab 2.3.2). Selain itu, dalam proses adsorpsi perlu diperhatikan komposisi ion dan pengaruh elektrolit lain yang terdapat dalam air limbah. Kehadiran logam pada limbah juga mempunyai pengaruh besar terhadap adsorpsi bahan organik, karena ion

logam bermuatan positif pada permukaan karbon akan meningkatkan energi atraksi (Cheremisinoff, 1978). Hal ini mempengaruhi efisiensi adsorban untuk mengadsorpsi adsorbat dan lamanya waktu jenuh dalam perhitungan (lampiran 3).

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

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

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

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

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

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

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

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

dan biaya eksploitasi (Freeman, 1988). Biaya konstruksi, operasi dan pemeliharaan serta biaya-biaya regenerasi dan adsorpsi karbon tergantung pada karakteristik dari air limbah yang akan diolah, kapasitas dari rancang bangun unit pengolahan (*plant*), dan lokasi dari *plant*. Biaya-biaya konstruksi meliputi reaktor karbon, sistem pengangkutan karbon, tangki penyimpanan karbon, regenerasi karbon (jika diaplikasikan), sistem pemompaan *influent* (jika diaplikasikan) dan sistem *backwash* pada reaktor. Biaya operasi dan pemeliharaan meliputi pembelian karbon, regenerasi karbon, daya listrik yang digunakan untuk pemompaan dan kontrol dan penggantian komponen reaktor yang rusak (Anonim, 2000).

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

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