

**ANALISIS DAN MODELISASI POLA ADSORPSI  
AIR BUANGAN PROSES PENCELUPAN KAIN  
DENGAN ZAT WARNA MENGGUNAKAN  
KOLOM ADSORPSI**

**TESIS**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Magister  
Program Studi Ilmu Lingkungan  
Universitas Diponegoro



**Oleh :**

**SUPARNI SETYOWATI RAHAYU  
L4K001089**

**PROGRAM STUDI ILMU LINGKUNGAN  
PROGRAM PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG  
2003**

**TESIS**  
**ANALISIS DAN MODELISASI POLA ADSORPSI**  
**AIR BUANGAN PROSES PENCELUPAN KAIN**  
**DENGAN ZAT WARNA MENGGUNAKAN**  
**KOLOM ADSORPSI**

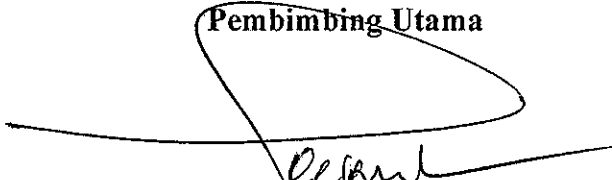
Oleh :  
**SUPARNI SETYOWATI RAHAYU**  
**L4K001089**

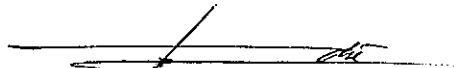
Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 28 Juni 2003 dan dinyatakan  
telah memenuhi syarat untuk diterima

Menyetujui  
Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama

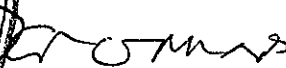
Pembimbing Kedua

  
Dr. Ir. Purwanto, DEA  
NIP. 131601117

  
Ir. Syafrudin, CES, MT  
NIP. 131764877

Ketua Program Studi  
Magister Ilmu Lingkungan



  
Prof. Dr. Sudharto P Hadi, MES  
NIP. 130810134

**ANALISIS DAN MODELISASI POLA ADSORPSI  
AIR BUANGAN PROSES PENCELUPAN KAIN  
DENGAN ZAT WARNA MENGGUNAKAN  
KOLOM ADSORPSI**

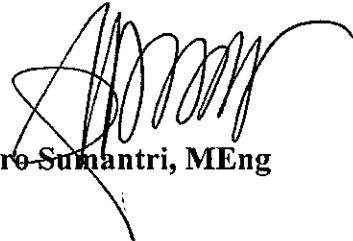
Oleh :

**SUPARNI SETYOWATI RAHAYU  
L4K001089**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal 28 Juni 2003 dan dinyatakan  
telah memenuhi syarat untuk diterima

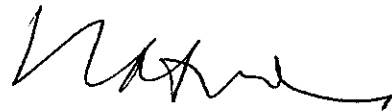
Menyetujui dan mengesahkan

Penguji I



Ir. Indro Sumantri, MEng

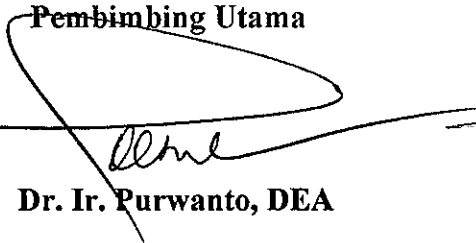
Penguji II



Ir. Nasrullah, MS

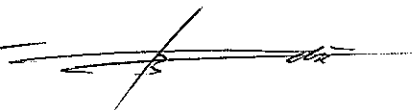
Menyetujui  
Komisi Pembimbing

Pembimbing Utama



Dr. Ir. Purwanto, DEA

Pembimbing Kedua

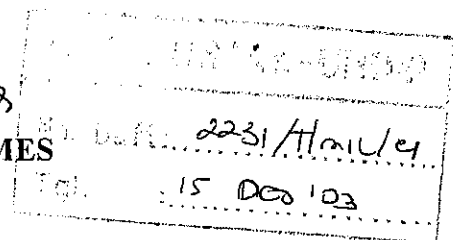


Ir. Syafrudin, CES, MT

Ketua Program Studi  
Magister Ilmu Lingkungan



  
Prof. Dr. Sudharto P Hadi, MES



## Pernyataan

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri dan di dalamnya tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan lembaga pendidikan lainnya. Pengetahuan yang diperoleh dari hasil penelitian maupun yang belum / tidak diterbitkan, sumbernya dijelaskan di dalam tulisan dan daftar pustaka.

Semarang, Juni 2003



Suparni Setyowati Rahayu

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP

- Nama : Suparni Setyowati Rahayu
- Tempat / tanggal lahir: Semarang, 6 Oktober 1955
- Agama : Islam
- Alamat : Jl. Sekip II / 5 Tembalang, Semarang
- Pendidikan : - lulus Sekolah Dasar tahun 1967 di Semarang  
- lulus Sekolah Menengah Pertama tahun 1970 di Semarang  
- lulus Sekolah Menengah Atas tahun 1973 di Semarang  
- lulus Sarjana Muda Pendidikan Teknik Kimia IKIP tahun 1977.  
- lulus Sarjana Pendidikan Teknik Kimia IKIP Semarang tahun 1981
- Pekerjaan : Staf Pengajar di Politeknik Negeri Semarang Jurusan Teknik Mesin dari tahun 1982 sampai sekarang

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karuniaNya, sehingga penelitian dalam penulisan tesis yang berjudul “ANALISIS DAN MODELISASI POLA ADSORPSI AIR BUANGAN PROSES PENCELUPAN KAIN DENGAN ZAT WARNA MENGGUNAKAN KOLOM ADSORPSI.

” ini dapat diselesaikan.

Tesis ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan studi pustaka untuk memenuhi sebagian persyaratan dalam menyelesaikan studi Program Magister Program Studi Ilmu Lingkungan konsentrasi Rekayasa Lingkungan, Universitas Diponegoro, Semarang.

Serangkaian kegiatan telah mendukung terselesainya tesis dengan mendapat bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada :

1. Direktur Program Pasca Sarjana, Penanggung Jawab dan Pengelola Program Magister Program Studi Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro Semarang yang telah memberikan fasilitas yang sangat berharga kepada penulis selama mengikuti pendidikan.
2. Tim Manajemen Pendidikan Doktor Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia yang telah memberikan beasiswa.
3. Direktur dan Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang yang telah memberikan kesempatan studi dan bantuan moril serta materiil selama studi.

4. Bapak Dr. Ir. Purwanto, DEA dan Ir. Syafrudin, CES, MT sebagai pembimbing utama dan pembimbing anggota yang telah banyak memberikan bimbingan pengarahannya, saran dan dorongan moril selama penelitian hingga selesainya tesis.
5. Seluruh staf pengajar yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang sangat bermanfaat, serta semua karyawan dan rekan studi Program Magister Ilmu Lingkungan UNDIP yang telah banyak membantu dalam studi.
6. Suami penulis Drs. Masluri, MM, serta ananda Airinda Masayu Adiantika tersayang yang selalu memberikan semangat, perhatian dan pengertian dengan penuh kesabaran selama penulis menempuh studi.
7. Kakak-kakak dan adik-adikku tercinta yang telah banyak memberikan bantuan moril maupun materiil selama menempuh studi.
8. Keluarga Besar Politeknik Negeri Semarang serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebut satu demi satu, yang kesemuanya telah memberikan bantuan, saran, dorongan dan semangat dalam menempuh studi.

Semoga Allah SWT memberikan pahala yang setimpal atas amal dan budi luhur tersebut.

Dengan segala kerendahan hati penulis menyadari akan keterbatasan penulis, karenanya kepada semua pihak yang berkenan memberikan saran dan kritik yang membangun, penulis sampaikan penghargaan terima kasih.

Akhir kata, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan dapat memberikan sumbangan bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di bidang ilmu lingkungan.

Semarang, Juli 2003

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Isi</b>	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI .....	viii
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xx
RINGKASAN .....	xxvi
BAB I PENDAHULUAN .....	I-1
1.1. Latar Belakang .....	I-1
1.2. Perumusan Masalah .....	I-3
1.3. Orisinalitas Penelitian .....	I-4
1.4. Tujuan Penelitian .....	I-5
1.5. Manfaat Penelitian .....	I-5
1.6. Ruang Lingkup Penelitian .....	I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	II-1
2.1. Proses Produksi Industri Pencelupan Kain .....	II-1
2.2. Adsorpsi .....	II-3
2.3. Zat Warna .....	II-4
2.4. Karbon Aktif .....	II-8
2.4.1. Proses Pembuatan Karbon Aktif .....	II-8

2.4.2.	Adsorpsi dengan karbon aktif .....	II-10
2.4.3.	Kolom adsorpsi karbon aktif .....	II-15
2.4.4.	Regenerasi karbon aktif .....	II-22
2.4.5.	Unit perpindahan masa.....	II-28
BAB III	METODE PENELITIAN .....	III-1
3.1.	Kerangka Penelitian .....	III-1
3.2.	Tipe dan Langkah-langkah Penelitian .....	III-2
3.2.1.	Pekerjaan Persiapan .....	III-2
3.2.2.	Pelaksanaan Penelitian .....	III-6
3.3.	Variabel yang diamati .....	III-9
3.4.	Analisis Data .....	III-13
3.5.	Peralatan dan bahan yang dipakai .....	III-16
3.5.1.	Alat .....	III-16
3.5.2.	Bahan .....	III-17
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN .....	IV-1
4.1.	Uji Pendukung .....	IV-1
4.2.	Percobaan secara Batch isotherm .....	IV-1
4.2.1.	Proses batch dengan ukuran media karbon aktif 50-100, 30-50, 16-30 MESH .....	IV-1
4.2.2.	Perbandingan penurunan zat warna acrylamide pada proses batch dengan ukuran media berbeda ..	IV-4
4.2.3.	Proses Batch dengan ukuran media batu apung 30- 50 MESH dan 16-30 MESH .....	IV-5
4.2.4.	Perbandingan penurunan zat warna acrylamide dengan ukuran berbeda pada adsorben batu apung.	IV-7

4.2.5. Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-8
4.2.6. Perbandingan penemuan zat warna acrylamide dengan ukuran berbeda pada adsorben batubara ....	IV-10
4.2.7. Perbandingan penurunan zat warna acrylamide dengan ukuran media sama pada jenis adsorben berbeda .....	IV-12
4.3. Percobaan Kontinyu .....	IV-13
4.3.1. Proses kontinyu dengan konsentrasi influen sebesar 200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-13
4.3.2. Proses kontinyu dengan konsentrasi influen sebesar 200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-15
4.3.3. Proses kontinyu dengan konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-17
4.3.4. Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-18
4.3.5. Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-20

4.3.6. Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-22
4.3.7. Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-23
4.3.8. Perbandingan pola adsorpsi.....	IV-27
4.3.9. Perhitungan k1 dan qo .....	IV-32
4.3.10. Perhitungan biaya investasi dan operasi .....	IV-38
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>V-1</b>
5.1. Kesimpulan .....	V-1
5.2. Saran .....	V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1.</b> Air buangan, jumlah zat pencemaran warna industri tekstil di beberapa daerah di Indonesia .....	II-2
<b>Tabel 3.2.</b> Perlakuan percobaan kolom adsorpsi .....	III-9
<b>Tabel 4.1.</b> Hasil percobaan batch dengan media karbon aktif dengan ukuran 30-50 dan 16-30 MESH .....	IV-5
<b>Tabel 4.2.</b> Hasil percobaan batch dengan media batu apung dengan ukuran 30-50 dan 16-30 MESH .....	IV-8
<b>Tabel 4.3.</b> Hasil percobaan batch dengan media batubara dengan ukuran 30-50 dan 16-30 MESH .....	IV-11
<b>Tabel 4.4.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit cm <sup>2</sup> .....	IV-15
<b>Tabel 4.5.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-16
<b>Tabel 4.6.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi 200mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-18
<b>Tabel 4.7.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-20

<b>Tabel 4.8.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-21
<b>Tabel 4.9.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-23
<b>Tabel 4.10.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 30-50 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-24
<b>Tabel 4.11.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 30-50 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-24
<b>Tabel 4.12.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 30-50 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-24
<b>Tabel 4.13.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-24
<b>Tabel 4.14.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-25
<b>Tabel 4.15.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-25

<b>Tabel 4.16.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh pada konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 16-30 mesh, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-25
<b>Tabel 4.17.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 16-30, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-25
<b>Tabel 4.18.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 16-30 mesh, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-26
<b>Tabel 4.19.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 16-30, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-26
<b>Tabel 4.20.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-26
<b>Tabel 4.21.</b> Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-26
<b>Tabel 4.22.</b> Contoh pengaruh ukuran media terhadap waktu pengoperasian kolom mencapai jenuh ( $C_e/C_o > 0,05$ ) (Laju limpasan = 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> , h = 100 cm) .....	IV-30
<b>Tabel 4.23.</b> Contoh pengaruh ketinggian media terhadap waktu pengoperasian kolom untuk mencapai efisiensi penyisihan 95% ( $Q = 20,2$ ml/menit.cm <sup>2</sup> , ukuran media 50-100 MESH) ..	IV-32
<b>Tabel 4.24.</b> Perbandingan nilai Konstanta kecepatan (k) dari proses batch dan hasil substitusi dari proses kontinyu. ....	IV-37

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1.</b> Kurva kesetimbangan pada adsorpsi Batch.....	II-11
<b>Gambar 2.2.</b> Bentuk Kurva Adsorpsi Isoterm Langmuir .....	II-14
<b>Gambar 2.3.</b> Kurva Linier Adsorpsi Isoterm Langmuir .....	II-14
<b>Gambar 2.4.</b> Operasi adsorpsi satu tahap yang berlangsung secara partial	II-16
<b>Gambar 2.5.</b> Adsorpsi dilakukan dengan aliran menyilang yang berlangsung dua tahap. ....	II-17
<b>Gambar 2.6.</b> Adsorpsi tahap banyak (multistage) yang berlangsung dengan aliran berlawanan arah. ....	II-19
<b>Gambar 2.7.</b> Garis operasi dan perbandingan antara adsorben terhadap pelarut yang mempunyai harga minimum (a). Cekung ke atas (b). Cekung ke bawah. ....	II-21
<b>Gambar 2.8.</b> Kurva breakthrough pada proses adsorpsi .....	II-22
<b>Gambar 2.9.</b> Skema zona adsorpsi dan kurva kesetimbangan .....	II-24
<b>Gambar 2.10.</b> Idealisasi kurva breakthrough .....	II-26
<b>Gambar 3.1.</b> Peralatan adsorpsi secara kontinyu .....	III-1
<b>Gambar 4.1.</b> Kurva penurunan konsentrasi acrylamide pada karbon aktif ukuran 50-100 MESH .....	IV-1
<b>Gambar 4.2.</b> Grafik untuk menentukan isoterm Freundlich, ukuran media 50-100 MESH .....	IV-2
<b>Gambar 4.3.</b> Grafik untuk menentukan isoterm Langmuir, ukuran media 50-100 MESH .....	IV-3

<b>Gambar 4.4.</b> Kurva penurunan konsentrasi acrylamide pada batu apung ukuran 50-100 MESH .....	IV-5
<b>Gambar 4.5.</b> Grafik untuk menentukan isoterm Freundlich pada ukuran media batu apung 50-100 MESH .....	IV-6
<b>Gambar 4.6.</b> Grafik untuk menentukan isoterm Langmuir dengan media batu apung ukuran media 50-100 MESH.....	IV-7
<b>Gambar 4.7.</b> Perbandingan penurunan zat warna acrylamide dengan media batu apung dengan ukuran media berbeda. ....	IV-7
<b>Gambar 4.8.</b> Kurva penurunan zat warna acrylamide pada media adsorben batubara ukuran 50-100 MESH. ....	IV-9
<b>Gambar 4.9.</b> Grafik untuk menentukan isoterm Freundlich, ukuran media batubara 50-100 MESH. ....	IV-9
<b>Gambar 4.10.</b> Grafik untuk menentukan isoterm Langmuir, ukuran media batubara 50-100 MESH. ....	IV-10
<b>Gambar 4.11.</b> Perbandingan penurunan konsentrasi acrylamide pada proses batch dengan ukuran media batubara yang berbeda. .	IV-11
<b>Gambar 4.12.</b> Perbandingan penurunan konsentrasi zat warna dari berbagai media dengan ukuran sama. ....	IV-12
<b>Gambar 4.13.</b> Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm <sup>2</sup> . ....	IV-14
<b>Gambar 4.14.</b> Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-14

<b>Gambar 4.15.</b> Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-15
<b>Gambar 4.16.</b> Kurva efisiensi untuk konsentrasi inlet 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-16
<b>Gambar 4.17.</b> Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	IV-17
<b>Gambar 4.18.</b> Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-18
<b>Gambar 4.19.</b> Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-19
<b>Gambar 4.20.</b> Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm <sup>2</sup> ..	IV-20
<b>Gambar 4.21.</b> Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-20
<b>Gambar 4.22.</b> Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit. ....	IV-21
<b>Gambar 4.23.</b> Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm <sup>2</sup> . .....	IV-22

- Gambar 4.24.** Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit. .... IV-22
- Gambar 4.25.** Contoh kurva perbandingan pola adsorpsi dengan memvariasikan konsentrasi influen (h = 20 cm, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>) ..... IV-27
- Gambar 4.26.** Contoh grafik perbandingan efisiensi penyisihan dengan konsentrasi berbeda (h = 20 cm, ukuran media 50-100 MESH, laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>) ..... IV-28
- Gambar 4.27.** Contoh kurva perbandingan pola adsorpsi dengan memvariasikan ukuran media karbon aktif (h = 20 cm, konsentrasi influen 200 mg/L, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>) ..... IV-28
- Gambar 4.28.** Contoh grafik penyisihan dengan ukuran media berbeda (h=20 cm, Co=200 mg/L, laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>) IV-29
- Gambar 4.29.** Contoh kurva perbandingan pola adsorpsi dengan memvariasikan laju limpasan (h = 100 cm, konsentrasi influen 300 mg/L, dan ukuran media karbon aktif 50-100).. IV-30
- Gambar 4.30.** Grafik antara  $\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right)$  vs volume untuk Co= 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>. .... IV-33
- Gambar 4.31.** Grafik antara  $\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right)$  vs volume untuk Co= 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>. .... IV-33

- Gambar 4.32.** Grafik antara  $\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right)$  vs volume untuk  $C_0 = 200$  mg/L,  
ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2  
ml/menit.cm<sup>2</sup>. ..... IV-33
- Gambar 4.33.** Grafik penyimpangan antara model yang didapat dengan  
hasil penelitian ..... IV-35
- Gambar 4.34.** Grafik hubungan antara ukuran media dengan nilai  
konstanta kecepatan ..... IV-36

## DAFTAR LAMPIRAN

1.1.	PP nomor 85 tahun 1999 tentang Pengelolaan limbah B3.....	1
1.2.	PP nomor 85 tahun 1999 tentang Pengelolaan limbah B3 lampiran III.....	2
1.3.	Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 907 / Menkes / SK / VII/2002 tanggal 29 juli 2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum.....	3
1.4.	Beberapa Penelitian Adsorpsi tahun 1998-2003.....	4
4.1.	Hasil uji pendukung.....	5
4.2.	Data pembacaan panjang gelombang.....	6
4.3.	Data untuk membuat kurva kalibrasi .....	6
4.4.	Hasil proses batch dengan menggunakan karbon aktif ukuran 16-30 MESH.....	7
4.5.	Data untuk menentukan isoterm Freundlich, karbon aktif ukuran 16- 30 MESH.....	7
4.6.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir, karbon aktif ukuran 16- 30 MESH.....	7
4.7.	Hasil proses batch dengan menggunakan karbon aktif ukuran 30-50 MESH.....	8
4.8.	Data untuk menentukan isoterm Freundlich, karbon aktif ukuran 30- 50 MESH.....	8
4.9.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir, karbon aktif ukuran 30- 50 MESH.....	8

4.10.	Hasil proses batch dengan menggunakan karbon aktif ukuran 50-100 MESH.....	9
4.11.	Data untuk menentukan Isoterm Freundlich, karbon aktif 50-100 MESH.....	9
4.12.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir untuk karbon aktif 50-100 MESH.....	9
4.13.	Hasil proses Batch dengan menggunakan batu apung ukuran 16-30 MESH .....	10
4.14.	Data untuk menentukan isoterm Freundlich batu apung ukuran 16-30 MESH .....	10
4.15.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir, batu apung ukuran 16-30 MESH .....	10
4.16.	Hasil proses Batch dengan menggunakan batu apung ukuran 30-50 MESH .....	11
4.17.	Data untuk menentukan isoterm Freundlich, ukuran 30-50 MESH...	11
4.18.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir, batu apung ukuran 30-50 MESH .....	11
4.19.	Hasil proses Batch dengan menggunakan batu apung ukuran 50-100 MESH .....	12
4.20.	Data untuk menentukan isoterm Freundlich, batu apung ukuran 50-100 MESH .....	12
4.21.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir, batu apung ukuran 50-100 MESH .....	12
4.22.	Hasil proses Batch dengan menggunakan batubara ukuran 16-30 MESH .....	13

4.23.	Data untuk menentukan isoterm Freundlich, batubara ukuran 16-30 MESH .....	13
4.24.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir, batubara ukuran 16-30 MESH .....	13
4.25.	Hasil proses Batch dengan menggunakan batubara ukuran 30-50 MESH .....	14
4.26.	Data untuk menentukan isoterm Freundlich, batubara ukuran 30-50 MESH .....	14
4.27.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir, batubara ukuran 30-50 MESH .....	14
4.28.	Hasil proses Batch dengan menggunakan batubara ukuran 50-100 MESH .....	15
4.29.	Data untuk menentukan isoterm Freundlich, batubara ukuran 50-100 MESH .....	15
4.30.	Data untuk menentukan isoterm Langmuir, batubara ukuran 50-100 MESH .....	15
4.31.	Proses kontinyu dengan konsentrasi influen sebesar 200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	16
4.32.	Proses kontinyu dengan konsentrasi influen sebesar 200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	17
4.33.	Proses kontinyu dengan konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	18

4.34.	Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	19
4.35.	Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	20
4.36.	Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	21
4.37.	Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	22
4.38.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	23
4.39.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 200 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	24
4.40.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	25
4.41.	Proses kontinyu untuk konsentrasi awal 300 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	26
4.42.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/l, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	27
4.43.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/l, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	28
4.44.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	29
4.45.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	30

4.46.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	31
4.47.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	32
4.48.	Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/l, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> .....	33
4.49.	Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH, laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> ).....	34
4.50.	Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH, laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	34
4.51.	Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 16-30 MESH, laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	35
4.52.	Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH, laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> ).....	35
4.53.	Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH, laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	36
4.54.	Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 30-50 MESH, laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	37
4.55.	Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 50-100 MESH, laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	37
4.56.	Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 50-100 MESH, laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> ).....	38

4.57. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=200 mg/l, ukuran media 50-100 MESH, laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> ).....	38
4.58. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 16-30 MESH, laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> ).....	39
4.59. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 16-30 MESH, laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	39
4.60. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 16-30 MESH, laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	40
4.61. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 30-50 MESH, laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> ).....	40
4.62. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 30-50 MESH, laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	41
4.63. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 30-50 MESH, laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	41
4.64. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 50-100 MESH, laju limpasan 8,312 ml/menit.cm <sup>2</sup> )....	42
4.65. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 50-100 MESH, laju limpasan 14,286 ml/menit.cm <sup>2</sup> ).....	42
4.66. Data untuk membuat kurva persamaan Thomas (Co=300 mg/l, ukuran media 50-100 MESH, laju limpasan 20,260 ml/menit.cm <sup>2</sup> ).....	43
4.67. Harga k1 dan qo dari berbagai perlakuan dalam percobaan.....	43
4.68. Pengaplikasian model di lapangan	44

## RINGKASAN

Limbah cair industri pencelupan kain mengandung bahan buangan yang berupa zat warna acrylamide yang berasal dari proses pewarnaan dan pembilasan kain. Salah satu upaya mengurangi zat warna acrylamide adalah dengan proses adsorpsi dengan media karbon aktif, batu apung dan batubara. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan jenis adsorben yang paling sesuai untuk mereduksi zat warna acrylamide dan menganalisis pola adsorpsi zat warna (acrylamide) pada kolom adsorpsi serta membuat model adsorpsi zat warna limbah industri pencelupan kain pada kolom adsorpsi. Dalam penelitian laboratorium ini dilakukan secara batch dan kontinyu. Pada proses kontinyu tinggi kolom adsorpsi yang digunakan adalah 100 cm, diameter 7 cm, konsentrasi larutan acrylamide 200 dan 300 mg/L, tiga macam ukuran media karbon aktif 16-30, 30-50 dan 50-100 MESH, lima macam ketinggian media 20, 40, 60, 80 dan 100 cm, serta tiga macam laju limpasan 8,3; 14,2; 20,6 ml/menit.cm<sup>2</sup>. Dari hasil penelitian untuk pengaruh konsentrasi larutan terlihat bahwa semakin tinggi konsentrasi larutan semakin berkurang waktu pengoperasiannya. Untuk pengaruh ukuran media semakin kecil ukuran media daya serapnya semakin besar. Untuk pengaruh laju limpasan semakin besar laju limpasan semakin cepat waktu pengoperasiannya. Efisiensi penyisihan yang terjadi mencapai 95-100%. Model yang didapat dari percobaan kontinyu diharapkan dapat diaplikasikan di lapangan.

## SUMMARY

Dyeing industrial's liquid waster contains acrylamide produced by dyeing process and washing process. One of the ways to reduce acrylamide is using adsorption process with granular activated carbon as the adsorbent. The objective this experiment is to analyze adsorption pattern of acrylamide by granular activated adsorption column, the rate of downward model of acrylamide from dyeing industries on granular activated carbon adsorption column and determine the rate of adsorption constant and adsorption capacity of granular activated carbon. This experiment has two steps, batch process and continue process. At continue process, the height of adsorption column that be used is 100 cm, 7 cm in diameter, 200 and 300 mg/L of acrylamide concentration, three size of adsorbent of 16-30, 30-50 and 50-100 MESH, five height adsorbent of 20, 40, 60, 80 and 10 cm. The results of this experiment show that the increasing of acrylamide concentration decreases the operation time, the decreasing of adsorbent size increases the adsorption capacity, and the increasing of space velocity will decrease the operation time. The removal efficiency of acrylamdie in this experiment is 95 – 100%. The adsorption model that gained from experiment's result shows that the chance of the failure in the fields is less and if the failure happens can be caused by worse physical condition.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dewasa ini industri pencelupan kain terus berkembang, sejalan dengan kebutuhan tekstil masyarakat yang terus meningkat. Perkembangan industri pencelupan kain yang semakin pesat mempunyai dampak positif dan negatif, salah satu dampak negatifnya adalah limbah cairnya yang dibuang ke badan air, dan yang merupakan salah satu aspek yang perlu mendapat perhatian khusus.

Air buangan industri pencelupan kain biasanya bersifat asam atau alkali, keruh dan berwarna tua/pekat dengan kandungan zat organik yang cukup tinggi, serta mengandung bahan-bahan sintetis yang sukar diuraikan oleh mikroba. Air buangan tersebut bila langsung dibuang ke perairan dapat mempengaruhi kehidupan di air, termasuk mikroba yang berperan penting dalam mengatur keseimbangan biologis air.

Apabila sudah tercemar, maka mutu air tersebut akan menurun dan nilai peruntukannya sebagai suatu sumber daya akan berkurang, bahkan mungkin tidak dapat digunakan sama sekali. Karena itulah air buangan industri pencelupan kain harus diolah dahulu sebelum dibuang ke perairan umum agar tidak mencemari lingkungan. Industri pencelupan kain merupakan salah satu sumber pencemar air yang cukup besar, karena air buangannya bersifat alkalis dengan kadar warna yang tinggi. Kadar warna yang tinggi dengan mudah dapat dideteksi, serta akan mengurangi nilai estetika dari aliran sungai.

Sebagian zat warna bersifat racun rendah terhadap lingkungan, namun demikian dalam jumlah yang cukup besar akan menimbulkan masalah terhadap biologis air, termasuk jasad renik yang berperan penting dalam menjaga keseimbangan biologis air akan musnah. Untuk mencegah timbulnya pencemaran terhadap lingkungan, maka air buangan sisa pencelupan dan pembilasan yang mengandung kadar warna yang tinggi perlu diolah terlebih dahulu untuk menurunkan kadar warnanya sebelum dibuang ke sungai.

Pengubahan warna air buangan pada percobaan ini dilakukan terhadap air buangan proses pembilasan dan pencelupan kain yang menggunakan zat warna reaktif acrylamide. Air buangan pada suatu industri kecil pencelupan kain yaitu di Pekalongan Barat mengandung acrylamide 220-260 mg/l (Suparni Setyowati Rahayu, 2002). Disamping itu air sumur penduduk yang digunakan sebagai air baku untuk minum juga tercemari acrylamide mencapai 6-10 mg/l. Sedangkan baku mutu acrylamide menurut Keputusan Menteri Kesehatan RI Nomor 907/Menkes/SK/VII/2002 tanggal 29 Juli 2002 tentang syarat-syarat dan pengawasan kualitas air minum, adalah kurang dari 0,5 µg/l sesuai pada lampiran 1.3. Bahan acrylamide termasuk bahan organik yang memiliki pengaruh langsung pada kesehatan.

Pada proses pencelupan diperkirakan maksimum zat warna yang terserap pada bahan tekstil adalah 90%, jadi sekitar 10% zat warna tersebut terbuang sebagai air buangan industri. Dalam PP Nomor 85 tahun 1999 tersebut pada lampiran 1.1 acrylamide dengan kode D 3008 termasuk ke dalam buangan produk yang tidak memenuhi spesifikasi dan pada lampiran 1.2 acrylamide merupakan zat pencemar dalam limbah yang bersifat kronis dengan kode D 5008.

Untuk mengatasi masalah tersebut, maka dilakukan penelitian perubahan warna air buangan sisa pembilasan dan pencelupan zat warna reaktif acrylamide dengan adsorpsi pada kolom media yaitu karbon aktif, batu apung dan batubara. Zat warna acrylamide dapat dikurangi jumlah perbedaannya dalam air dengan cara adsorpsi karbon aktif, batu apung batubara yaitu dengan mengakumulasi substansi-substansi tersebut pada permukaan karbon aktif, batu apung dan batubara. Namun demikian masih sedikit studi yang mempelajari pola adsorpsi dan modelisasi untuk berbagai media adsorben terhadap zat warna dalam umpan industri tekstil.

Berdasarkan masalah tersebut di atas, maka pengolahan zat warna menjadi pokok pembahasan dalam penelitian ini, sehingga akan memberikan gambaran penggunaan media adsorben sebagai salah satu alternatif pengolahan air buangan industri pencelupan kain khususnya untuk zat warna acrylamide secara optimum.

## **1.2. Perumusan Masalah**

- a. Limbah yang berasal dari proses pencelupan kain mempunyai potensi untuk menurunkan kualitas lingkungan, dikarenakan bahan pewarna yang digunakan mengandung acrylamide yang merupakan zat pencemar dalam limbah yang bersifat kronis.
- b. Belum ada studi tentang pola adsorpsi dan modelisasi acrylamide dalam air buangan proses pencelupan dan pembilasan kain dari berbagai media karbon aktif, batu apung dan batubara.

- c. Industri kecil pencelupan kain belum mempunyai unit pengolah air buangan yang cocok secara teknis dan mudah pengoperasiannya ekonomis dan efisien dalam mengolah limbahnya.

### 1.3. Orisinalitas Penelitian

Kajian tentang pola adsorpsi zat warna dalam air buangan proses pencelupan kain dengan cara melewatkan umpan yang mengandung zat warna acrylamide ke masing-masing bahan adsorben karbon aktif, batu apung dan batubara dalam suatu kolom adsorpsi alir kontinyu yang ditunjukkan dalam kurva terobosan tergolong sangat jarang dilakukan. Dalam penelitian ini besarnya laju penurunan konsentrasi zat warna acrylamide dapat diketahui berdasarkan konstanta kecepatan adsorpsi dan kapasitas serap karbon aktif, batu apung dan batubara.

Beberapa percobaan penurunan zat warna tekstil yang pernah dilaporkan lebih terfokus pada pengolahan koagulasi-flokulasi ataupun adsorpsi dengan mencari hubungan laju kejenuhan karbon aktif dengan penurunan tingkat pencemaran.

Penelitian ini khususnya untuk mengkaji pola dan modelisasi zat warna acrylamide ke adsorben karbon aktif, batu apung dan batubara dengan menentukan konstanta kecepatan adsorpsi dan kapasitas serap adsorben sehingga mendapatkan gambaran dari besarnya efisiensi karbon aktif, batu apung dan batubara dalam menurunkan tingkat pencemaran karena zat warna acrylamide dengan cara pemodelan.

Sebagai perbandingan dapat dilihat beberapa penelitian adsorpsi pada lampiran 1.4.

#### **1.4. Tujuan Penelitian**

Tujuan Umum :

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan teknik pengolahan air buangan proses pencelupan kain yang tepat dan murah dengan menggunakan proses adsorpsi.

Tujuan Khusus :

- a. Menentukan jenis adsorben yang paling sesuai untuk mereduksi zat warna acrylamide air buangan proses pencelupan kain dengan menggunakan karbon aktif, batu apung, batubara dan membandingkan persen pengurangan zat warna acrylamide dengan proses adsorpsi menggunakan media adsorben karbon aktif, batu apung dan batubara.
- b. Menganalisis pola adsorpsi zat warna acrylamide dalam kolom adsorpsi pada media yang paling sesuai untuk mereduksi zat warna acrylamide.
- c. Membuat model adsorpsi zat warna acrylamide pada media yang paling sesuai untuk mereduksi zat warna acrylamide.

#### **1.5. Manfaat Penelitian**

- a. Pengembangan ilmu dan teknologi khususnya tentang air buangan proses pencelupan dan pembilasan kain.
- b. Hasil penelitian yang diperoleh diharapkan dapat digunakan sebagai acuan bagi pembuatan unit pengolah limbah industri pencelupan kain dengan metode adsorpsi dan pemodelan yang diperoleh.
- c. Lingkungan industri pencelupan kain menjadi sehat dari pencemaran sehingga diperoleh industri pencelupan kain yang berwawasan lingkungan.

## 1.6. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimen dalam skala laboratorium yang meliputi :

- a. Penelitian pendahuluan terhadap karbon aktif batu apung dan batubara yang digunakan sebagai media adsorben yang meliputi karakteristik fisik (berat jenis dan ukuran partikel).
- b. Sampel yang digunakan adalah sampel buatan (artifisial) yang proses pembuatannya sama dengan pembuatan pada air buangan proses pembilasan dan pencelupan kain.
- c. Zat warna acrylamide merupakan parameter yang pokok yang dianalisis dan dimodelisasi.
- d. Dalam penelitian ini dilakukan proses batch dan proses alir kontinyu.
- e. Variasi yang dilakukan adalah variasi konsentrasi zat warna acrylamide 200 mg/l dan 300 mg/l, variasi laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>; 14,3 ml/menit.cm<sup>2</sup> dan variasi ukuran media 16-30 MESH, 50-100 MESH dan 100-200 MESH serta variasi ketinggian 20cm, 40cm, 60, 80cm dan 100cm.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pencemaran air akibat air Buangan Proses Pencelupan Kain

Pencemaran air adalah gejala pengotoran pada air karena penambahan organisme atau zat-zat lain sehingga tercapai tingkat yang mengganggu untuk penggunaan atau pemanfaatan serta kelestarian perairan tersebut. Air terkena pencemaran yang berat, apabila penambahan zat-zat tersebut relatif besar sehingga tidak mampu lagi membersihkan diri secara alamiah (*self purification*).

Pencemaran air oleh industri pencelupan kain pada umumnya disebabkan oleh proses-proses basah yang menghasilkan bahan buangan yang dapat mencemari air. Potensi pencemarannya pada proses pewarnaan/pencelupan dan proses pembilasan. Kualitas air buangan pada pencelupan dan pembilasan sangat tergantung pada sistem proses pengolahan dan jenis produksinya.

Salah satu indikator yang populer untuk menggambarkan seberapa besar beban pencemaran air dari buangan proses pencelupan dan pembilasan adalah adanya zat warna pada air buangan (Isminingsih, H, 1998).

Jenis zat pencemar dalam air buangan proses pencelupan dan pembilasan pada umumnya zat warna. Jumlah zat pencemar yang berupa zat warna dalam air buangan industri pencelupan tekstil untuk beberapa daerah tekstil di Indonesia dapat dilihat pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1.**  
Air buangan, jumlah zat pencemaran warna industri tekstil  
di beberapa daerah di Indonesia.

Daerah	Air buangan (m <sup>3</sup> /hari)	Zat Warna (mg/L)
DKI Jakarta	4.740,5	271,2
Jawa Barat	10966,4	69,9
Jawa Tengah	7.180,1	171,4
Yogyakarta	2.212,9	124,8
Jawa Timur	4.961,3	63,4
Bali	1.976,2	88,3
Sumatera	1.241,1	117,7

\* Data hasil Team Feasibility Study Persiapan Pendirian Laboratorium, Direktorat Jenderal Industri Tekstil Departemen Perindustrian dan Perdagangan, 2000.

Air buangan proses pencelupan dan pembilasan kain yang mengandung zat warna acrylamide merupakan air limbah yang mencemari lingkungan dan berbahaya. Acrylamide termasuk bahan pencemar kronis dan dikategorikan sebagai pencemar kronis karena akan menimbulkan kerusakan secara progresif tetapi lambat. Daya kerusakan tetap lebih tinggi dari daya pemulihan, sehingga lama kelamaan situasi akan semakin memburuk, kalau tidak ada tindakan perbaikan. Demikian juga sebagai pencemar berbahaya karena akan menimbulkan kerusakan biologis berat tetapi pemulihan masih mungkin dilakukan, asal dilakukan dengan cepat dan efektif. Hal ini akan menyebabkan kematian organisme dengan banyak jenis terancam kehidupannya. Akibat adanya air berwarna pekat maka penetrasi sinar matahari terhalang, menghambat fotosintesis, sehingga oksigen terlarut yang terdapat pada badan air berkurang. Pada proses ini terjadi proses dekomposisi akan menghasilkan gas metan, CO<sub>2</sub> dan gas H<sub>2</sub>S yang menimbulkan bau tidak sedap.

Pada proses pencelupan/pewarnaan kain kapas atau rayon biasanya menggunakan zat warna reaktif.

## 2.2. Zat Warna Acrylamide

Bahan baku utama untuk proses pencelupan kain adalah zat warna. Adapun jenis zat warna yang dipakai adalah jenis reaktif dengan nama dagang Primazine dengan rumus  $\text{CH}_2 \text{ CH CO NH}_2$  (acrylamide). Zat warna acrylamide merupakan senyawa yang dapat dipergunakan dalam bentuk larutan atau difusi kepada suatu bahan lain yaitu kain, sehingga kain berwarna. Molekul zat warna merupakan gabungan dari zat organik yang tidak jenuh, kromofor sebagai gugus pembawa warna pada zat warna yang mempunyai substantivitas terhadap serat dan auksokrom sebagai pengikat antar warna dengan serat.

Adapun sifat fisik dari acrylamide sebagai berikut (Prayitno, 2001) :

- Warna : Merah Tua
- Berat molekul : 71,08
- Rapat massa, g/ml pada 30 °C : 1,122
- Sifat kristal : *Monoclinic, ortclinic*
- Tidak berbau : *Ahin tabular to lamellar*

Acrylamide digunakan dalam pembuatan bahan-bahan kimia organik dan pewarna tekstil, bersifat racun, apabila terhisap, menyerap melalui kulit. Apabila kulit terkena acrylamide maka akan gatal-gatal, gejala jangka panjang akan menyebabkan kelumpuhan, kerusakan pada syaraf.

### 2.3. Media Adsorben

Padatan yang berfungsi untuk mengadsorpsi dikenal dengan adsorben. Adsorben tersebut dapat berbentuk serbuk (powder) atau butiran (granular) dan penggunaannya tergantung operasi adsorben tersebut berdiameter 50 mm (0,005 cm) hingga 0,5 inci (1,27 cm). Pemakaiannya antar lain untuk mengadsorpsi berbagai zat pengotor yang umumnya meliputi zat-zat organik, bau dan warna, koloid dan senyawa nitrat yang berada pada fluida cair. Selain itu juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi suatu gas yang tidak dikehendaki yang berada di dalam campuran gas.

Salah satu faktor yang penting dalam proses adsorpsi adalah luas permukaan adsorben persatuan berat adsorben. Bila dibandingkan terhadap ukuran partikel, luas permukaan internal pada pori-pori partikel lebih berpengaruh pada proses adsorpsi. Pori-pori berukuran sangat kecil yaitu berdiameter hanya beberapa molekul saja, tetapi menyediakan sejumlah besar luas permukaan adsorpsi. Sebagai contoh, charcoal yang dapat mengadsorpsi gas, mempunyai luas permukaan sekitar 100.000 m<sup>2</sup>/kg adsorben.

Beberapa partikel padatan adsorben yang penting dan secara komersil telah banyak digunakan dalam berbagai industri meliputi antara lain seperti berikut ini :

- a. *Fuller earth*, yaitu sejenis tanah liat alam yang merupakan mineral alam dan mengandung aluminium silikat, magnesium silikat. Biasanya, digunakan untuk menghilangkan warna, netralisasi pada industri minyak nabati dan hewani dan pengeringan pada industri petroleum (*lubricating*,

minyak kerosin, disel, dan gasolin). Untuk regenerasi adsorben dapat dilakukan dengan cara pencucian dan pemanasan untuk menghilangkan berbagai senyawa organik yang terakumulasi di permukaan adsorben.

- b. *Activated clay*, yaitu sejenis bentonit atau tanah liat, akan aktif bila sebelum digunakan dengan menggunakan asam sulfat atau asam klorida. Umumnya, digunakan untuk menghilangkan warna pada industri petroleum.
- c. Bauksit, yang membentuk senyawa untuk alumina hidrat, yang diaktifkan dengan pemanasan pada temperatur antara 450-1500°F. Biasanya digunakan untuk pengilangan warna dan pengeringan produk petroleum.
- d. Alumina, yang membentuk senyawa alumina oksida hidrat, dan dapat diaktifkan dengan cara pemanasan dan umumnya, digunakan untuk pengeringan gas atau cairan.
- e. *Bone-char*, berbentuk arang yang telah dikeringkan pada suhu 1100-1600°F dan digunakan untuk pemurnian gula.
- f. *Decolorizing carbon*, campuran antara bahan-bahan alam dengan campuran senyawa organik dan anorganik seperti  $\text{CaCl}_2$ . Seringkali zat ini digunakan untuk menghilangkan warna yang berada di dalam larutan gula dan industri kimia lainnya.
- g. *Silica gel*, digunakan untuk pengeringan dan pemurnian gas dan pemurnian petroleum distilat.
- h. *Molecular sieve*, yaitu sejenis zeolit sintetis atau logam alumino silikat yang umumnya digunakan untuk mengurangi atau menghilangkan kadar air (*dehidrasi*) yang terdapat di berbagai gas atau cairan.

Proses adsorpsi juga dapat digunakan untuk memisahkan campuran yang relatif sulit dipisahkan dengan cara distilasi, ekstraksi dan kristalisasi. Pada dasarnya, proses adsorpsi akan melibatkan berbagai tahap sebagai berikut :

1. Kontak antara fluida dengan padatan adsorben. Pada tahap ini terjadi adsorpsi fluida ke permukaan padatan adsorben, dan fluida yang adsorpsi disebut sebagai adsorbat.
2. Pemisahan fluida yang tidak mengalami adsorpsi
3. Regenerasi adsorben

Selain itu, juga diperlukan persyaratan lain, yaitu zat yang mengadsorpsi (adsorben) umumnya berada pada keadaan stasioner, sehingga terjadi kontak antara adsorbat dengan adsorben.

Bila dilihat dari mekanisme peristiwa adsorpsi di atas, proses yang terjadi hampir mendekati proses ekstraksi. Pada ekstraksi, perpindahan massa berlangsung dari fasa padat atau fasa cair ke fasa cair, sedangkan pada adsorpsi perpindahan massa berlangsung sebaliknya, yaitu dari fasa cair ke permukaan fasa padat.

Gas dan uap juga dapat mengalami kebalikan dari proses adsorpsi, yaitu proses desorpsi bila operasi berlangsung dengan mengurangi tekanan dan menaikkan temperatur antara adsorben dan adsorbat.

Dalam penelitian ini digunakan media adsorben karbon aktif, batu apung dan batubara.

### 2.3.1. Karbon Aktif

Karbon aktif adalah suatu bahan yang juga berupa karbon amorf yang sebagian besar terdiri dari karbon bebas serta mempunyai permukaan dalam (*internal surface*) sehingga mempunyai kemampuan daya serap

(adsorpsi) yang baik keaktifan untuk menyerap dari karbon aktif ini tergantung pada jumlah senyawaan karbon bebasnya yang berkisar 85-95%.

Sifat umum karbon aktif :

- Bentuk amorf, tidak berbau, tidak berasa
- Berwarna hitam
- Berupa zat inert, tidak larut dalam air, basa/asam encer, dan pelarut organik
- Pada suhu tinggi akan teroksidasi membentuk CO, CO<sub>2</sub>.
- Mempunyai kadar C tinggi, kadar abu dan kadar air rendah.

Kegunaan karbon aktif sebagai bahan pemucat (penghilang zat warna), penyerap gas, penyerap logam pada industri-industri minyak, gula, asam sitrat, MSG, kimia, farmasi (pemakaian pengobatan pil norit), penjernihan air, pembersih pelarut, bahan penambah dalam pengolahan limbah dengan senyawa aktif, karbon aktif dapat terbuat dari batu bara atau biomassa (kayu, tempurung kelapa, ampas debu, sekam padi). Dalam penerapannya pengolahan air limbah industri dengan adsorpsi karbon aktif akan lebih tepat pada pengolahan tersier/pengolahan lanjut.

### 2.3.2. Batu Apung

Hasil analisis kimia batuan menunjukkan reaksi batu apung mengandung oksida silika 46,68% - 62,26%, oksida alumunium antara 16,38%-28,53%, sedangkan kandungan oksidanya 10% - 20%. Kandungan air yang kurang lebih 10%.

### 2.3.3. Batubara

Batubara adalah suatu batu endapan yang terutama berasal dari zat organik. Mula-mula terjadi pengumpulan lumpur organik, lambat laun mengeras, kemudian berubah menjadi gambut. Setelah berumur jutaan tahun lapisan-lapisan endapan mengakibatkan penekanan-penekanan, sehingga bahan-bahan gambut ini menjadi lebih keras. Bilamana tekanan-tekanan itu disertai gerakan-gerakan atau perubahan-perubahan lapisan atas kulit bumi maka penekanan menjadi lebih besar lagi terjadilah batubara melalui proses pengarangan.

Dalam proses pengarangan yang memakan waktu jutaan tahun, kayu mula-mula menjadi gambut, kemudian menjadi batubara. Cadangan batubara di Indonesia mencapai  $33.064.10^6$  ton yang sebagian besar pemakaiannya untuk bahan bakar, konsumsi industri semen, ekspor dan batubara ini dapat dimanfaatkan sebagai media adsorpsi (Boesono, 2000). Batu bara adalah media yang mempunyai sumber karbon cukup besar (70–90%) dan digunakan sebagai bahan bakar dan pembuatan karbon aktif. Batubara umumnya mempunyai sifat non polar, membuat adsorpsi senyawa anorganik lebih sulit daripada adsorpsi senyawa organik dan membuat tingkat adsorpsi senyawa dengan polaritas rendah lebih baik dari senyawa polar (Cheremisinoff and Morresi, 1974).

## 2.4. Proses Adsorpsi

### 2.4.1. Model Adsorpsi

Proses adsorpsi merupakan salah satu perpindahan massa yang melibatkan kontak antara fluida dengan fasa padat dengan arah perpindahan massa dari fluida ke permukaan padatan. Mekanisme proses

adsorpsi, pada dasarnya adalah cukup kompleks. Hal ini dapat dijelaskan dengan menggunakan berbagai tipe adsorpsi. Berbagai jenis adsorpsi melibatkan peristiwa fisika maupun kimia. Adsorpsi terhadap zat pengotor atau zat organik kepermukaan adsorben dapat digolongkan adsorpsi fisik. Proses adsorpsi kimia antar atom-atom atau molekul pada permukaan zat padat. Peristiwa tersebut disertai dengan perpindahan ion yang dikenal dengan proses pertukaran ion.

Berbagai ciri adsorpsi fisika antara lain :

- a. Gas terkondensasi pada permukaan padatan pada tekanan relatif rendah dan pada temperatur yang bersangkutan.
- b. Panas kondensasi harganya lebih besar bila dibandingkan terhadap panas penguapan (*latent*).
- c. Proses dapat berlangsung secara *reversibel* (dapat balik).
- d. Temperatur adsorpsi lebih rendah.

Ciri adsorpsi kimia antara lain :

- a. Gaya adsorpsi dikenal sebagai *activated adsorption*
- b. Panas yang dibebaskan umumnya relatif lebih besar bila dibandingkan terhadap panas adsorpsi fisika.
- c. Proses yang berlangsung tidak reversibel dan berlaku untuk semua gas.
- d. Gaya adesif harganya jauh lebih besar bila dibandingkan terhadap adsorpsi fisik.
- e. Laju adsorpsi relatif cepat dan digunakan untuk berbagai reaksi kimia yang melibatkan katalis.

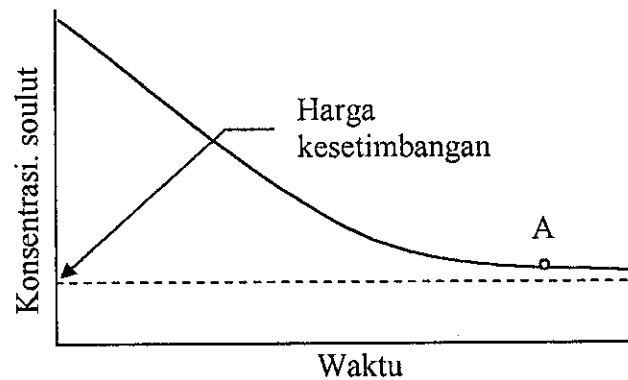
Proses adsorpsi kimia umumnya digunakan untuk pelunakan air (*water softening*) umpan boiler

#### 2.4.2. Proses Adsorpsi yang Berkontak Secara Batch

Salah satu aplikasi proses adsorpsi adalah untuk memperoleh kembali (*recovery*) uap dari larutan yang bercampur dengan gas, *recovery solut* dari larutan dan adsorpsi zat pengotor yang terdapat di dalam larutan. Dalam pelaksanaan operasi umumnya diasumsikan bahwa hanya terdapat satu komponen yang dapat diadsorpsi. Pada dasarnya, operasi tersebut mirip dengan operasi ekstraksi. Teknik pengoperasiannya melibatkan operasi tahap dan kontak dapat berlangsung secara batch, semi-continue maupun continue.

Dalam operasi adsorpsi, jenis adsorpsi yang digunakan tergantung pada larutan pada larutan yang akan diadsorpsi. Sebagai contoh, larutan organik seperti minyak bumi dapat diadsorpsi oleh padatan anorganik (karbon aktif atau clay).

Gambar 2.1. di bawah ini ditunjukkan kurva kesetimbangan adsorpsi yang beroperasi secara batch. Konsentrasi dan viskositas cairan, ukuran partikel adsorben dan intensitas pengadukan berpengaruh terhadap kurva kesetimbangan. Pengadukan atau mempercepat terjadinya kontak antara cairan dengan partikel adsorben, sehingga proses adsorpsi dapat dipercepat. Dititik A, penambahan waktu adsorpsi tidak berpengaruh terhadap konsentrasi zat terlarut. Kenaikan temperatur akan menurunkan viskositas cairan, sehingga berpengaruh terhadap kesetimbangan adsorpsi. Kemungkinan yang terjadi adalah peristiwa difusi zat terlarut ke dalam cairan.



**Gambar 2.1.** Kurva kesetimbangan pada adsorpsi Batch

Sistem batch merupakan pengoperasian yang sederhana, tetapi kurang efisien. Tujuan dari sistem ini adalah untuk mengetahui karakteristik adsorbat dan adsorben yang dinyatakan dalam hubungan antara penurunan adsorbat (acrylamide) dan berat adsorben dalam suatu koefisien dari persamaan yang ada.

Partikel adsorben aktif ditempatkan di dalam larutan berisi larutan organik dan diaduk untuk mendapatkan kontak yang merata sehingga terjadi proses adsorpsi. Konsentrasi larutan yang berisi zat organik berkurang dari konsentrasi awalnya ( $C_0$ ) ke konsentrasi setimbang ( $C_e$ ) jika waktu kontak cukup. Biasanya, kesetimbangan terjadi antara 1 – 4 jam (Reynolds, 1982). Menurut Sundstrom dan Klei (1979), waktu untuk mencapai kondisi setimbang tergantung pada konsentrasi larutan, jumlah adsorben, ukuran adsorben dan pengadukan.

Percobaan batch dengan selang waktu tertentu akan mendapatkan hubungan antara konsentrasi kesetimbangan ( $C_e$ ) dan jumlah senyawa organik teradsorp ( $x$ ) per unit massa karbon aktif ( $m$ ) (Reynolds, 1982).

**a. Isoterm Adsorpsi**

Isoterm adsorpsi adalah hubungan kesetimbangan antara konsentrasi fasa fluida dan konsentrasi di dalam *adsorbent* pada suhu tertentu. (McCabe, 1990).

Metode adsorpsi terpenting yang menggambarkan kesetimbangan isotermal adalah rumus Langmuir, dan *Branauer-Emmett-Teller (BET)*. Rumus *BET* adalah rumus yang umum digunakan untuk multi layer adsorpsi. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut :

$$X = \frac{X_m A C}{(C_s - C)[(1 + A(C/C_s))]}$$
 ..... (2,1)

dengan :

X = kapasitas karbon yang diamati

X<sub>m</sub> = kapasitas akhir

A = konstanta yang berhubungan dengan energi

C = konsentrasi zat terlarut dalam larutannya pada saat setimbang.

**b. Isoterm Freundlich**

Isoterm ini dirumuskan sebagai berikut (Metcalf and Eddy, 1991) :

$$\frac{X}{M} = k C^{\frac{1}{n}}$$
 ..... (2,2)

Keterangan :

$\frac{X}{M}$  = konsentrasi maksimum zat yang terserap dalam fase padat

k, n = konstanta

C = konsentrasi zat terlarut dalam larutannya pada saat setimbang.

Persamaan ini berbentuk parabolik. Untuk membuatnya linier, maka persamaan diubah dalam bentuk logaritmik, sehingga persamaan menjadi :

$$\text{Log } \frac{X}{M} = \text{Log } k + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots (2,3)$$

Persamaan dalam bentuk logaritmik tersebut memberikan kurva garis lurus. Pada waktu menggunakan isoterm Freundlich, fleksibilitas k dan n memungkinkan percocokan dengan kurva.

### c. Isoterm adsorpsi Langmuir

Langmuir menganggap permukaan suatu zat terdiri dari ruang elementer yang masing-masing dapat mengadsorpsi satu molekul gas. Langmuir mengandaikan bahwa semua ruang erlementer adalah identik dalam afinitasnya untuk molekul gas dan adanya molekul ruang yang ada di dekatnya.

Rumus *Isotermuir Langmuir* untuk adsorpsi larutan adalah (Metcalf and Eddy, 1991). :

$$\frac{X}{M} = \frac{a b C}{1 + b C} \dots\dots\dots (2,4)$$

keterangan :

a, b = konstanta Langmuir

$\frac{X}{M}$  = konsentrasi maksimum zat yang terlarut dalam larutannya

dalam keadaan setimbang

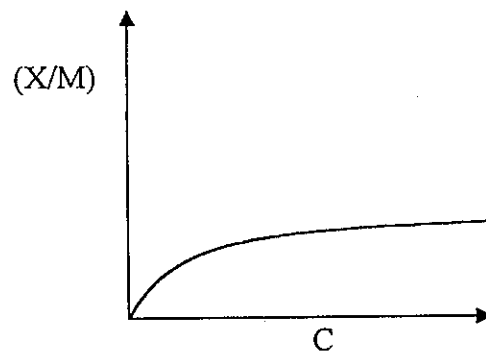
C = konsentrasi zat terlarut dalam larutannya pada saat setimbang

Untuk menentukan konstanta b dan a, rumus di atas diubah menjadi rumus:

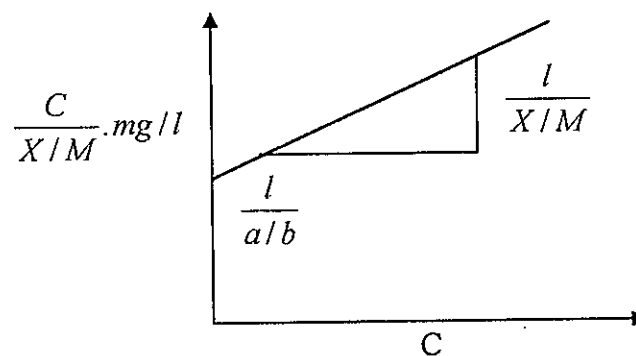
$$\left[ \frac{C}{X/M} \right]^0 = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a}C \dots\dots\dots (2,5)$$

dengan plot pada grafik antara  $\left[ \frac{C}{X/M} \right]$  vs  $\left[ \frac{1}{C} \right]$  akan diperoleh slope

$\left( \frac{1}{X/M} \right)$  dan intercept  $\frac{1}{ab}$ .



**Gambar 2.2.** Bentuk Kurva Adsorpsi Isoterm Langmuir



**Gambar 2.3.** Kurva Linier Adsorpsi Isoterm Langmuir

Rumus 4 didasarkan atas asumsi-asumsi, yaitu :

- 1) Adsorpsi dibatasi oleh lapisan tunggal dari molekul-molekul terlarut
- 2) Molekul adsorbat tidak bebas berpindah ke permukaan
- 3) Entalpi adsorpsi sama untuk semua molekul

### 2.4.3. Proses Adsorpsi yang Berkontak Secara Kontinyu

Proses pengoperasian secara kontinyu lebih menguntungkan daripada sistem batch, hal ini karena adsorben selalu berkontak dengan larutan yang segar sehingga konsentrasi yang berkontak relatif konstan. Pada laboratorium proses kontinyu digunakan untuk mendapatkan data untuk dasar dalam mendesain suatu sistem pengolahan air, dengan menggunakan kolom tes sistem kontinyu akan diketahui lamanya waktu operasi dan volume terolah oleh adsorben sampai kondisi jenuh. Pada kolom kontinyu terjadi perpindahan massa adsorbat ke adsorben, sehingga dapat ditentukan konstanta dengan laju perpindahan massa ( $k_1$ ) dan kapasitas serap karbon aktif ( $q_0$ ) dalam proses adsorpsi kontinyu berdasarkan rumus Thomas (1948) :

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + k_1/Q(q_0 \cdot M - C_0 V)}$$

keterangan :

C = Konsentrasi effluent (mg/L)

C<sub>0</sub> = Konstrasi effluent (mg/L)

k<sub>1</sub> = Laju perpindahan massa (ml/mg s)

M = Massa adsorben (gram)

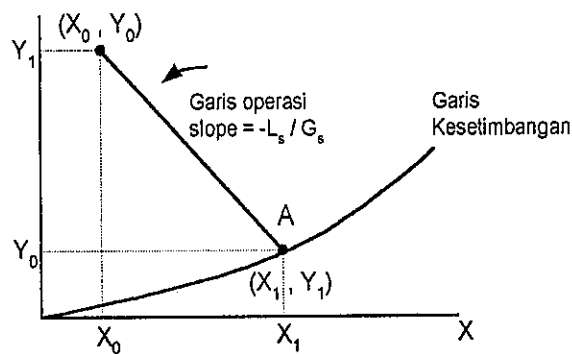
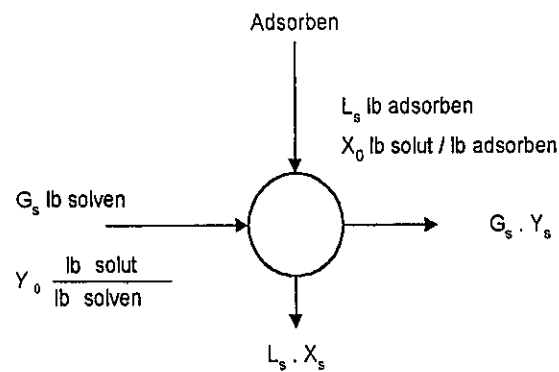
V = Volume total effluent (liter)

Q = Laju alir limbah (ml/s)

q<sub>0</sub> = Berat Adsorbat / berat adsorben (mg/q)

#### a. Operasi kontinyu tunggal

Skema operasi tahap tunggal (*single stage operation*) ditunjukkan oleh Gambar 2.2. berikut, dengan anggapan bahwa partikel adsorben tidak larut atau tidak bereaksi dengan perut.



Gambar 2.4. Operasi adsorpsi satu tahap yang berlangsung secara partial.

Sejumlah larutan yang tidak diadsorpsi dinyatakan dengan  $G_s$  (kg pelarut) dan konsentrasi zat yang diadsorpsi dinyatakan dengan  $Y_0$  dan  $Y_1$  (kg *solut*/kg adsorben). Jumlah adsorben yang ditambahkan dengan  $L_s$  (kg adsorben bebas *solut*) dan konsentrasi zat terlarut yang diadsorpsi akan bertambah dari  $X_0 = 0$ , maka hubungan berbagai parameter tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$G_s (Y_0 - Y_1) = L_s (X_1 - X_0) \quad (2.7)$$

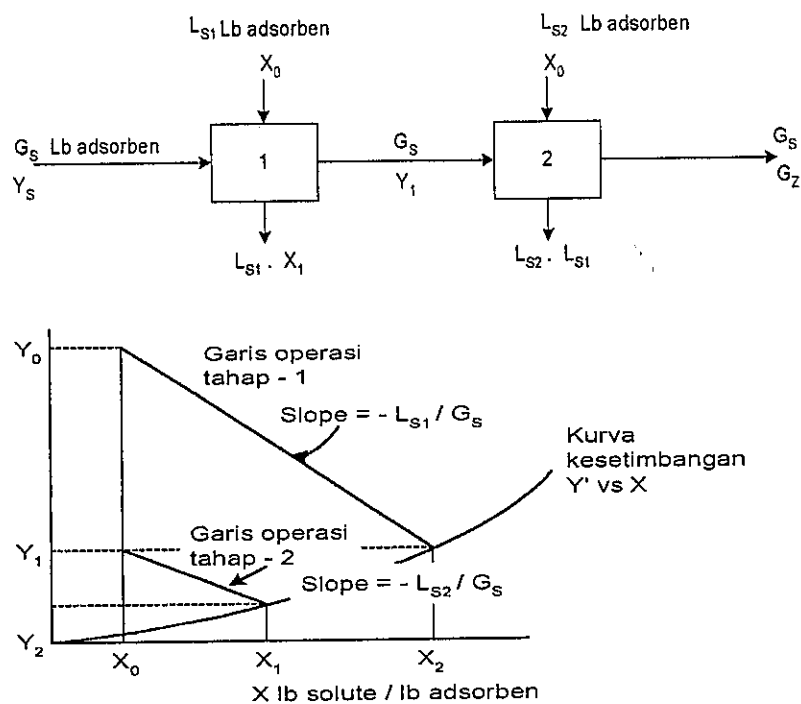
Bila diplot dalam koordinat  $X$  dan  $Y$ , persamaan terakhir tersebut akan membentuk garis lurus (linier) yang melalui titik  $(X_0, Y_0)$  dan  $(X_1, Y_1)$  dengan kemiringan (slope)  $-L_s/G_s$ . Kondisi di atas dikenal sebagai operasi senambung atau kontinyu dan bertahap tunggal.

Bila diasumsikan bahwa tahap operasi adalah ideal, maka aliran efluen berada dalam keadaan keseimbangan, sehingga titik  $(X_1, Y_1)$  juga berada di kurva kesetimbangan. Bila waktu kontak antara zat terlarut dengan adsorben tidak atau belum cukup, maka titik  $(X_1, Y_1)$  tidak berada di kurva kesetimbangan, melainkan berada di atas garis kurva kesetimbangan.

b. Operasi aliran silang terhadap dua

Penggunaan metode tersebut dapat menghemat penggunaan partikel adsorben bila operasi berlangsung secara kontinyu.

Skema operasi adsorpsi yang berlangsung dua tahap diperhatikan di Gambar 2.5. berikut. Pada gambar tersebut,  $L_{s1}$  dan  $L_{s2}$  masing-masing ditambahkan ke tahap-1 dan tahap-2, yang berfungsi untuk mengurangi konsentrasi zat terlarut (*solut*) dari  $Y_0$  menjadi  $Y_1$ .



**Gambar 2.5.** Adsorpsi dilakukan dengan aliran menyilang yang berlangsung dua tahap.

Persamaan neraca massa untuk operasi di atas ditulis sebagai berikut :

$$\text{Tahap-1 : } G_s (Y_0 - Y_1) = L_{s1} (X_1 - X_0) \quad (2.8)$$

$$\text{Tahap-2 : } G_s (Y_1 - Y_2) = L_{s2} (X_2 - X_0) \quad (2.9)$$

Kedua persamaan terakhir menunjukkan proses adsorpsi berlangsung di masing-masing tahap. Jika jumlah adsorben yang digunakan di masing-masing tahap sama besar, maka kedua garis operasi akan sejajar atau mempunyai kemiringan yang sama.

Apabila operasi dianggap merupakan adsorpsi isotermik dan untuk masing-masing tahap operasi menggunakan adsorben yang baru atau  $Y_0 = 0$ , jumlah adsorben yang digunakan untuk operasi tersebut dapat dihitung dengan memakai persamaan :

1. Untuk operasi tahap pertama

$$\frac{L_{s1}}{G_s} = \frac{Y_0 - Y_1}{(Y_1/k)^{1/n}} \quad (2.10)$$

2. Untuk operasi tahap kedua

$$\frac{L_{s2}}{G_s} = \frac{Y_0 - Y_2}{(Y_2/k)^{1/n}} \quad (2.11)$$

Penggabungan kedua persamaan terakhir di atas menghasilkan hubungan berikut :

$$\frac{L_{s1} + L_{s2}}{G_s} = k^{1/n} \left[ \frac{Y_0 - Y_1}{Y_1^{1/n}} + \frac{Y_1 - Y_2}{Y_2^{1/n}} \right] \quad (2.12)$$

Persamaan 2.12 di atas merupakan jumlah adsorben total yang diperlukan untuk tahap operasi tersebut. Untuk menghitung jumlah partikel padatan adsorben total minimum, maka persamaan terakhir didiferensialkan terhadap  $Y$  atau  $d[(L_1 + L_2) / G_s] / dY$  dan harganya

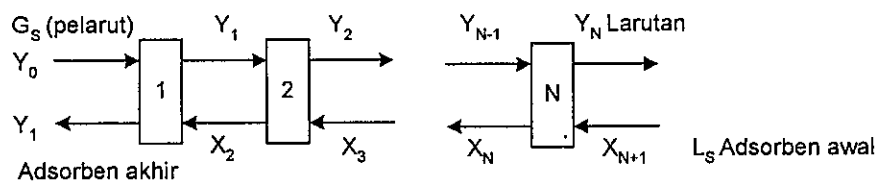
diset sama dengan nol serta  $k$ ,  $n$ ,  $Y_0$  dan  $Y_2$  berharga konstan, maka akan didapat hubungan sebagai berikut :

$$\left(\frac{Y_1}{Y_2}\right)^{1/n} \frac{1}{n} \left(\frac{Y_0}{Y_1}\right) = 1 - \frac{1}{n} \quad (2.13)$$

Persamaan (2.12) di atas digunakan untuk menghitung konsentrasi solut ( $Y$ ), sedangkan persamaan (2.10) dan persamaan (2.11) untuk menghitung jumlah zat terlarut ( $L$ ) yang diadsorpsi.

c. Operasi aliran silang tahap banyak

Untuk menghemat jumlah pemakaian partikel adsorben, umumnya, aliran proses adalah berlawanan arah seperti pada proses ekstraksi. Gambar 2.6 di bawah ini menunjukkan skema proses adsorpsi tahap banyak (multistage) yang berlangsung dengan aliran berlawanan arah. Sebagai contoh, operasi tersebut dapat digunakan untuk memisahkan berbagai logam terhadap logam emas (Au) dan perak (Ag), yang ke semuanya larut dalam larutan sianida dengan menggunakan karbon aktif.



**Gambar. 2.6.** Adsorpsi tahap banyak (multistage) yang berlangsung dengan aliran berlawanan arah.

Dari modifikasi persamaan 2.7 untuk zat terlarut di tahap-N, diperoleh hubungan berikut :

$$G_s (Y_0 - Y_N) = L_s (X_1 - X_N + 1) \quad (2.14)$$

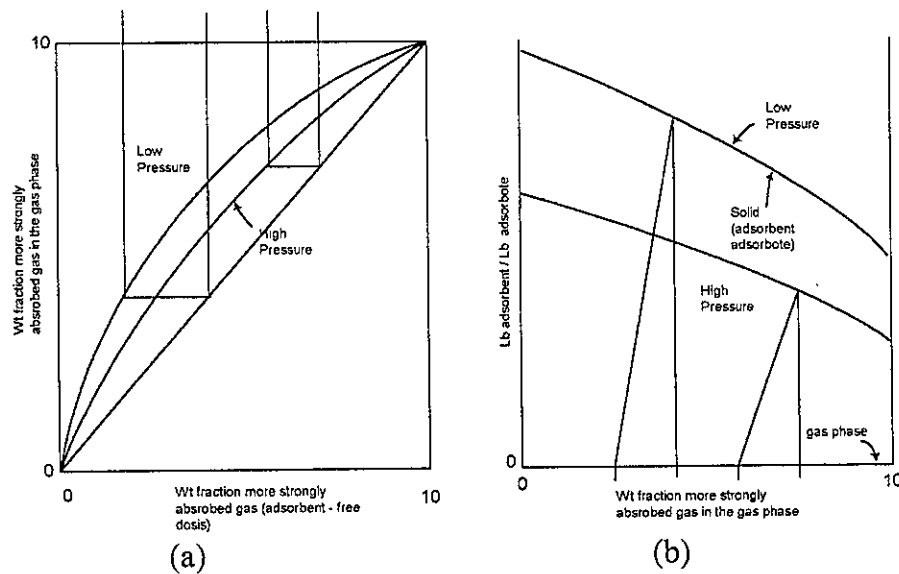
Sebagai alternatif digunakan perbandingan antara jumlah adsorben terhadap jumlah larutan guna menentukan jumlah tahap operasi. Kondisi tersebut dapat dicapai dengan cara menentukan lokasi garis operasi coba-coba (*trial and error*).

Perbandingan antara jumlah adsorben terhadap pelarut harganya minimum bila jumlah tahap yang diperlukan tidak terbatas. Kondisi tersebut ditandai dengan kemiringan garis operasi mempunyai harga paling besar. Hal ini tampak jelas ditunjukkan oleh gambar 2.7a. berikut, yang berbentuk *concave upward* (cekung ke atas).

Titik A merupakan konsentrasi akhir larutan. Gambar 2.7b mempunyai kasus yang sama, tetapi gambar tersebut berbentuk *concave downward* (cekung ke bawah).

Bila tahap operasi bertambah, jumlah adsorben berkurang dengan cepat hingga mendekati harga minimum. Dalam praktis, bila di antara setiap dua tahap dilakukan filtrasi terhadap adsorben, biaya operasi relatif lebih ekonomis bila dibandingkan terhadap operasi yang dilakukan dengan dua tahap dengan aliran berlawanan arah.

Dalam operasi skala kecil (laboratorium), dapat dilakukan variasi sejumlah larutan untuk pengolahan di antara proses pertalian yang satu dengan pertalian berikutnya.



**Gambar 2.7.** Garis operasi dan perbandingan antara adsorben terhadap pelarut yang mempunyai harga minimum (a). Cekung ke atas (b). Cekung ke bawah.

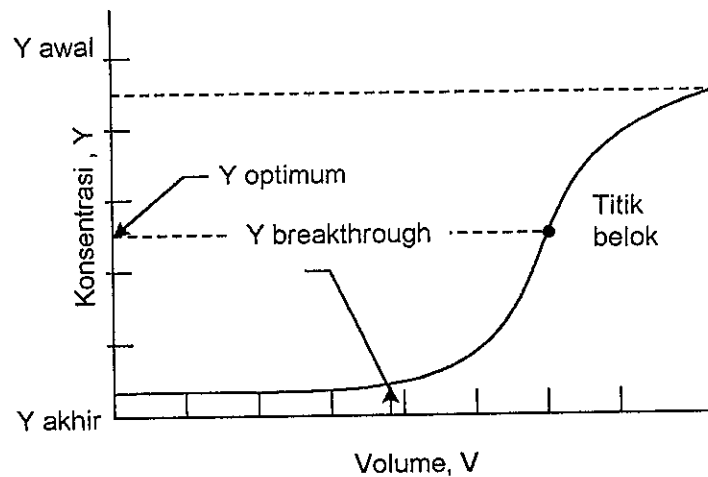
#### 2.4.4. Analisis adsorpsi pada unggun diam

Beberapa proses yang melibatkan adsorpsi atau pertukaran ion umumnya melibatkan berbagai perhitungan. Gambar berikut menunjukkan skema adsorpsi dengan model unggun diam (*fixed-bed*). Pada sistem relatif sederhana digunakan untuk adsorpsi gas. Meskipun akhir-akhir ini dikembangkan untuk adsorpsi cairan maupun untuk pertukaran ion.

Padatan adsorben akan mengadsorpsi zat terlarut hingga kondisi setimbang. Bila operasi adsorpsi berlangsung kontinyu, pada suatu saat adsorben akan jenuh, sehingga konsentrasi umpan sama dengan konsentrasi efluen.

Waktu yang diperlukan untuk mencapai unggun dalam keadaan jenuh (*Saturated*) merupakan fungsi kapasitas unggun, laju alir umpan dan konsentrasi zat terlarut (zat yang diadsorpsi).

Hubungan antara waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi unggul mulai jenuh dengan jumlah massa yang keluar (efluen) ditunjukkan oleh gambar (2.8). Pada gambar tersebut ditunjukkan bahwa operasi adsorpsi harus dihentikan bilamana konsentrasi efluen (Y) mengalami perubahan secara cepat. Kondisi tersebut dikenal sebagai *breakthrough curve*. Volume yang diperoleh pada kondisi tersebut volume *breakthrough*.



**Gambar 2.8.** Kurva breakthrough pada proses adsorpsi

Kecepatan adsorpsi yang melalui unggul dipengaruhi beberapa variabel sistem. Bila laju alir zat terlarut  $V'$ ,  $Y_1$  dengan  $V'$  adalah laju alir fluida zat terlarut bebas pelarut pada unggul, maka berlaku hubungan berikut :

$$V' \cdot Y_{1,t} = X_1 - \rho_B \cdot S_{zi} + \epsilon Y_1 S_{zi} \quad (2.15)$$

dengan :

$\rho_B$  = kerapatan curah dari adsorben ( $\text{kg/m}^3$ )

$X_1$  = berat solut/berat adsorben pada keadaan setimbang

$\epsilon$  = fraksi kosong dari unggul

$\epsilon Y_1$  = zat terlarut yang mengisi rongga kosong

$t$  = waktu adsorpsi

jarak zat terlarut ke unggun dan waktu adsorpsi merupakan variabel, sehingga kecepatan perubahan jarak dinyatakan oleh hubungan berikut :

$$\frac{dz}{dt} = \frac{V \cdot Y_1}{S(X_i P_B + \varepsilon Y_1)} \quad (2.16)$$

Waktu yang diperlukan hingga unggun dalam keadaan jenuh ( $t_s$ ) dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$t_s = \frac{(x_1 P_B + \varepsilon Y_1) \cdot Sz}{V \cdot Y_1} \quad (2.17)$$

Berat efluen yang diperoleh pada kondisi tersebut adalah sebesar :

$$M_s = V \cdot ts \frac{(x_1 P_B + \varepsilon Y_1) \cdot s \cdot Z}{Y_1} \quad (2.18)$$

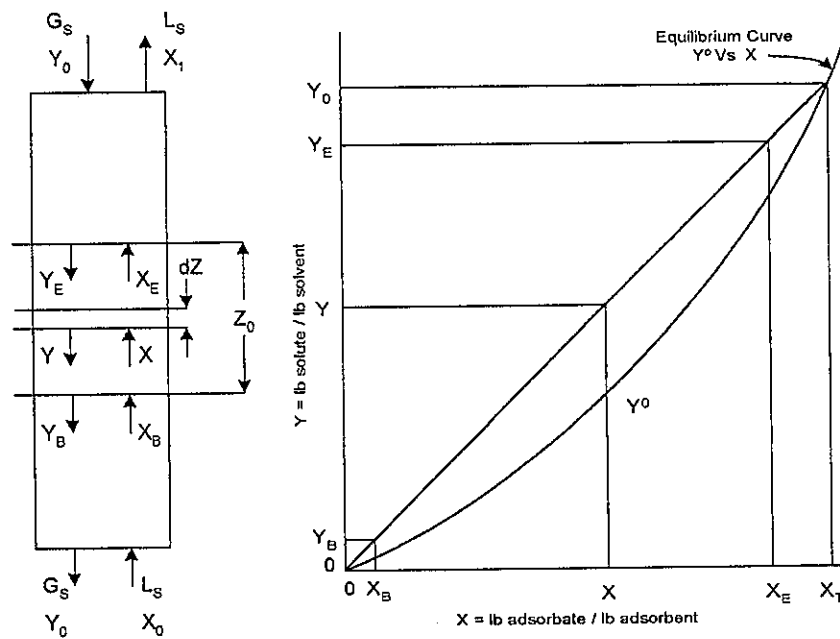
Dalam kenyataan, kecepatan perpindahan massa adalah terbatas, sehingga tidak semua zat terlarut dapat diadsorpsi. Pada keadaan jenuh, laju adsorpsi menjadi berkurang.

#### a. Zona adsorpsi

Zona adsorpsi berhubungan dengan kurva yang merupakan konsentrasi *breakthrough*, yaitu konsentrasi zat terlarut berubah dengan cepat. Zona adsorpsi didefinisikan sebagai panjang unggun yang mempunyai perubahan konsentrasi dari  $Y_1$  menjadi  $Y_s$  dalam selang pada waktu tertentu. Selama proses adsorpsi, zona adsorpsi dijaga konstan dan proses =

1. Berlangsung isoterm (panas adsorpsi relatif kecil)
2. Kurva kesetimbangan adsorpsi adalah cekung ke atas

Gambar 2.9. berikut menunjukkan skema zona adsorpsi dalam kolom berunggun diam yang dilengkapi dengan kurva kesetimbangan.



Gambar 2.9. Skema zona adsorpsi dan kurva kesetimbangan

Waktu total yang diperlukan proses adsorpsi hingga adsorben dalam keadaan jenuh (*saturated*) dihitung dengan memakai persamaan berikut :

$$t_s = \frac{m_s}{V'} \tag{2.19}$$

dengan  $m_s$  adalah jumlah efluen yang terakumulasi sampai kondisi adsorben dalam keadaan jenuh dan  $u'$  adalah laju alir fluida.

Bila  $t_f$  adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh zona adsorpsi dan  $(t_s - t_f)$  adalah waktu yang diperlukan untuk melalui unggun, bila  $t_a$  adalah waktu yang diperlukan pada proses adsorpsi yang menempuh jarak  $Z_a$ , maka :

$$t_a = \frac{m_a}{V'} \tag{2.20}$$

sedangkan berat efluen adalah sebesar =

$$m_a = m_s - m_b \tag{2.21}$$

dengan  $m_b$  adalah berat efluen pada kondisi *breakthrough*.

Bila panjang kolom unggun  $Z$ , maka besarnya adalah :

$$Z = Z_a \left( \frac{t_s - t_i}{t_u} \right) \quad (2.22)$$

dengan  $Z_a$  adalah tinggi zona adsorpsi

Persamaan terakhir 2.22 di atas menunjukkan hubungan antara tebal zona adsorpsi dan tinggi kolom.

Bila zona adsorpsi dalam keadaan jenuh, maka jumlah zat terlarut ( $M_a - Y_1$ ) dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$M_a \cdot Y_1 = S \int_{m_b}^{m_s} y_1 \cdot dm \quad (2.23)$$

persamaan terakhir di atas merupakan luas di bawah kurva.

Unggun masih dapat mengadsorpsi sebesar :

$$\int_{m_b}^{m_s} (Y - Y_1) dm \quad (2.24)$$

sama dengan luas di atas kurva  $M_a \cdot Y_1$ . kapasitas adsorpsi pada keadaan tak jenuh dinyatakan dengan fraksi dari kapasitas total yaitu :

$$f = \frac{\int_{m_b}^{m_s} (Y_1 - Y) dm}{M_a - Y_1} \quad (2.25)$$

Fraksi  $f$  tergantung pada bentuk dan kemiringan kurva *breakthrough*, umumnya, mendekati harga 0,5. Waktu  $t_i$  dapat dinyatakan dengan :

$$t = (1 - f) t_s \quad (2.26)$$

gabungan antara persamaan  $Z_a = z \left( \frac{t_a}{t_s - t_i} \right)$  dengan persamaan

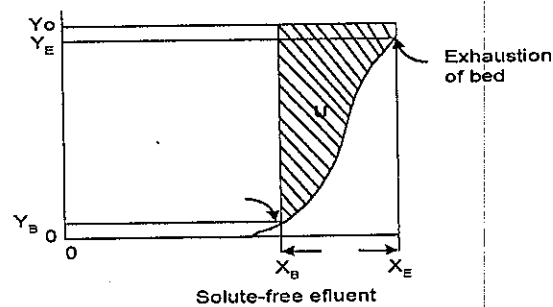
terakhir diperoleh hubungan berikut :

$$Z_a = Z \frac{t_a}{t_s - (1-f)t_a} \quad (2.27)$$

karena  $M = V' \cdot t$ , maka

$$Z_a = Z \frac{m_a}{m_s - (1-f)m_a} \quad (2.28)$$

Gambar 2.10 menunjukkan hubungan antara konsentrasi zat terlarut terhadap berat zat terlarut.



**Gambar 2.10.** Idealisasi kurva breakthrough

#### 2.4.5. Unit perpindahan massa

Kecepatan adsorpsi di daerah zona adsorpsi dapat dijelaskan dengan menggunakan konsep unit perpindahan massa di zona adsorpsi dalam anggun diam. Persamaan neraca massa antara bagian atas kolom dan bagian zona adsorpsi ditulis sebagai berikut :

$$L' \cdot X_2 + V' \cdot Y = L' \cdot X + V' Y_2 \quad (2.29)$$

$X_2$  dan  $y_2$  sama dengan nol; maka

$$V' Y = L' \cdot X \quad (2.30)$$

Persamaan terakhir di atas menunjukkan garis linier dengan kemiringan  $L'/V'$ . Garis operasi ditunjukkan oleh gambar di atas ini. Laju adsorpsi mempunyai hubungan dengan perpindahan massa di sekitar tinggi  $dz$  ditulis sebagai berikut :

$$d(V', Y) = K_y a (Y^* - Y) S \cdot dz \quad (2.31)$$

dengan  $V'$  dan  $S$  adalah konstan  $K_y a$  dapat diasumsikan konstan.

Persamaan terakhir dapat diintegrasikan menjadi :

$$\begin{aligned} Z_a &= \int_0^{Z_a} dz = \frac{V'}{K_y \cdot a \cdot S} \int_{y_b}^{y_s} \frac{dy}{Y^2 - Y} \\ &= H_{OG} \cdot N_{OG} \end{aligned}$$

atau

$$Z_Y = \frac{N'}{K_y a S} \int_{y_b}^y \frac{dy}{Y^* - Y} \quad (2.32)$$

Perbandingan antara  $Z_y/Z_a$  diperoleh hubungan berikut :

$$Z_y = \frac{m - mb}{mg - (1-f) ma} \quad (2.33)$$

dengan ini adalah berat efluen pada zona  $Z_y$ .

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Kerangka Pemikiran

Pada umumnya air buangan industri pencelupan kain yang menggunakan zat warna reaktif mengandung kotoran-kotoran pencemar yang bermuatan negatif berupa partikel-partikel koloid yang tinggal sebagai suspensi dengan ukuran yang bervariasi mulai dari beberapa Angstrom untuk yang terlarut sampai beberapa ratus mikron untuk partikel koloid kasar.

Zat warna reaktif merupakan zat organik aromatik yang sukar diuraikan komponennya karena ukuran partikel yang kecil dan larut dalam air sehingga diperlukan suatu zat yang dapat menjerap zat warna reaktif tersebut. Kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi dipengaruhi oleh ukuran diameter adsorbennya sendiri, luas permukaan aktif, konsentrasi zat yang akan diadsorpsi dalam air buangan. Dasar pengukuran dalam penelitian ini adalah pengurangan warna yang dinyatakan dengan pengurangan konsentrasi zat warna dalam air limbah yang ditunjukkan oleh alat spektrofotometer.

Limbah cair industri kecil pencelupan kain diambil untuk studi awal penentuan kisaran konsentrasi zat warna, kemudian dianalisa dahulu parameternya yaitu jenis dan ukuran adsorbennya. Kemudian dilakukan percobaan pendahuluan untuk menentukan karakteristik fisik media adsorbennya. Untuk menentukan jenis media yang paling sesuai untuk mereduksi zat warna acrylamide dengan menggunakan proses batch. Untuk

menentukan pola adsorpsi dan modelisasi yang paling cocok dalam penghilangan zat warna maka dilakukan eksperimen kolom dengan menggunakan media yang paling efektif sebagai adsorben.

Dari kurva terobosan akan dapat ditentukan adsorben dalam penghilangan warna limbah industri pencelupan kain, konstanta kecepatan adsorpsi ( $k_1$ ) dan kapasitas serap adsorben ( $q_0$ ).

### 3.2. Tipe dan Langkah-langkah Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimen di laboratorium yang bertujuan menganalisa pola adsorpsi zat warna (acrylamide) dengan media karbon aktif, batu apung dan batubara sebagai sarana zat mengadsorp pengolahan air limbah industri pencelupan kain. Eksperimen terdiri dari dua bagian utama yaitu eksperimen batch dan eksperimen kolom.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

#### 3.2.1. Pekerjaan Persiapan

##### a. Persiapan media karbon aktif, batu apung dan batubara

Karbon aktif, batu apung dan batubara yang digunakan dalam penelitian ini adalah produk komersil yang dijual di pasaran. Karbon aktif yang digunakan terbuat dari bahan baku kayu. Langkah pertama dalam tahap ini adalah mengayak karbon aktif, batu apung dan batubara menggunakan penyaring elektrik untuk mendapatkan karbon aktif, batu apung dan batubara masing-masing dengan kisaran ukuran I 16-30 MESH, ukuran II 30-50 MESH dan ukuran III 50-100 MESH yang

seragam. Karbon aktif, batu apung dan batubara dihilangkan kandungan airnya dengan cara dipanaskan pada kondisi vakum dalam *vacuum furnace* pada temperatur 105 °C dan tekanan 50 mbar selama 12 jam. Demikian diharapkan dengan perlakuan ini selain untuk menghilangkan kadar air, juga untuk mensterilkan karbon aktif, batu apung dan batubara dari kehadiran mikroorganisme yang dapat mengakibatkan terjadinya kapasitas semu dari karbon aktif batu apung dan batubara.

b. Persiapan zat warna (acrylamide)

Menyiapkan zat pewarna (acrylamide) yang diperlukan dalam penelitian ini.

c. Pembuatan kurva kalibrasi

- Pembuatan kurva kalibrasi dari pembacaan alat spektrofotometer model 390 dengan panjang gelombang minimum yang bisa digunakan 420 nm dan panjang gelombang maksimumnya 980 nm.
- Sebelum alat tersebut digunakan, dipanaskan selama 30 menit. Kemudian larutan contoh dimasukkan dalam cuvet dengan terlebih dahulu dibuat posisi skala nol untuk pembacaan absorbansi dengan menggunakan blangko aquades, panjang gelombang dicari diantara kisaran 500-570 nm. Panjang gelombang yang akan dipakai untuk pengukuran sampel adalah panjang gelombang yang memiliki pembacaan absorbansi maksimum terhadap satu jenis sampel.
- Untuk membuat kurva kalibrasi dibuat 19 buah larutan zat warna dengan konsentrasi 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, dan 100 mg/L; kemudian diukur nilai

absorbansinya pada panjang gelombang yang telah dicari dan ditentukan pada percobaan sebelumnya.

d. Menyiapkan peralatan percobaan batch

Disiapkan peralatan jar test yang dilengkapi dengan peralatan :

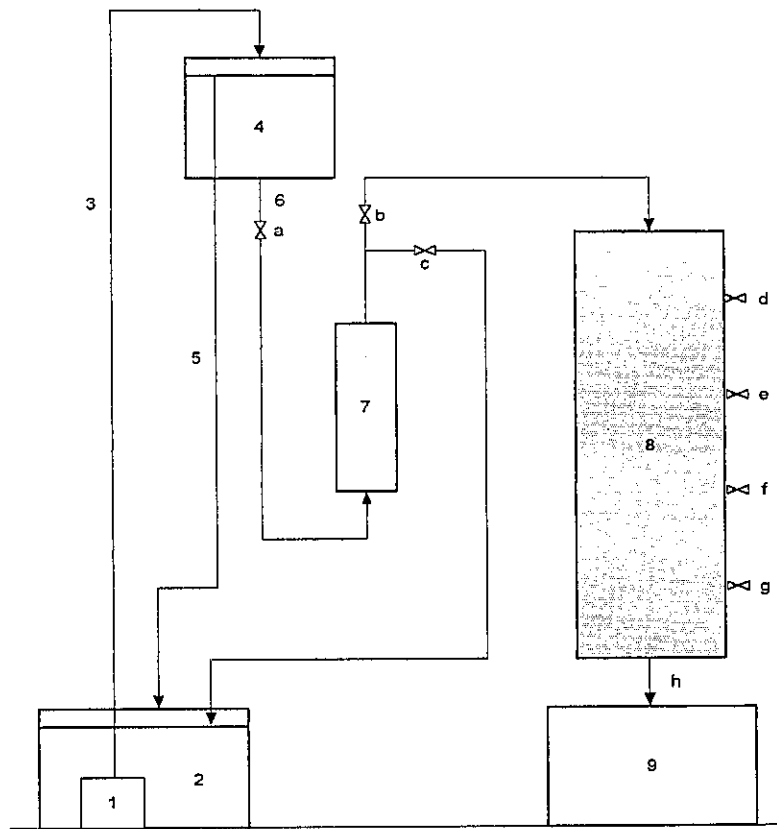
- a. *Blade* jenis *two blade*
- b. Gelas beaker
- c. Pengatur kecepatan putaran
- d. Jarum pengukur kecepatan putaran (tachometer)

e. Menyiapkan kolom adsorpsi

Menyiapkan kolom skala laboratorium yang terbuat dari pipa PVC dengan diameter 7 cm yang diisi dengan butiran adsorben 100 cm. Pada kedalaman 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm dan 100 cm dari setiap lapisan adsorben dibuat outlet untuk pengambilan sampel.

Kolom adsorpsi dilengkapi dengan peralatan :

- Bak penampung umpan sekaligus berfungsi sebagai bak penampung overflow
- Bak pengatur debit
- Bak penampung efluen
- Pompa air (debit maksimal 60 liter/jam)
- Flowmeter (0-1200 ml/menit)



**Gambar 3.1.** Peralatan adsorpsi secara kontinyu  
Sumber : Hasil penelitian, 2003

Keterangan gambar :

- |  |                               |
|--|-------------------------------|
| 1. Pompa air                                       | a. Kran pengatur 1            |
| 2. Bak umpan / bak penampung overflow              | b. Kran pengatur 2            |
| 3. Pipa influen ( $D = \frac{1}{2}$ inchi)         | c. Kran pengatur 3            |
| 4. Bak pengatur debit                              | d. Outlet sampel $h = 20$ cm  |
| 5. Pipa overflow ( $D = 1 \frac{1}{2}$ inchi)      | e. Outlet sampel $h = 40$ cm  |
| 6. Pipa menuju ke kolom ( $D = \frac{1}{2}$ inchi) | f. Outlet sampel $h = 60$ cm  |
| 7. Flowmeter (0 – 20 ml/detik)                     | g. Outlet sampel $h = 80$ cm  |
| 8. Kolom adsorpsi ( $D = 7$ cm)                    | h. Outlet sampel $h = 100$ cm |
| 9. Bak penampung efluen                            |                               |

### 3.2.2. Pelaksanaan Penelitian

#### a. Pembuatan air baku

Dalam penelitian ini sampel air baku yang diteliti adalah sampel air baku buatan yang mengandung zat warna acrylamide yang berwarna merah dengan konsentrasi yang berbeda yaitu 100 mg/L untuk percobaan batch, serta 200 mg/L dan 300 mg/L untuk percobaan kontinyu.

#### b. Eksperimen batch

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan karakteristik adsorpsi atau tingkat adsorpsi karbon aktif, batu apung dan batubara terhadap zat warna yang ditinjau. Percobaan ini dilakukan dengan menganggap bahwa adsorpsi tergantung pada waktu yang dilakukan dengan cara sebagai berikut :

- Karbon aktif, batu apung dan batubara masing-masing ukuran media 16-30 MESH yang telah ditimbang dalam berbagai berat yaitu 2 gram, 3 gram, 4 gram, 5 gram, 6 gram, 7 gram, dan 8 gram direndam ke dalam larutan yang berada di 7 gelas beaker bervolume 500 ml yang berbeda yang telah berisi larutan kerja bervolume 300ml.
- Selanjutnya dilakukan proses agitasi melalui pengadukan selama 2 jam dengan kecepatan konstan sebesar 750 rpm.
- Pengambilan sampel secara berkala  $\frac{1}{2}$  jam, 1 jam,  $1 \frac{1}{2}$  jam, 2 jam,  $2 \frac{1}{2}$  jam, 3 jam,  $3 \frac{1}{2}$  jam, dan 4 jam; 10 ml untuk tiap pengambilan sampelnya.

- Larutan sampel disaring dengan menggunakan kertas saring Whatman no 41 untuk menyisahkan karbon aktif, batu apung dan batubara yang ikut terbawa pada larutan sampel.
- Setelah penyaringan, larutan sampel dianalisa kandungan zat warnanya (acrylamide) dengan pengukuran absorbansi menggunakan peralatan spektrofotometer. Prosedur ini diulangi lagi untuk adsorpsi dengan media karbon aktif, batu apung dan batubara ukuran media 30-50 MESH dan 50-100 MESH.

c. Eksperimen kolom

Percobaan adsorpsi secara kolom dimaksudkan untuk mengetahui pola adsorpsi adsorben yang bersangkutan, konstanta kecepatan adsorpsi dan kapasitas serap adsorben. Susunan bahan di dalam kolom adsorbent adalah adsorben dan filter di bagian dasar dan atas kolom. Hal ini dimaksudkan filter di bagian dasar sebagai penahan adsorben, diharapkan adsorben tidak terikut aliran filtrat. Sedangkan filter bagian atas berfungsi untuk meratakan aliran agar bisa menyebar. Adapun langkah-langkah percobaan kolom dilakukan sebagai berikut :

1. Sebelum alat dioperasikan terlebih dahulu kolom diisi dengan aquades sampai sedikit di atas lapisan adsorben. Hal ini dimaksudkan untuk menghindari udara yang terjebak di dalam kolom yang dapat mengganggu laju aliran.
2. Alat dioperasikan dengan mengalirkan sampel air baku secara grafitasi (downflow) secara terus menerus dari bak penampung umpan dengan menggunakan pompa menuju ke bak pengatur laju

limpasan. Bak pengatur laju limpasan digunakan untuk mendapatkan tekanan dan laju limpasan yang konstan.

3. Setelah dari bak pengatur laju limpasan aliran umpan dilewatkan flowmeter untuk mendapatkan hasil pembacaan laju limpasan secara visual. Flowmeter ini dilengkapi dengan 3 buah kran pengatur. Sesuai dengan gambar 3.3 kran a digunakan untuk mengatur besar kecilnya laju limpasan, kran b berfungsi sebagai pintu masuk aliran umpan menuju ke kolom adsorpsi. Kran b akan ditutup pada saat kalibrasi flowmeter dengan kondisi kran c terbuka. Setelah laju limpasan aliran stabil, kran c ditutup dan kran b dibuka. Kemudian umpan akan mengalir menuju ke kolom adsorpsi.
4. Setelah operasional alat dengan waktu dan laju limpasan tertentu dilakukan pengambilan sampel air baku pada masing-masing outlet yang selanjutnya dilaksanakan analisis kadar zat warnanya.
5. Diulangi untuk kondisi operasi yang berbeda dengan variasi laju limpasan, variasi konsentrasi influen, dan variasi ukuran media.

Adapun kondisi operasi yang dilakukan pada percobaan kontinyu adalah seperti pada tabel 3.1.

**Tabel 3.1**  
**Perlakuan percobaan kolom adsorpsi**

Perlakuan	Laju limpasan (ml/menit.cm <sup>2</sup> )	Ukuran media (MESH)	Konsentrasi zat warna (mg/L)
1	8,3	16-30	200
2	14,2		
3	20,2		
4	8,3	30-50	
5	14,2		
6	20,2		
7	8,3	50-100	
8	14,2		
9	20,2		
10	8,3	16-30	300
11	14,2		
12	20,2		
13	8,3	30-50	
14	14,2		
15	20,2		
16	8,3	50-100	
17	14,2		
18	20,2		

Sumber : Perlakuan percobaan kolom adsorpsi, 2003

Kemudian ditentukan volume pada saat mencapai titik tembus dan pada saat jenuh sesuai dengan gambar kurva terobosan. Dilanjutkan membuat grafik antara  $\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right)$  terhadap volume dan dilanjutkan mencari nilai  $k_1$  dan  $q_0$ .

### 3.3. Variabel yang Diamati

Pola adsorpsi zat warna dalam limbah industri pencelupan kain dilakukan dengan cara melewatkan umpan industri pencelupan kain yang mengandung zat warna ke dalam bahan adsorben (karbon aktif) pada suatu kolom adsorpsi alir kontinyu.

Variabel penelitian :

Variabel penelitian dalam proses batch adalah :

- Variasi diameter butir media

Ukuran I : 16 – 30 MESH

Ukuran II : 30 – 50 MESH

Ukuran III : 50 – 100 MESH

Pengambilan ukuran media di atas didasarkan pada ukuran media yang sering digunakan pada proses kontiyu yaitu 8-50 MESH (Sundstrom dan Klei, 1979), hal ini dikarenakan hasil pada proses batch pada kondisi operasi dengan ukuran media yang sama dengan proses kontiyu akan dibandingkan apakah nilai konstanta kecepatan adsorpsinya sama. Sedangkan ukuran 50-100 MESH digunakan untuk mengetahui perbedaan pola adsorpsi bila menggunakan ukuran media yang lebih kecil.

- Variasi berat media adsorben karbon aktif, batu apung dan batubara masing masing :

Berat media 2 gram

Berat media 3 gram

Berat media 4 gram

Berat media 5 gram

Berat media 6 gram

Berat media 7 gram

Berat media 8 gram

Variasi berat ini diambil untuk memvariasikan harga  $m$  di dalam persamaan proses batch (Freundlich dan Langmuir) untuk mendapatkan persamaan regresi linear yang nantinya digunakan untuk menentukan karakteristik adsorpsi dan modelnya.

- Konsentrasi zat warna (acrylamide) 100 mg/L

Konsentrasi ini diambil untuk menetapkan harga  $x$  di dalam persamaan proses batch (Freundlich dan Langmuir), dimana harga  $m$  sudah divariasikan maka akan didapat harga  $x/m$  yang bervariasi. Harga  $x/m$  yang bervariasi ini digunakan untuk menentukan persamaan garis linier untuk mendapatkan karakteristik adsorpsi dan modelnya.

Variabel penelitian dalam proses kontinyu adalah :

- Variasi ukuran butir media

Ukuran I : 16 – 30 MESH

Ukuran II : 30 – 50 MESH

Ukuran III : 50 – 100 MESH

Alasan pengambilan variasi ukuran media diatas sama dengan yang telah dikemukakan ada proses kontinyu adalah 8-50 MESH (Sundstrom dan Klei, 1979). Sedangkan ukuran 50-100 MESH digunakan untuk mengetahui perbedaan pola adsorpsi bila menggunakan ukuran media yang lebih kecil.

- Variasi ketinggian media

Ketinggian media 20 cm

Ketinggian media 40 cm

Ketinggian media 60 cm

Ketinggian media 80 cm

Ketinggian media 100 cm

Alasan penentuan ketinggian media 100 cm adalah proses adsorpsi secara kontinyu di dalam laboratorium menggunakan kolom dengan ketinggian minimal 24 inchi (60,96 cm) dan diameter minimal 1 inchi (2,54 cm) (Reynolds, 1982).

- Konsentrasi zat warna (acrylamide) 200 mg/L dan 300 mg/L

Alasan pengambilan konsentrasi di atas didasarkan pada studi pendahuluan yang dilakukan di lapangan. Di mana konsentrasi acrylamide di lapangan berkisar antara 220-260 mg/L. Sehingga diambil batas bawahnya 200 mg/L dan batas atasnya 300 mg/L.

- Laju limpasan larutan umpan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup> 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup> dan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Alasan pengambilan besaran laju limpasan di atas didasarkan pada kriteria desain dari kolom adsorpsi untuk laju limpasan hidrolisnya antara 2-5 gal/menit.ft<sup>2</sup>. Bila besaran tersebut dikonversikan ke satuan SI didapatkan besaran 8,149-20,373 ml/menit.cm<sup>2</sup>. Dari besaran tersebut dibagi dengan luas kolom sebesar 38,5 cm<sup>2</sup>, didapatkan laju limpasan sebesar 313,7365 ml/menit.cm<sup>2</sup> untuk batas bawahnya dan 784,3605 ml/menit.cm<sup>2</sup> untuk batas atasnya. Untuk memudahkan operasi diambil batas bawah 320 ml/menit.cm<sup>2</sup>, tengah 550 ml/menit.cm<sup>2</sup> dan batas atas 789 ml/menit.cm<sup>2</sup>. Bila angka-angka laju limpasan tadi dibagi lagi dengan luasan kolomnya didapatkan nilai laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup> untuk batas bawahnya, 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup> untuk tengah dan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup> untuk batas atasnya.

### 3.4. Analisa Data

Pola adsorpsi zat warna (acrylamide) dianalisis dengan persamaan Freundlich dan Langmuir pada percobaan batch. Dari kedua persamaan tersebut dicari harga koefisien korelasi kuadratnya. Adapun yang mempunyai harga koefisien korelasi kuadrat ( $R^2$ ) terbesar merupakan model yang digunakan. Selain itu, untuk menentukan model mana yang nantinya dipakai diamati juga fenomena yang terjadi selama percobaan batch berlangsung, apakah mengikuti asumsi-asumsi yang dimiliki oleh isoterm Freundlich atau mengikuti asumsi-asumsi yang dimiliki oleh isoterm Langmuir.

Persamaan Freundlich

$$\frac{x}{m} = k \cdot C^{1/n} \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan :

$\frac{x}{m}$  = jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (gram/gram)

k dan n = konstanta

C = konsentrasi pada kesetimbangan (mg/L)

Persamaan Freundlich dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\log \frac{x}{m} = \log k + \frac{1}{n} \log C \dots\dots\dots (3.2)$$

misal  $\log \frac{x}{m} = y$

$\log k = a$

$1/n = m$

$\log C = x$

maka persamaan diatas dapat dibuat menjadi persamaan garis linier :

$$y = a + mx$$

Persamaan Langmuir :

$$\frac{X}{M} = \frac{a \cdot b \cdot C}{1 + bC} \dots\dots\dots (3.3)$$

keterangan :

a, b : kontanta

$\frac{X}{M}$  : konsentrasi maksimum zat yang terlarut dalam larutannya dalam keadaan setimbang (gram/gram)

C : konsentrasi zat terlarut dalam larutannya pada saat setimbang (mg/L)

Untuk menentukan konstanta b dan a, rumus di atas diubah menjadi rumus

$$\left[ \frac{C}{X/M} \right] = \frac{1}{ab} + \frac{1}{a} C \dots\dots\dots (3.4)$$

dengan plot pada grafik antara  $\left[ \frac{C}{X/M} \right]$  vs C akan diperoleh slope  $\frac{1}{a}$  dan

intercept  $\frac{1}{ab}$ .

Untuk mendapatkan nilai  $k_1$  yang merupakan konstanta kecepatan adsorpsi dan kapasitas serap adsorben ( $q_0$ ) digunakan metode pendekatan kinetik yang dikembangkan oleh Thomas (1948) dengan menggunakan persamaan kinetik yang merupakan kelanjutan atau perkembangan dari persamaan Bohart-Adams (1920).

Sedangkan persamaan Thomas sebagai berikut :

$$\frac{C}{C_0} = \frac{1}{1 + e^{k_1/Q(q_0 M - C_0 V)}} \dots\dots\dots (3.5)$$

dimana :

- C : konsentrasi effluen (mg/L)
- Co : konsentrasi influen (mg/L)
- k<sub>1</sub> : konstanta kecepatan adsorpsi (liter/kg.menit)
- M : massa adsorben (kg)
- V : volume total effluen (liter)
- Q : laju alir limbah (liter/menit)
- q<sub>o</sub> : berat adsorbat / berat adsorben (gram/gram)

Persamaan di atas dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$\frac{Co}{C} = 1 + e^{\frac{k_1(q_o.M - Co.V)}{Q}} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\left(\frac{Co}{C} - 1\right) = e^{\frac{k_1(q_o.M - Co.V)}{Q}} \dots\dots\dots (3.7)$$

$$\ln\left(\frac{Co}{C} - 1\right) = \ln e^{\frac{k_1(q_o.M - Co.V)}{Q}} \dots\dots\dots (3.8)$$

$$\ln\left(\frac{Co}{C} - 1\right) = \frac{k_1}{Q}(q_o.M - Co.V) \dots\dots\dots (3.9)$$

$$\ln\left(\frac{Co}{C} - 1\right) = \frac{k_1 \cdot q_o \cdot M}{Q} - \frac{k_1 \cdot Co \cdot V}{Q} \dots\dots\dots (3.10)$$

dimisalkan :  $\ln\left(\frac{Co}{C} - 1\right) = y$

$$V = x$$

Sehingga akan dihasilkan suatu garis lurus :  $y = b + mx$

Slope (m) =  $\frac{k_1 \cdot Co}{Q}$  dan intercept (b) =  $\frac{k_1 \cdot q_o \cdot M}{Q}$

### 3.5. Peralatan dan bahan yang dipakai

#### 3.5.1. Alat

Umpan yang mengandung zat warna (*acrylamide*) dialirkan ke dalam kolom yang terbuat dari PVC dengan diameter 2,5 inchi yang berisi adsorben dengan tinggi adsorben 100 cm..

Peralatan yang digunakan :

- 1) Seperangkat alat eksperimen batch
  - a. Gelas beaker 500 ml
  - b. Alat jar test (pengaduk otomatis)
  - c. Timbangan (maksimum 310 gram, dengan ketelitian 0,01 gram)
  - d. Gelas ukur (10 ml, 100 ml, 250 ml dan 1000 ml)
  - e. Kertas saring Whatman no 41
- 2) Seperangkat alat eksperimen kontinyu
  - a. Bak pengatur laju limpasan
  - b. Kolom adsorpsi diameter 7 cm
  - c. Bak umpan
  - d. Flowmeter (0 – 20 ml/detik)
  - e. Bak penampung efluen
  - f. Filter
  - g. Gelas ukur (10 ml, 100 ml, 250 ml dan 1000 ml)
  - h. Timbangan (maksimum 310 gram, dengan ketelitian 0,01 gram)
- 3) Spektrofotometer model 390 dengan kisaran panjang gelombang 420-980 nm.

3.5.2. Bahan

- 1) Acrylamide
- 2) Karbon aktif ukuran MESH I (16-30)
- 3) Karbon aktif ukuran MESH II (30-50)
- 4) Karbon aktif ukuran MESH III (50-100)
- 5) Aquades

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Percobaan Pendahuluan**

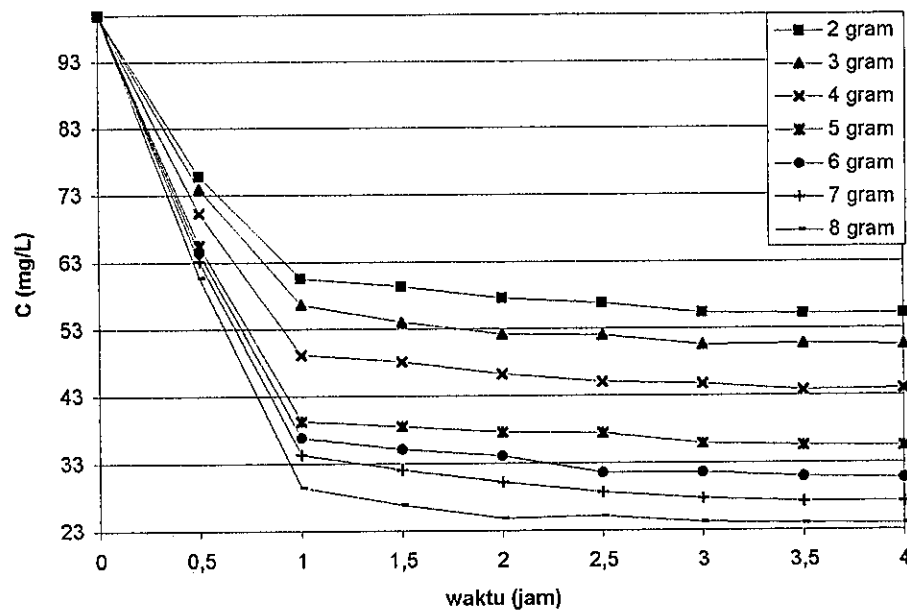
Percobaan pendahuluan dalam penelitian ini adalah pengukuran ukuran media karbon aktif, batu apung, batubara massa jenisnya dan bill Iodine. Hasil percobaan pendahuluan terdapat pada lampiran 4.1.

#### **4.2. Percobaan Secara Batch Isoterm**

##### **4.2.1. Proses Batch Dengan Uukuran Media Karbon Aktif 50-100 MESH, 30-50 MESH dan 16-30 MESH**

Percobaan dilakukan dengan cara memasukkan larutan acrylamide sebesar 100 mg/L sebanyak 300 ml ke dalam gelas beaker berisi karbon aktif butiran dengan ukuran media 50-100 MESH dengan berbagai variasi massa didapatkan penurunan konsentrasi seperti pada 4.1.

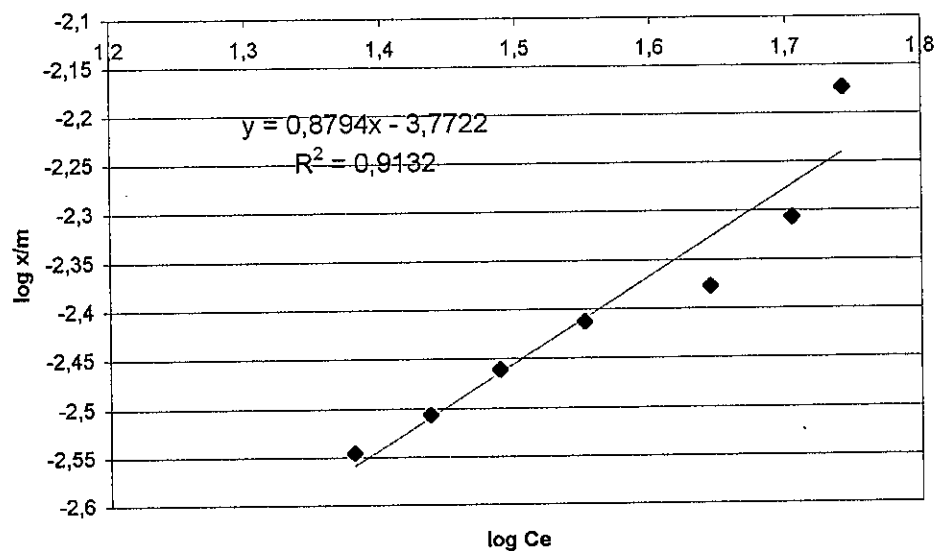
Dari hasil yang didapat dibuat kurva penurunan konsentrasi sebagai berikut :



**Gambar 4.1.** Kurva penurunan konsentrasi acrylamide pada karbon aktif ukuran 50-100 MESH

Bila akan diolah ke dalam isoterm Freundlich didapatkan hasil seperti pada lampiran 4.2.

Dibuat grafik antara  $\log x/m$  vs  $\log C_e$



**Gambar 4.2.** Grafik untuk menentukan isoterm Freundlich, ukuran media 50-100 MESH

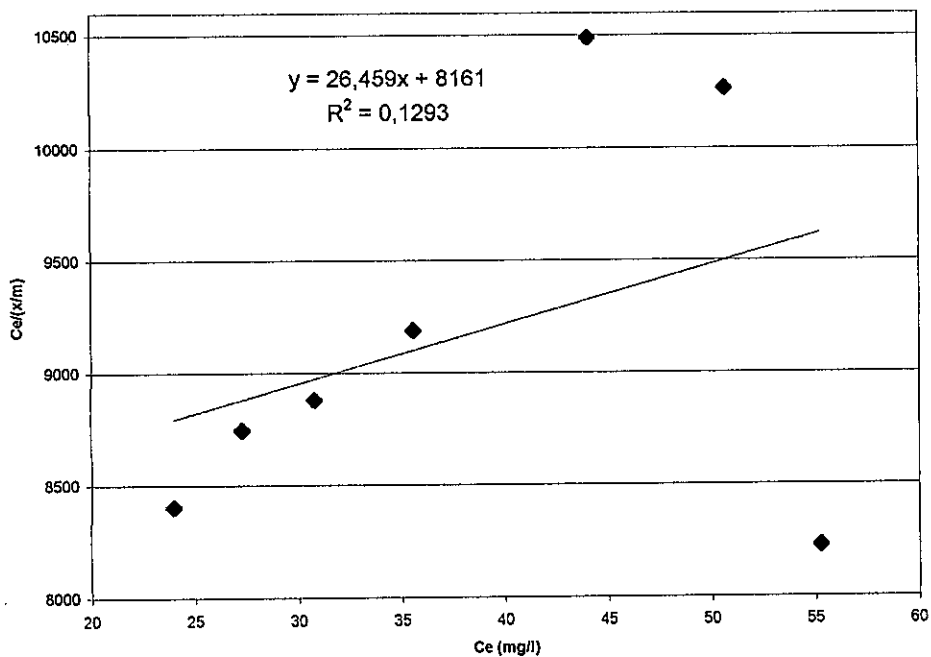
Didapatkan slope sebesar 0,8794 dan intercep -3,7722, dengan R<sup>2</sup> sebesar 0,9132. Jadi bila melihat harga R<sup>2</sup> maka persamaan ini mempunyai korelasi yang signifikan antara log (x/m) dan log Ce. k merupakan hasil antilog dari intercep yaitu sebesar 0,000169. n merupakan 1/slope dari persamaan tersebut yaitu sebesar 1,137. Nilai n ini telah memenuhi kriteria desain yaitu lebih dari 1.

Dari perhitungan di atas didapatkan model persamaan Freundlich untuk ukuran media karbon aktif 50-100 MESH sebagai berikut :

$$\frac{x}{m} = 0,000169 Ce^{0,8794} \dots\dots\dots (4.1)$$

Bila data tersebut di atas dimasukkan dalam isoterm Langmuir didapatkan hasil seperti pada lampiran L 4.12.

Dari data L 4.12 dibuat grafik antara Ce/(x/m) vs Ce :



Gambar 4.3. Grafik untuk menentukan isoterm Langmuir, ukuran media 50-100 MESH

Tampak dari grafik di atas, koefisien korelasi kuadratnya sebesar 0,1293. Jadi persamaan isoterm Langmuir yang didapat ini tidak bisa digunakan karena nilai koefisien korelasi kuadratnya lebih kecil bila dibandingkan dengan koefisien korelasi kuadrat yang didapat dari isoterm Freundlich. Dan juga fenomena yang terjadi selama percobaan berlangsung, mengikuti asumsi-asumsi yang dimiliki oleh isoterm Freundlich. Oleh sebab itu model Freundlich lebih signifikan digunakan sebagai persamaan dasar daripada model Langmuir untuk percobaan ini.

#### 4.2.2. Perbandingan Penurunan Zat Warna Acrylamide pada Proses Batch dengan Ukuran Media Berbeda

Bila proses batch untuk kondisi operasi yang berbeda (ukuran media berbeda) akan didapatkan kurva perbandingan seperti pada gambar berikut ini.

Dari grafik di atas terlihat bahwa dengan perbedaan ukuran media aktif akan berpengaruh terhadap efisiensi penyisihan zat warna acrylamide dalam proses batch. Efisiensi penyisihan diukur pada selang waktu zat warna 3,5 – 4 jam. Untuk ukuran media 16-30 MESH mencapai 36,049%, untuk ukuran media 30-50 MESH mencapai 52,134% dan untuk ukuran media 50-100 MESH efisiensinya mencapai 76,038%. Penurunan ukuran media karbon aktif akan berpengaruh terhadap kenaikan efisiensi penyisihan acrylamide dalam proses batch. Hal ini disebabkan dengan penurunan ukuran media adsorben semakin kecil ukuran media maka akan memperluas permukaan adsorben.

Percobaan batch dengan media adsorben karbon aktif ukuran 30-50 MESH dan 16-30 MESH mempunyai pola adsorpsi yang dengan kecenderungan mencapai kesetimbangan pada selang waktu 3,5-5 jam dan mengikuti persamaan Isoterm Freundlich. Dilakukan percobaan botol dengan prosedur sama dengan menggunakan karbon aktif ukuran 50-100 MESH diperoleh data sebagai berikut :

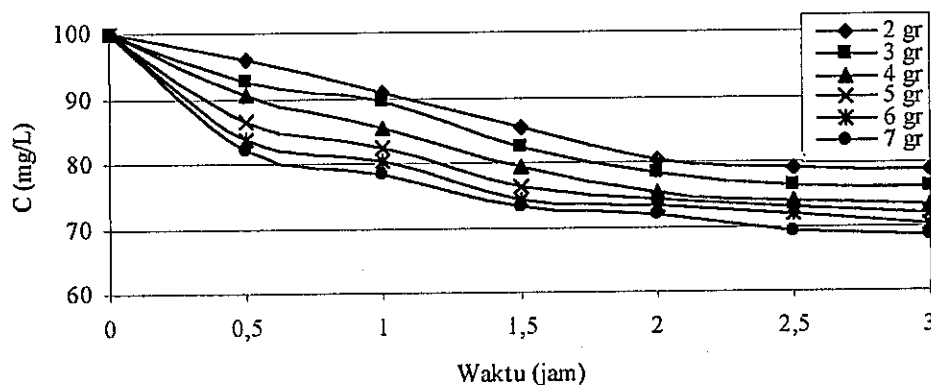
**Tabel 4.1**  
Hasil percobaan Batch dengan media karbon aktif ukuran 30-50 MESH dan 16-30 MESH.

Ukuran media (MESH)	R <sup>2</sup>	R	k	1/n	Model
30 – 50	0,9723	0,9861	0,000146	0,6701	$\frac{x}{m} = 0,000146Ce^{0,6701}$
16 – 30	0,9017	0,9496	0,000128	0,5643	$\frac{x}{m} = 0,000128Ce^{0,5643}$

#### 4.2.3. Proses Batch dengan ukuran media batu apung 30-50 MESH dan 16-30 MESH

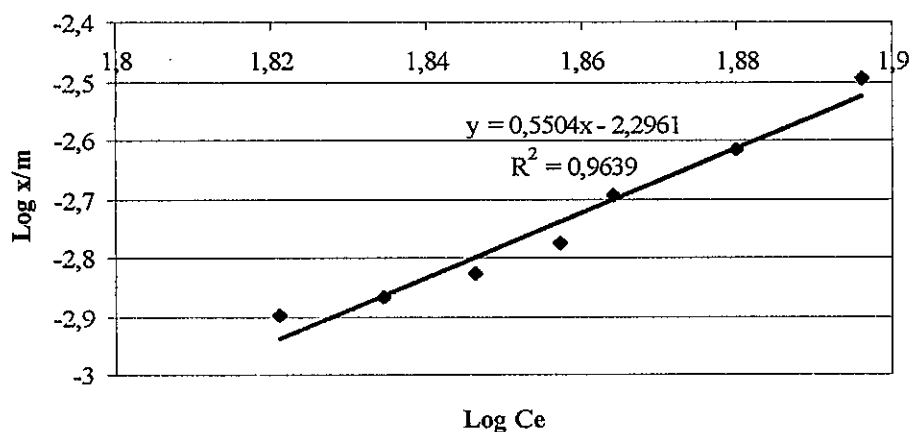
Percobaan dilakukan dengan menggunakan prosedur yang sama dengan media karbon aktif, diperoleh data seperti pada data 4.19.

Dari hasil yang didapat dibuat kurva penurunan konsentrasi zat warna acrylamide sebagai berikut :



**Gambar 4.4.** Kurva penurunan konsentrasi acrylamide pada batu apung ukuran 50-100 MESH

Bila diolah ke dalam isotherm Freundlich didapat hasil pada lampiran 4.20.



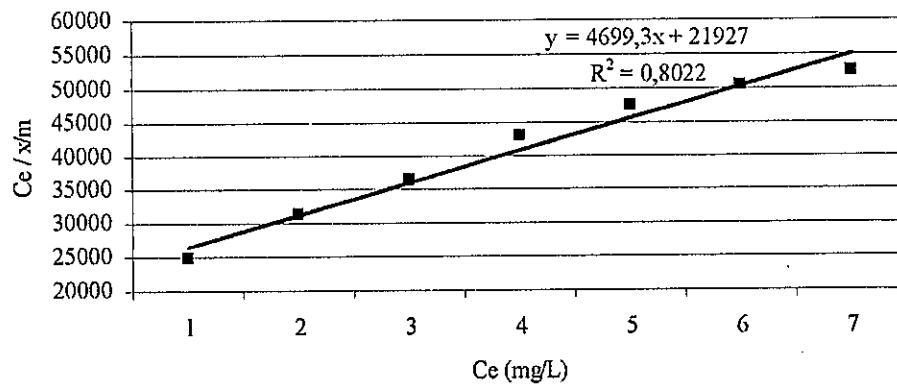
**Gambar 4.5.** Grafik untuk menentukan isotherm Freundlich pada ukuran media batu apung 50-100 MESH

Didapatkan slope sebesar 0,5504 dan intercept  $-2,9611$  dengan  $R^2$  sebesar 0,9639 atau  $R = 0,9818$ , terlihat bahwa ada korelasi yang signifikan antara  $\log x/m$  dengan  $\log C_e$ . Harga  $k$  diperoleh dengan hasil antilog dari intercept sehingga diperoleh  $k = 0,000109$  Sedangkan harga  $n$  diperoleh dari  $1/\text{slope}$  sehingga  $n = 1,8168$  dan harga  $1/n$  adalah 0,5504.

Dari perhitungan di atas didapatkan model persamaan Freundlich untuk ukuran media batu apung ukuran 50-100 MESH sebagai berikut :

$$\frac{x}{m} = 0,000109 C_e^{0,5504} \quad (4,2)$$

Data 4.21 untuk menentukan isotherm Langmuir paralel grafik antara  $C_e/\frac{x}{m}$  vs  $C_e$

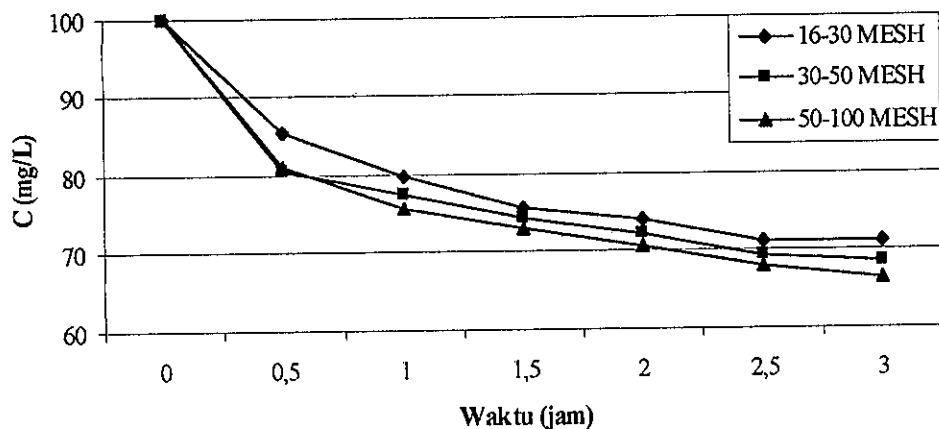


**Gambar 4.6.** Grafik untuk menentukan isoterm Langmuir dengan media batu apung ukuran media 50-100 MESH

Harga R diperoleh sebesar = 0,8957 harga R Langmuir lebih kecil dari harga R Freundlich (0,8957 < 0,9818). Selama percobaan berlangsung ternyata pola adsorpsi mengikuti asumsi-asumsi Freundlich. Sehingga model Freundlich lebih signifikan dari model Langmuir.

#### 4.2.4. Perbandingan penurunan zat warna acrylamide dengan ukuran berbeda pada adsorben batu apung

Dari data 4.13, 4.16, 4.19 dibandingkan diperoleh grafik sebagai berikut :



**Gambar 4.7.** Perbandingan penurunan zat warna acrylamide dengan media batu apung dengan ukuran media berbeda.

Efisiensi penyisihan zat warna acrylamide untuk ukuran 50-100 MESH mencapai 33,755%, ukuran media 30-50 MESH 31,653% dan ukuran media 16-30 MESH 29,015%. Efisiensi penyisihan zat warna acrylamide menggunakan media adsorbent karbon aktif lebih efektif daripada dengan menggunakan media adsorben batu apung, hal tersebut terlihat dari besarnya % penyisihan zat warna.

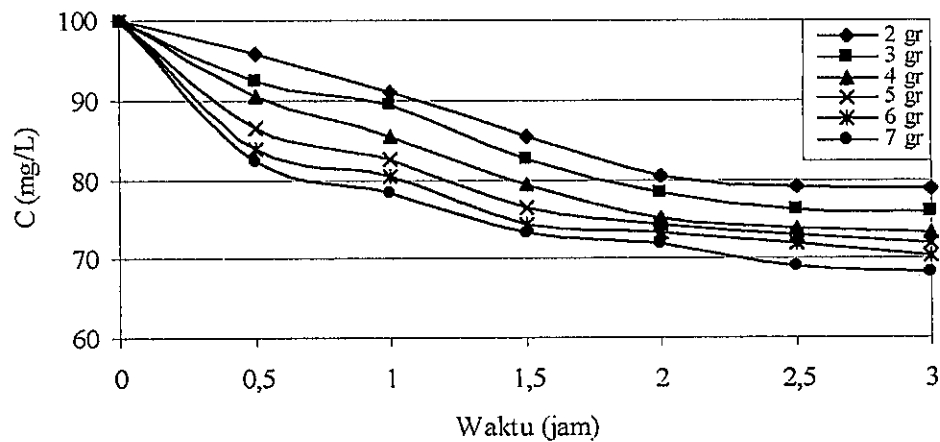
Percobaan batch dengan media adsorben batu apung ukuran 30-50 MESH dan 16-30 MESH mempunyai pola adsorpsi yang sama dengan mencapai kesetimbangan 2,5–3 jam dan mengikuti model Freundlich. Percobaan dilakukan dengan prosedur yang sama dengan menggunakan batu apung ukuran 50 – 100 MESH diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 4.2**  
Hasil percobaan Batch dengan media batu apung ukuran  
30-50 MESH dan 16-30 MESH

Ukuran media (MESH)	Model
30 – 50	$\frac{x}{m} = 0,00098 C_e^{0,4226}$
16 – 30	$\frac{x}{m} = 0,000076 C_e^{0,3998}$

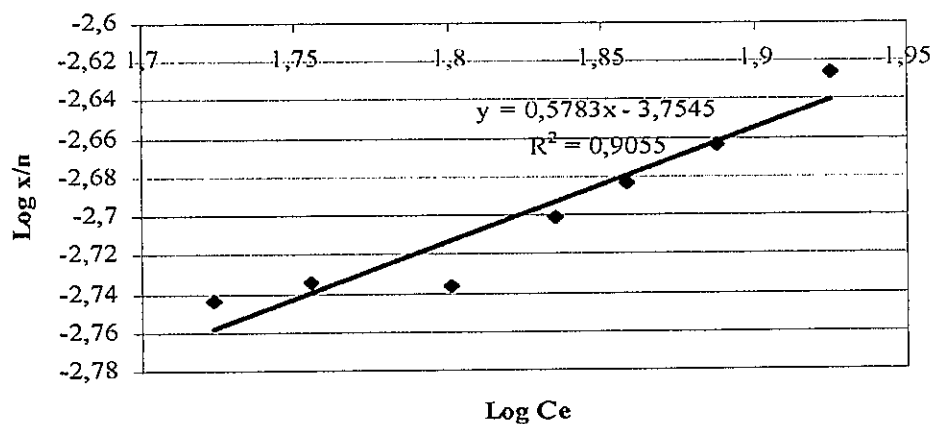
4.2.5. Proses Batch dengan menggunakan batubara ukuran 50-100 MESH, 30-50 MESH, 16-30 MESH.

Proses Batch dengan media adsorben batubara dilakukan dengan langkah percobaan sama dengan menggunakan media adsorben karbon aktif. Penurunan konsentrasi acrylamide pada batubara digambarkan pada grafik di bawah ini dengan menggunakan data 4.28.



**Gambar 4.8.** Kurva penurunan zat warna acrylamide pada media adsorben batubara ukuran 50-100 MESH.

Kemudian diolah dalam model isoterm Freundlich dari data 4.29.



**Gambar 4.9.** Grafik untuk menentukan isoterm Freundlich, ukuran media batubara 50-100 MESH.

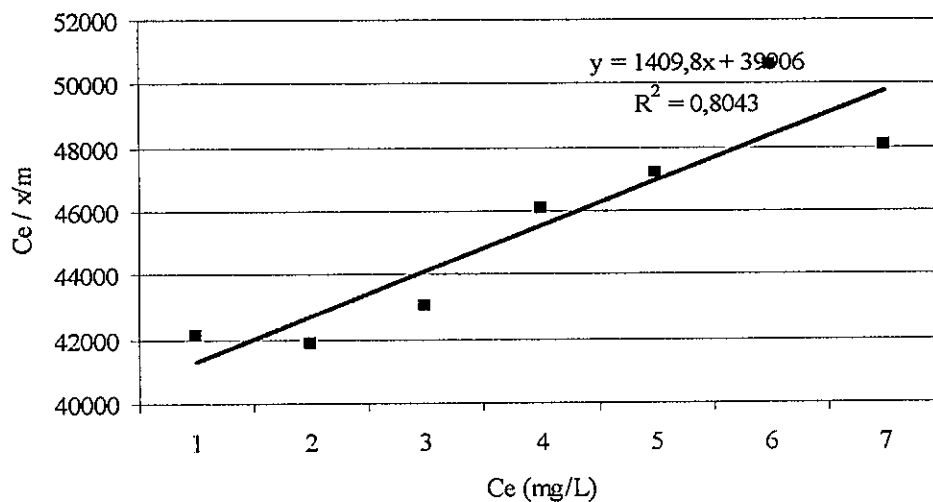
Dari grafik linear di atas didapatkan harga slope sebesar 0,5783 dan intercept -3,7545 dengan harga koefisien korelasi  $R = 0,9516$ .

Dari harga R dapat dijelaskan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara  $\log c/m$  dan  $\log C_e$ . Harga k diperoleh dengan menganti-log intercept sehingga diperoleh  $k = 0,0000126$ . Sedangkan harga n diperoleh sebesar  $n = 1,7292$  dengan cara mencari  $1/\text{slope}$ , harga  $1/n$  adalah 0,5783.

Dari perhitungan di atas didapat model persamaan Freundlich untuk ukuran media batubara 50-100 MESH sebagai berikut :

$$\frac{x}{m} = 0,000126 C_e^{0,5783}$$

Bila data tersebut di atas dimasukkan dalam persamaan isoterm Langmuir didapatkan hasil seperti pada lampiran 4.30.



**Gambar 4.10.** Grafik untuk menentukan isoterm Langmuir, ukuran media batubara 50-100 MESH.

Harga koefisien korelasi Langmuir  $R = 0,8995$  lebih kecil dari harga koefisien korelasi Freundlich dan selama percobaan fenomena yang terjadi pada adsorpsi mengikuti asumsi-asumsi pada Freundlich, sehingga model yang cocok adalah model Freundlich.

#### 4.2.6. Perbandingan penemuan zat warna acrylamide dengan ukuran berbeda pada adsorben batubara

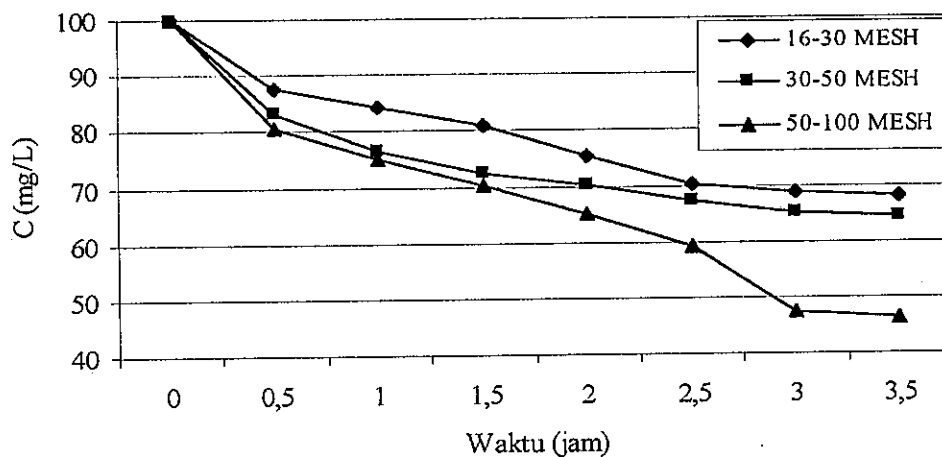
Pada proses Batch untuk kondisi operasi yang berbeda yaitu ukuran media berbeda maka didapatkan kurva perbandingan penyisihan

zat warna dengan menggunakan data 4.22, 4.25 dan 4.28 (diambil untuk massa batubara 8 gram).

Percobaan Batch dengan media batubara dengan ukuran 30-50 MESH dan 16-30 MESH mempunyai pola adsorpsi yang sama, mencapai kesetimbangan 3-3,5 jam dan mengikuti isoterm Freundlich. Model yang diperoleh dapat terlihat dalam tabel berikut ini :

**Tabel 4.3**  
Hasil percobaan Batch dengan media batubara ukuran 30-50 MESH dan 16-30 MESH

Ukuran media (MESH)	Model
30 – 50	$\frac{x}{m} = 0,000107 C_e^{0,4023}$
16 – 30	$\frac{x}{m} = 0,000096 C_e^{0,4021}$



**Gambar 4.11.** Perbandingan penurunan konsentrasi acrylamide pada proses batch dengan ukuran media batubara yang berbeda.

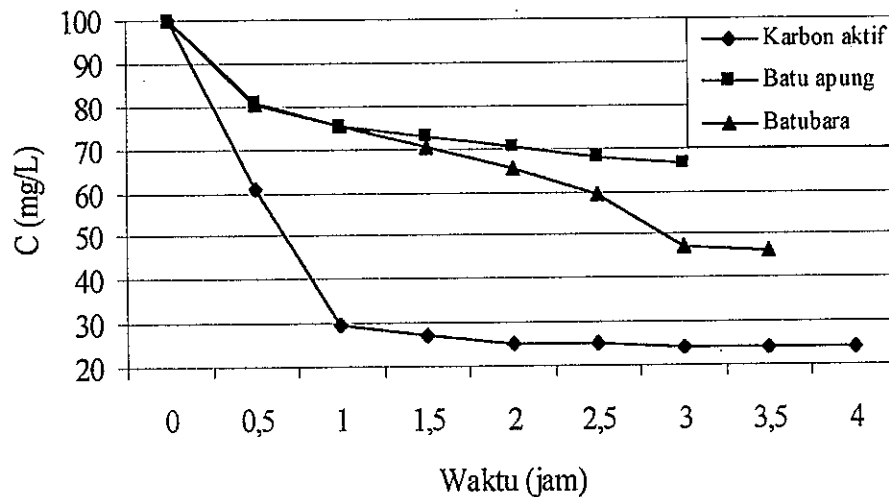
Dari grafik di atas diperoleh bahwa penyisihan zat warna acrylamide untuk ukuran media 50-100 MESH diperoleh efisiensi 53,616 %, ukuran media 30-50 MESH 35,685 % dan 16-30 MESH 31,865 %. Semakin kecil ukuran media (50-100 MESH) maka efisiensi penyisihan zat warna semakin besar

dikarenakan permukaan adsorben semakin luas dan kapasitas serap semakin besar.

#### 4.2.7. Perbandingan penurunan zat warna acrylamide dengan ukuran media sama pada jenis adsorben berbeda

Untuk mengetahui efisiensi penyisihan zat warna dengan menggunakan ukuran media sama (50-100 MESH) pada jenis adsorben berbeda yaitu karbon aktif, batu apung dan batubara.

Perbandingan akan terlihat dengan menggambarkan Grafik penurunan konsentrasi acrylamide yang diambil dari data 4.10, 4.19, dan 4.28. (massa adsorben 8 gram)



**Gambar 4.12.** Perbandingan penurunan konsentrasi zat warna dari berbagai media dengan ukuran sama.

Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa untuk media karbon aktif dapat mencapai efisiensi penyisihan zat warna acrylamide 76,038%, batu apung mencapai 33,755 % dan batubara mencapai 53,616%.

Adsorben karbon aktif merupakan adsorben yang paling efektif dalam penurunan zat warna daripada batu apung atau batubara. Hal ini disebabkan zat warna acrylamide yang terdapat dalam air limbah mengalami perpindahan yang lebih cepat pada karbon aktif.

Demikian juga apabila adsorben batu apung dibandingkan dengan batubara, adsorben batubara memiliki daya serap lebih besar daripada batu apung. Hal ini disebabkan batubara memiliki porositas, mempunyai daya aktifasi yang tinggi sebagai akibat dari proses geologis.

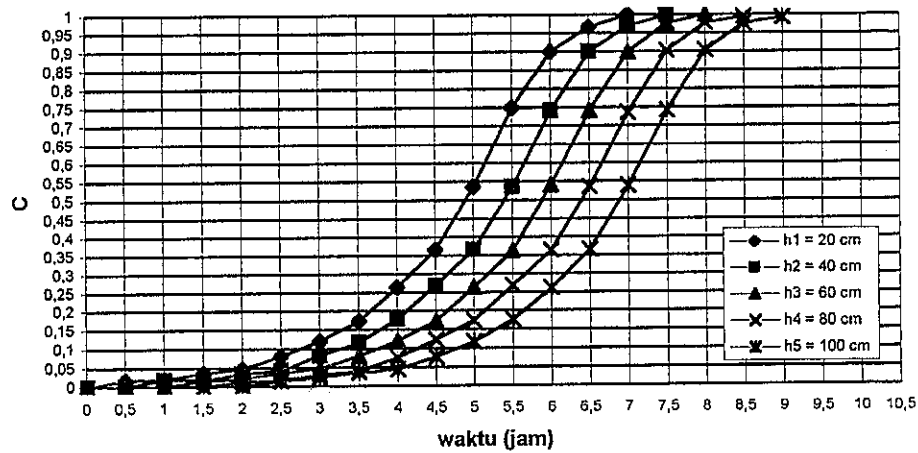
Berdasarkan hal tersebut di atas maka untuk percobaan kontinyu menggunakan adsorben karbon aktif.

#### 4.3. Percobaan Kontinyu

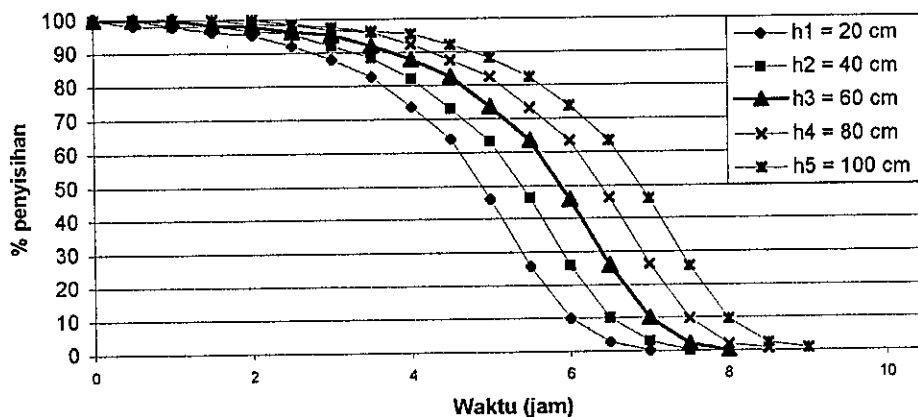
Percobaan ini menggunakan 2 variasi konsentrasi influen yaitu sebesar 200 mg/L dan 300 mg/L ; 2 variasi ukuran media yaitu 16-30 MESH, 30-50 MESH dan 50-100 MESH; 3 variasi laju limpasan yaitu sebesar 8,3 ml/menit, 14,2 ml/menit dan 20,6 ml/menit. Dari percobaan ini akan didapatkan nilai konstanta kecepatan adsorpsi ( $k_1$ ) dan kapasitas adsorpsi ( $q_0$ ) dengan menggunakan persamaan Thomas.

##### 4.3.1. Proses kontinyu konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit

Berikut disajikan tabel hasil pengamatan pada lampiran 4.19, dan untuk kurva terobosan, dan kurva efisiensi dari percobaan kontinyu dengan konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit akan tampak seperti berikut :



**Gambar 4.13.** Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.14.** Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Bila dibandingkan dengan kurva terobosan sebelumnya yang mempunyai konsentrasi dan laju limpasan yang sama, tampak bahwa kurva terobosan ini lebih curam, waktu untuk mencapai titik tembus akan tercapai lebih lama. Hal ini dikarenakan dengan semakin kecil ukuran media maka lebar zone perpindahan massa akan semakin sempit dan kapasitas adsorpsi semakin besar pula.

Waktu untuk mencapai titik tembus dan waktu jenuh dicari dengan melihat pada kurva dan akan didapatkan waktu titik tembus dan waktu jenuh sebagai berikut :

**Tabel 4.4**

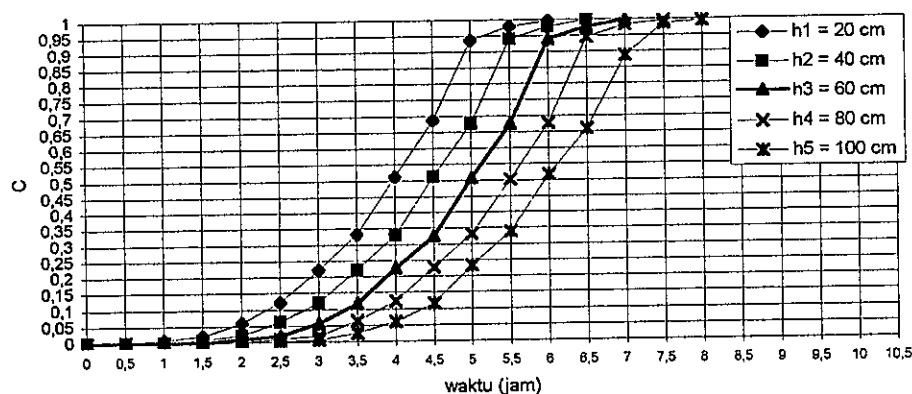
Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	2,0	6,5
0,4	2,4	6,8
0,6	2,75	7,35
0,8	3,5	8
1	3,75	8,5

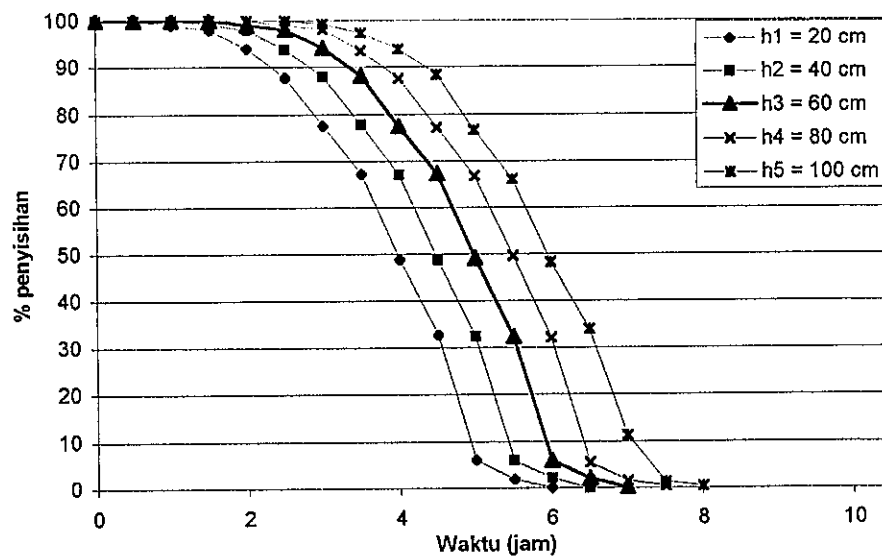
Sumber : Hasil penelitian, 2003

#### 4.3.2. Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Berikut disajikan tabel hasil pengamatan pada lampiran 4.20, kurva terobosan, dan kurva efisiensi dari percobaan kontinyu dengan konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.15.** Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.16.** Kurva efisiensi untuk konsentrasi inlet 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Pola kurva akan terlihat sama untuk ketinggian yang berbeda dengan perlakuan konsentrasi, ukuran media dan laju limpasan yang sama.

Waktu untuk mencapai titik tembus dan waktu jenuh dicari dengan melihat pada kurva terobosan didapatkan waktu titik tembus dan waktu jenuh sebagai berikut :

**Tabel 4.5**

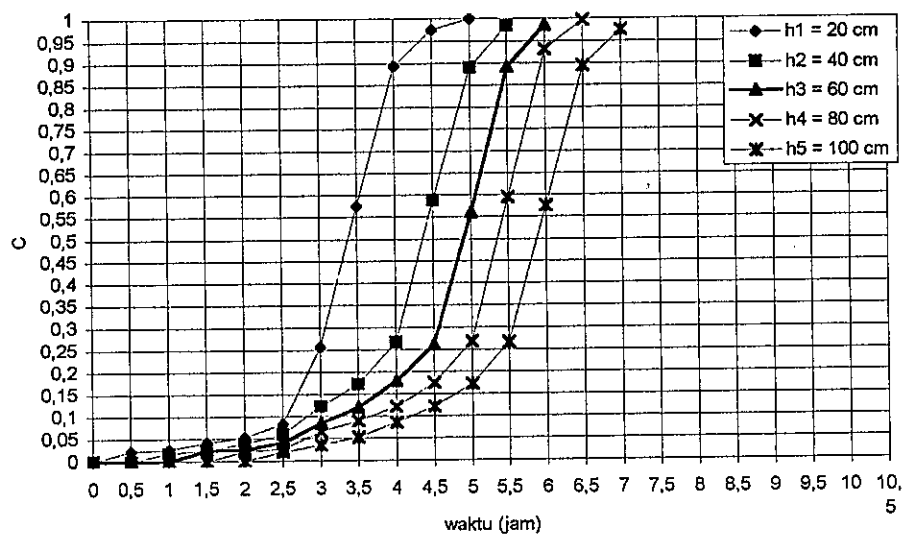
Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	1,85	5,1
0,4	2,35	5,7
0,6	2,9	6,2
0,8	3,5	6,55
1	3,75	7,35

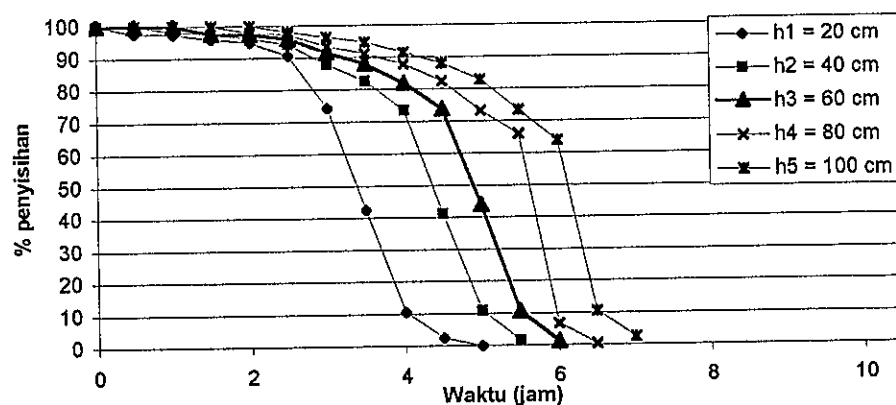
Sumber : Hasil penelitian, 2003

4.3.3. Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Setelah dilakukan percobaan dengan perlakuan ini didapatkan tabel hasil pada lampiran 4.8, kurva terobosan dan kurva efisiensi sebagai berikut.



Gambar 4.17. Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.



Gambar 4.18. Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Dari kurva terobosan tampak bahwa kurva antar ketinggian yang berbeda dengan perlakuan konsentrasi, ukuran media dan laju limpasan yang sama mempunyai pola yang sama.

Waktu untuk mencapai titik tembus ( $C=0,05$ ) dan waktu mencapai keadaan jenuh ( $C=0,95$ ) dicari dengan persamaan polinomial orde dua, didapatkan waktu titik tembus dan waktu jenuh sebagai berikut :

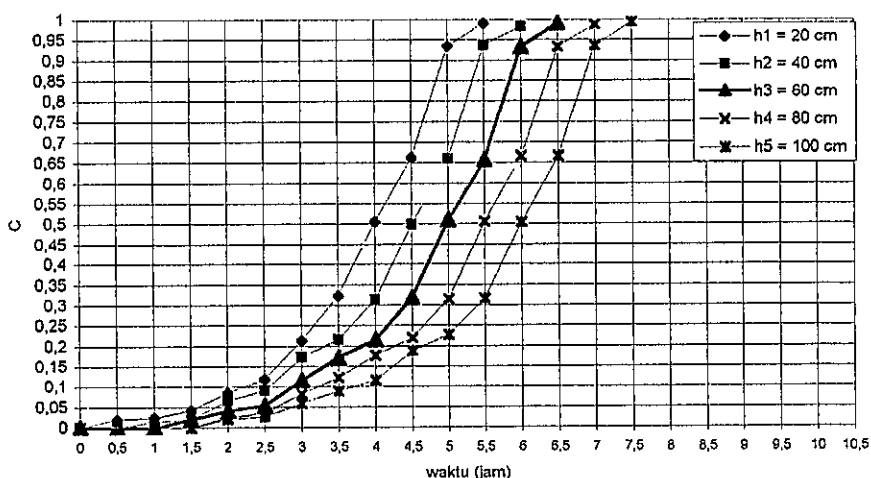
**Tabel 4.6**  
Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi 200mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	2	4,4
0,4	2,25	5,35
0,6	2,5	5,9
0,8	2,8	6,15
1	3,45	6,9

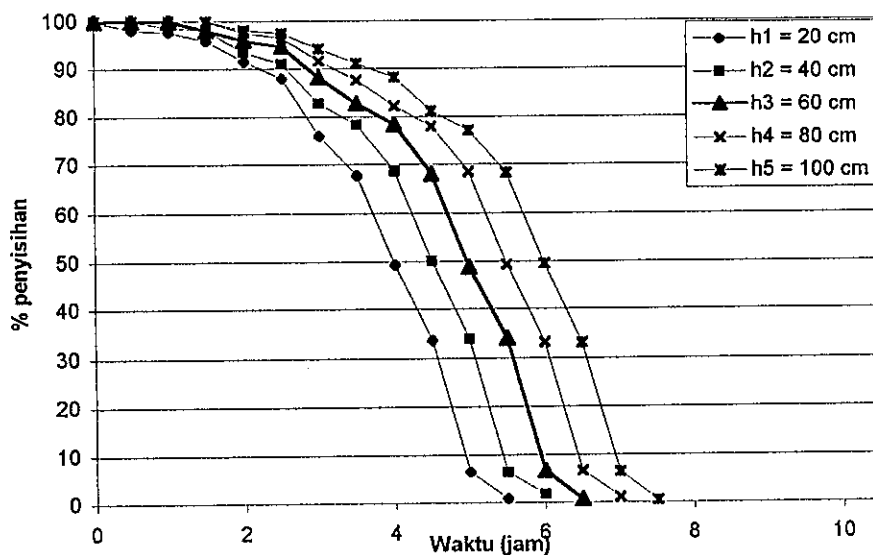
Sumber : Hasil penelitian, 2003

4.3.4. Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Berikut disajikan tabel hasil pengamatan pada lampiran 4.9. kurva terobosan dan kurva efisiensi untuk perlakuan konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>.



Gambar 4.19. Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3ml/menit.cm<sup>2</sup>.



Gambar 4.20. Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Pola konsentrasi untuk ketinggian berbeda akan terlihat sama, perbedaan terletak pada waktu jenuh dan waktu titik tembusnya. Waktu titik tembus dan waktu jenuhnya sebagai berikut :

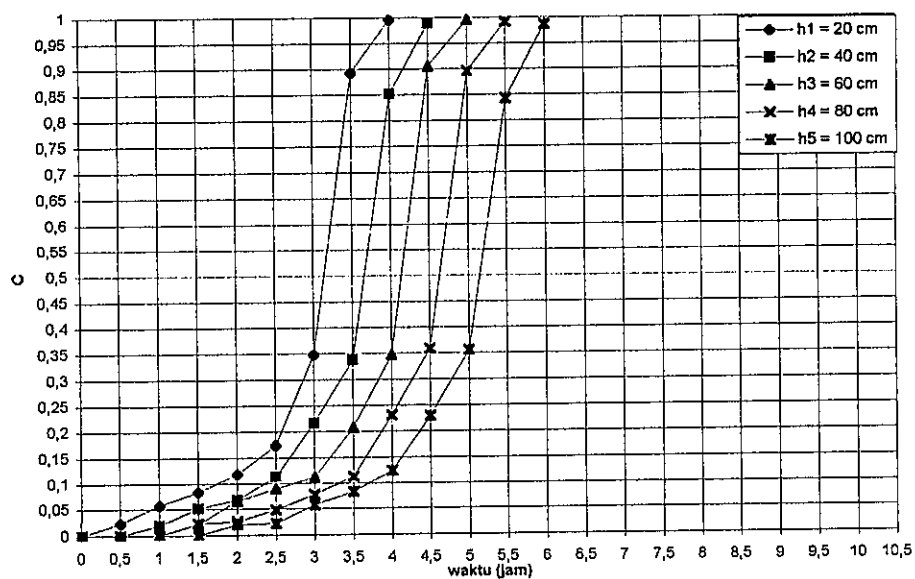
**Tabel 4.7.**  
Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300mg/L,  
ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	1,5	3,85
0,4	1,8	4,3
0,6	2,35	4,55
0,8	2,65	5
1	2,9	5,6

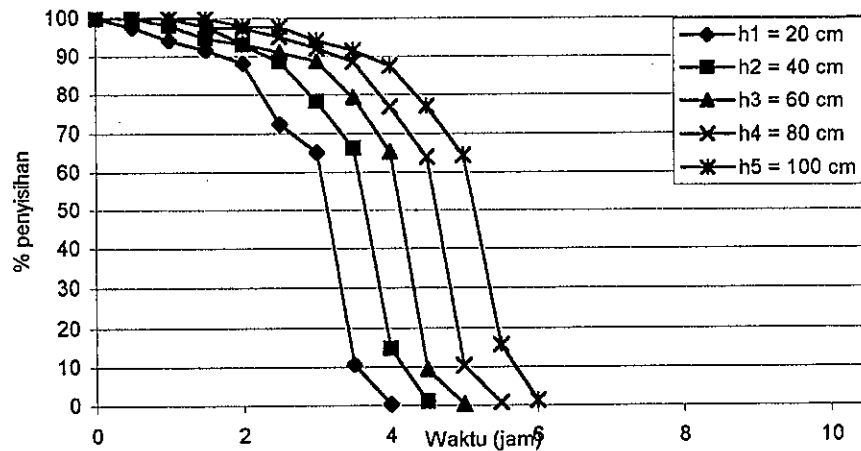
Sumber : Hasil penelitian, 2003

4.3.5. Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Berikut disajikan hasil pengamatan pada lampiran 4.29, kurva terobosan dan kurva efisiensi dari perlakuan ini.



**Gambar 4.21.** Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.22.** Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit

Bila dibandingkan dengan kurva terobosan sebelumnya yang mempunyai konsentrasi dan laju limpasan yang sama, tampak bahwa kurva terobosan ini lebih curam. Waktu untuk mencapai titik tembus lebih lama, tetapi waktu jenuh akan tercapai lebih cepat. Hal ini dikarenakan pengaruh penurunan ukuran media akan berpengaruh terhadap penurunan lebar zone perpindahan massa dan kenaikan kapasitas adsorpsi.

Waktu untuk mencapai titik tembus dan waktu jenuh dicari dengan melihat pada kurva terobosan, didapatkan waktu titik tembus dan waktu jenuh sebagai berikut :

**Tabel 4.8.**

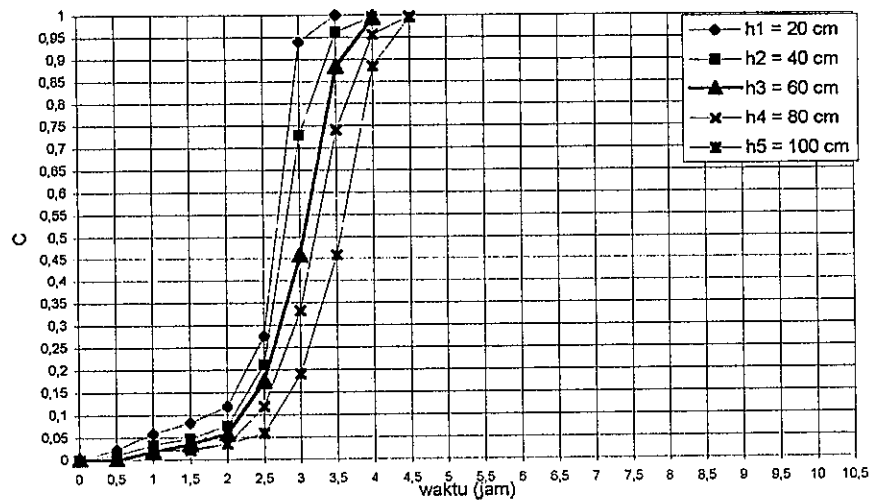
Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,1	3,85
0,4	1,6	4,85
0,6	2,05	4,7
0,8	2,1	5,7
1	2,25	5,9

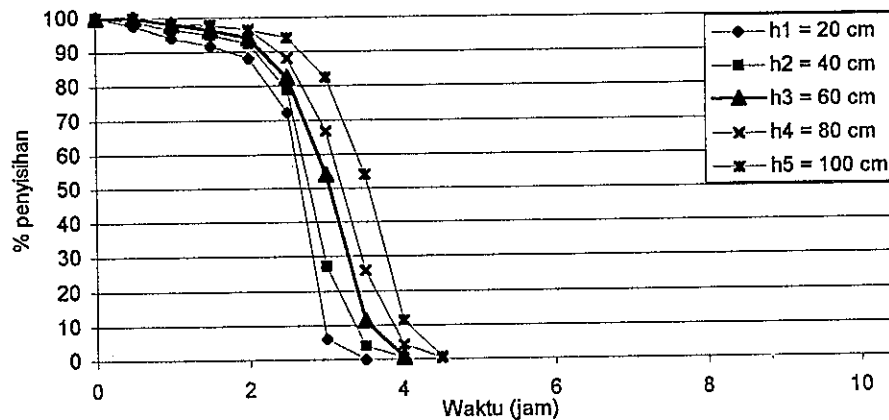
Sumber : Hasil penelitian, 2003

4.3.6. Proses kontinyu untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Berikut disajikan hasil pengamatan yang bisa dilihat pada lampiran 4.30, untuk kurva terobosan, dan kurva efisiensi dari percobaan kontinyu dengan konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup> akan tampak seperti berikut :



**Gambar 4.23.** Kurva terobosan untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.



**Gambar 4.24.** Kurva efisiensi untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit

Dari kurva terobosan tampak bahwa kurva antar ketinggian yang berbeda dengan perlakuan konsentrasi, ukuran media dan laju limpasan yang sama mempunyai pola yang sama.

Waktu untuk mencapai titik tembus ( $C= 0,05$ ) dan waktu mencapai keadaan jenuh ( $C = 0,95$ ) dicari dengan melihat pada kurva terobosan, didapatkan waktu titik tembus dan waktu jenuh sebagai berikut :

**Tabel 4.9**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi 300 mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,9	3,15
0,4	1,5	3,6
0,6	1,85	3,8
0,8	2,1	3,9
1	2,25	4,35

Sumber : Hasil penelitian, 2003

4.3.7. Proses kontinyu dengan konsentrasi influen sebesar 200 mg/L, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Proses kontinyu untuk ukuran media 30 – 50 MESH dan 16 – 30 MESH dengan variasi konsentrasi influen 200 mg/L, 300 mg.l, variasi laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>, 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>, 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup> dan variasi ketinggian 20 cm, 40 cm, 60 cm, 80 cm dan 100 cm dengan prosedur yang sama ukuran media karbon aktif 50 – 100 MESH maka diperoleh data sebagai berikut :

**Tabel 4.10**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 30-50 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	1,7	6,85
0,4	2,1	7,3
0,6	2,5	7,75
0,8	2,95	8,25
1	3,55	8,8

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.11**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 30-50 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	1,45	5,7
0,4	1,9	6,15
0,6	2,25	6,7
0,8	2,55	7,15
1	3	7,7

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.12**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 30-50 MESH, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,95	4,7
0,4	1,3	5,4
0,6	1,65	5,8
0,8	1,95	6,15
1	2,4	6,75

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.13**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,95	5,1
0,4	1,6	5,7
0,6	1,9	6,15
0,8	2,15	6,5
1	2,5	7

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.14**  
Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L,  
ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,85	3,9
0,4	1,25	4,4
0,6	1,65	4,7
0,8	2,1	5,25
1	2,5	5,75

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.15**  
Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L,  
ukuran media 30-50 MESH dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,8	3,4
0,4	1,1	3,5
0,6	1,6	3,85
0,8	1,75	4,1
1	1,9	4,4

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.16**  
Waktu titik tembus dan waktu jenuh pada konsentrasi influen 200 mg/L,  
ukuran media 16-30 mesh, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	1,6	7,5
0,4	1,85	7,95
0,6	2,25	8,4
0,8	2,7	8,9
1	3,25	9,5

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.17**  
Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L,  
ukuran media 16-30, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	1,1	6,2
0,4	1,35	6,65
0,6	1,9	7,2
0,8	2,15	7,7
1	2,4	8,25

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.18**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 200 mg/L, ukuran media 16-30 mesh, dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,7	5,3
0,4	0,8	5,75
0,6	1,45	6,15
0,8	1,7	6,6
1	1,85	7,05

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.19**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 16-30, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,7	5,3
0,4	1	5,75
0,6	1,55	6,15
0,8	2,05	6,5
1	2,2	7,05

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.20**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>

Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,7	4,25
0,4	0,95	4,6
0,6	1,45	5
0,8	1,85	5,35
1	2,2	5,75

Sumber : Hasil penelitian, 2003

**Tabel 4.21**

Waktu titik tembus dan waktu jenuh untuk konsentrasi influen 300 mg/L, ukuran media 16-30 MESH dan laju limpasan 20,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>.

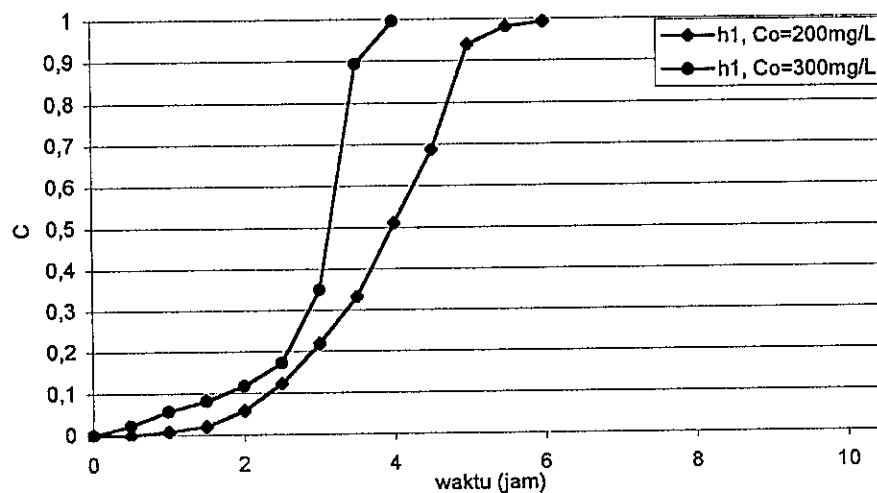
Ketinggian (m)	Waktu titik tembus (jam)	Waktu jenuh (jam)
0,2	0,7	3,6
0,4	0,95	4
0,6	1,4	4,4
0,8	1,65	4,75
1	1,75	5,15

Sumber : Hasil penelitian, 2003

#### 4.3.8. Perbandingan pola adsorpsi

Untuk mengetahui perbedaan pola adsorpsi dari masing-masing perlakuan dibuat kurva perbandingan antara variabel sejenis yang mempunyai besaran berbeda, tetapi sama untuk variabel lainnya. Dalam pembahasan ini diambil tiga contoh perbandingan pola adsorpsi dengan memvariasikan konsentrasi influen, ukuran media dan laju limpasan aliran.

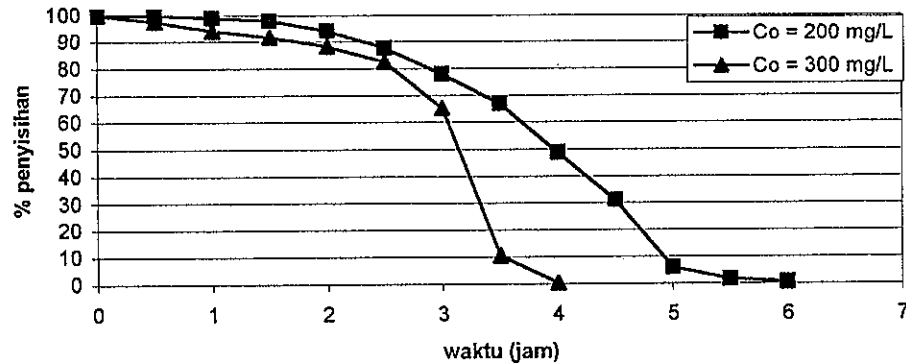
##### a. Pengaruh konsentrasi influen



**Gambar 4.25.** Contoh kurva perbandingan pola adsorpsi dengan memvariasikan konsentrasi influen ( $h = 20$  cm, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>)

Untuk perbandingan pola adsorpsi dengan memvariasikan konsentrasi influen, tampak bahwa pola adsorpsi dari kedua kurva terobosan konsentrasi 200 mg/L dan 300 mg/L tidak berbeda. Hal ini dikarenakan lebar zone perpindahan massa yaitu daerah antara titik tembus sampai titik jenuh sama besar. Perbedaannya adalah pada pencapaian waktu titik tembus, pada konsentrasi 300 mg/L lebih cepat mencapai titik tembus bila dibandingkan dengan konsentrasi 200 mg/L yang lebih lama.

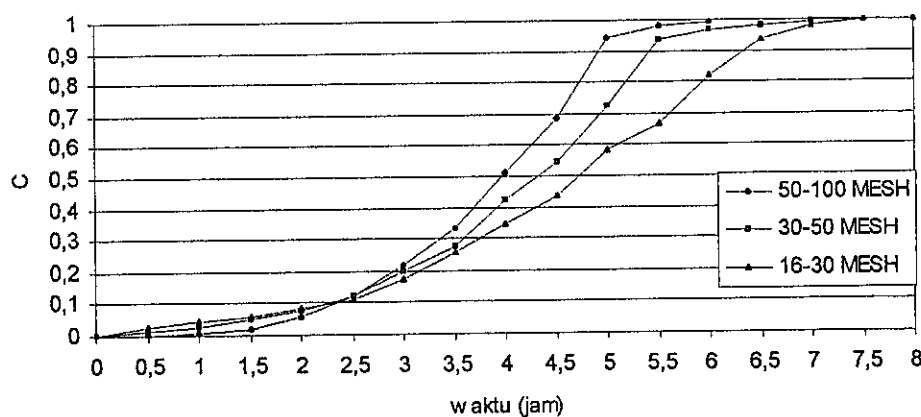
Contoh pengoperasian kolom pada kondisi tertentu untuk variabel konsentrasi zat warna (acrylamide) menghasilkan kurva gambar 4.49.



**Gambar 4.26.** Contoh grafik perbandingan efisiensi penyisihan dengan konsentrasi berbeda ( $h = 20$  cm, ukuran media 50-100 MESH, laju limpasan  $14,2$  ml/menit.cm<sup>2</sup>)

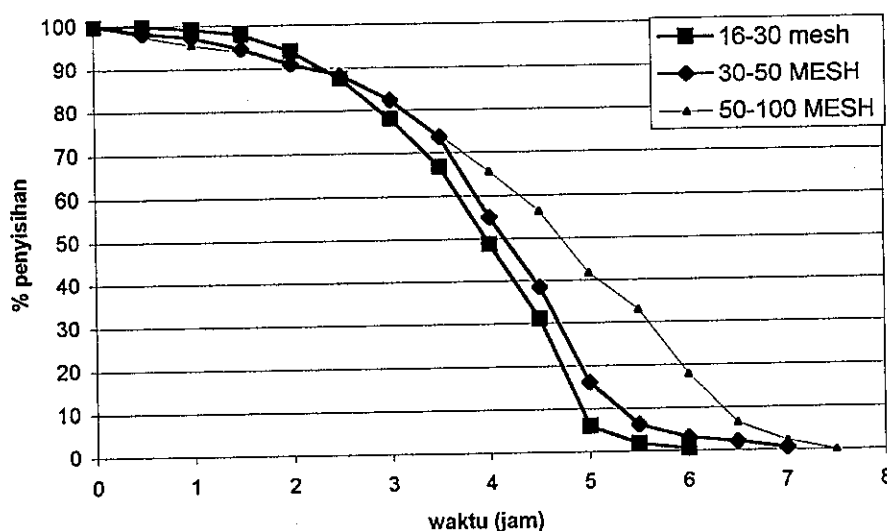
Dari gambar terlihat penambahan efisiensi penyisihan bila konsentrasi larutan bertambah kecil. Ini menunjukkan bahwa penurunan konsentrasi larutan akan menyebabkan peningkatan kemampuan adsorpsi.

#### b. Pengaruh ukuran media



**Gambar 4.27.** Contoh kurva perbandingan pola adsorpsi dengan memvariasikan ukuran media karbon aktif ( $h = 20$  cm, konsentrasi influen  $200$  mg/L, dan laju limpasan  $14,2$  ml/menit.cm<sup>2</sup>)

Untuk perbandingan kurva adsorpsi dengan memvariasikan ukuran media karbon aktif, tampak bahwa untuk ukuran media yang lebih besar (16-30 MESH) kurva terobosannya lebih landai bila dibandingkan dengan kurva terobosan milik ukuran media yang lebih kecil (30-50 MESH dan 50-100 MESH). Fenomena ini menunjukkan bahwa pengaruh penurunan ukuran butir media maka akan menyebabkan kenaikan luas permukaan adsorben, yang selanjutnya akan menyebabkan kenaikan kontak antara adsorben dan adsorbat (acrylamide), sehingga mempercepat titik jenuh adsorben. Adsorben karbon aktif ukuran 50–100 MESH memiliki kapasitas serap ( $q_0$ ) lebih besar dibanding ukuran 16-30 MESH dan 30-50 MESH. Dari hasil pengoperasian kolom untuk variasi ukuran media diperoleh gambar 4.18.



**Gambar 4.28.** Contoh grafik penyisihan dengan ukuran media berbeda ( $h=20$  cm,  $C_0=200$  mg/L, laju limpasan  $14,2$  ml/menit.cm<sup>2</sup>)

Perubahan ukuran media ternyata menghasilkan waktu operasi mencapai jenuh yang berbeda.

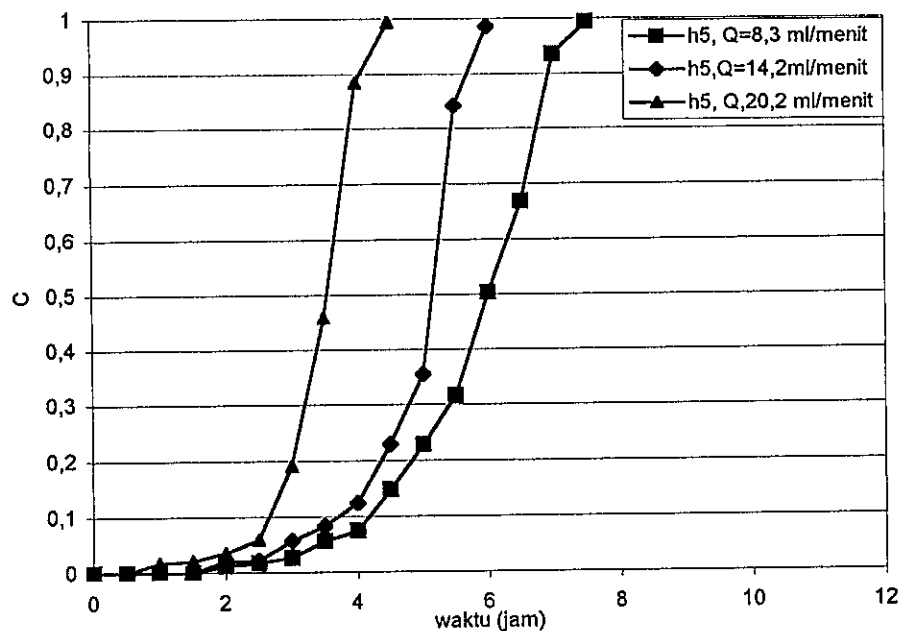
**Tabel 4.22**  
 Contoh pengaruh ukuran media terhadap waktu pengoperasian kolom mencapai jenuh ( $C_e/C_o > 0,05$ )  
 (Laju limpasan = 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>, h = 100 cm)

Ukuran media	Waktu pengoperasian (jam)	
	Co = 200 mg/L	Co = 300 mg/L
16-30 MESH	1,2	0,9
30-50 MESH	1,4	1,25
50-100 MESH	1,85	1,5

Sumber : Hasil penelitian, 2003

Dari analisis di atas dapat dirangkum bahwa ukuran media pengaruhnya tidak terlalu besar pada efisiensi penyisihan tetapi pengaruhnya cukup besar pada waktu operasi, terutama pada konsentrasi rendah. Sehingga untuk desain kolom yang perlu diperhatikan dari ukuran media adalah pengaruh waktu operasi kolom.

#### c. Pengaruh laju limpasan



**Gambar 4.29.** Contoh kurva perbandingan pola adsorpsi dengan memvariasikan laju limpasan ( $h = 100$  cm, konsentrasi influen 300 mg/L, dan ukuran media karbon aktif 50-100)

Bila laju limpasan besar maka waktu kontak semakin kecil sehingga kemungkinan ion-ion acrylamide yang lolos dari media lebih banyak. Ion-ion yang melewati media per satuan waktu adalah sebanding dengan laju limpasan influen, maka pada konsentrasi yang sama dan dengan memperbesar laju limpasan, jumlah massa ion acrylamide akan menjadi banyak sehingga pada waktu singkat jumlah ion yang lolos akan banyak. Pada laju aliran rendah ( $8,312 \text{ ml/menit.cm}^2$ ) didapat kurva terobosan yang lebih landai serta waktu tembus dan waktu jenuh yang lebih lama. Pada laju aliran rendah konsentrasi effluen yang dihasilkan lebih stabil dibandingkan pada perlakuan laju tinggi.

#### d. Pengaruh ketinggian media

Dari hasil pengoperasian kolom kontinyu untuk variasi tinggi media dapat dilihat pada kurva-kurva terobosan. Pada gambar-gambar tersebut terlihat bahwa pada umumnya efisiensi penyisihan yang lebih rendah didapatkan pada ketinggian yang lebih rendah, kemudian meningkat pada ketinggian media yang lebih tinggi. Kecenderungan ini terjadi sejak waktu awal pengamatan hingga terjadinya titik jenuh media dalam kolom. Hal ini disebabkan karena larutan yang dilewatkan pada kolom hampan tetap akan lebih dahulu mengalami proses adsorpsi pada lapisan teratas. Pada lapisan tersebut terjadi kontak dengan konsentrasi yang lebih rendah akan teradsorp pada lapisan berikutnya. Lama-kelamaan lapisan atas akan jenuh sehingga proses adsorpsi berikutnya bergeser ke lapisan di bawahnya. Sehingga semakin rendah ketinggian media dalam kolom zona adsorpsinya juga semakin rendah dan efisiensi penyisihannya semakin rendah.

Pengaruh tinggi media dalam kolom dapat pula ditinjau dari waktu operasi kolom adsorpsi. Tabel 4.23 menunjukkan pengaruh ketinggian media terhadap waktu operasi kolom adsorpsi yang digunakan.

**Tabel 4.23**

Contoh pengaruh ketinggian media terhadap waktu pengoperasian kolom untuk mencapai efisiensi penyisihan 95%  
( $Q = 20,2 \text{ ml/menit.cm}^2$ , ukuran media 50-100 MESH)

Ketinggian media (cm)	Waktu pengoperasian (jam)	
	$C_0 = 200 \text{ mg/L}$	$C_0 = 300 \text{ mg/L}$
20	2,1	0,9
40	2,2	1,5
60	2,6	1,9
80	2,8	2,1
100	3,4	2,3

Sumber : Hasil penelitian, 2003

Dari tabel di atas telah dapat diketahui bahwa kenaikan tinggi media akan mengakibatkan kenaikan waktu pengoperasian kolom adsorpsi yang dapat dilakukan. Karena kenaikan tinggi media akan memperbanyak massa adsorbennya, sehingga kapasitas adsorpsinya bertambah besar dan akan semakin memperlama waktu pengoperasiannya.

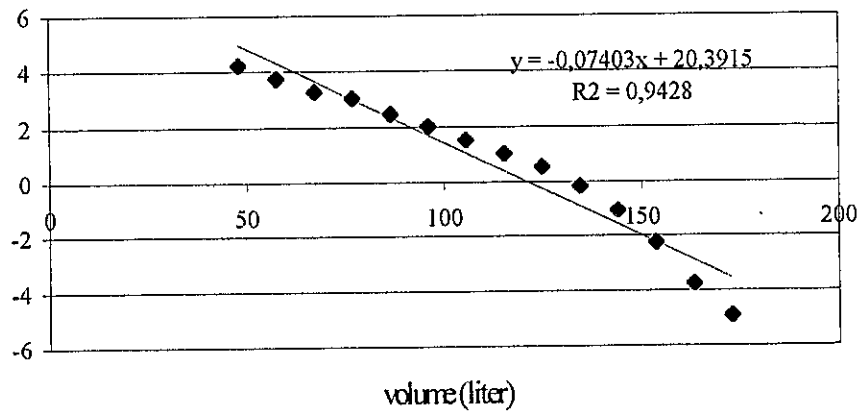
#### 4.3.9. Perhitungan $k_1$ dan $q_0$

Dengan menggunakan persamaan Thomas, hasil pengamatan terhadap konsentrasi effluen dan volume yang didapat, maka akan didapatkan nilai  $k_1$  dan  $q_0$  dari tiap-tiap perlakuan. Pertama-tama dibuat

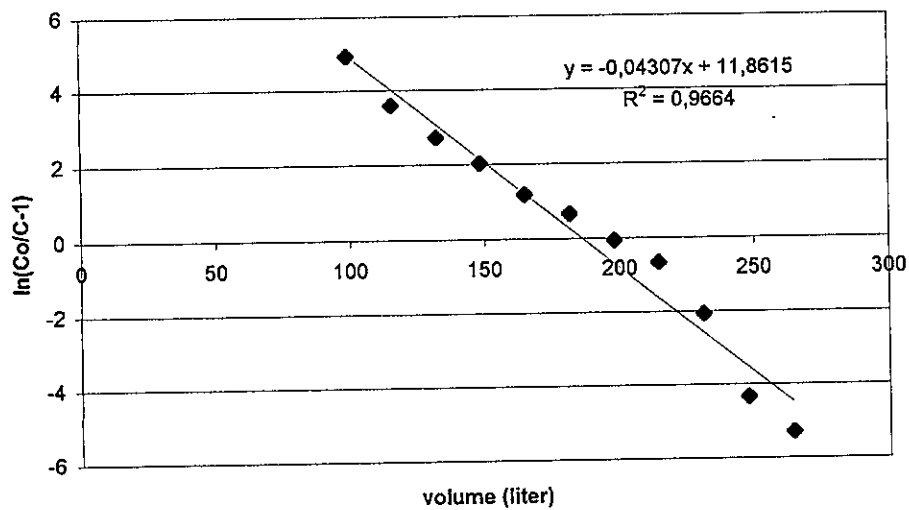
grafik antara  $\ln\left(\frac{C_0}{C} - 1\right)$  vs volume, kemudian dari slope didapatkan nilai

$k_1$ , dimana  $\text{slope} = -\frac{k_1 \cdot C_0}{Q}$ , kemudian nilai  $q_0$  dicari dengan

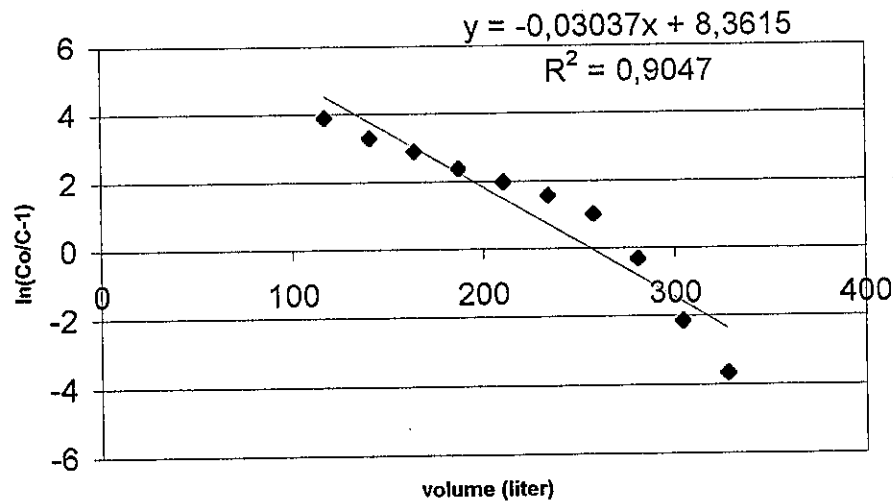
menggunakan intercept dan  $k_1$  yang didapat, dimana  $\text{intercept} = \frac{k_1 \cdot q_0 \cdot M}{Q}$ .



**Gambar 4.30.** Grafik antara  $\ln\left(\frac{C_0}{C}-1\right)$  vs volume untuk  $C_0=200$  mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 8,3 ml/menit.cm<sup>2</sup>



**Gambar 4.31.** Grafik antara  $\ln\left(\frac{C_0}{C}-1\right)$  vs volume untuk  $C_0=200$  mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan 14,2 ml/menit.cm<sup>2</sup>



**Gambar 4.32.** Grafik antara  $\ln\left(\frac{C_o}{C} - 1\right)$  vs volume untuk  $C_o = 200$  mg/L, ukuran media 50-100 MESH, dan laju limpasan  $20,2$  ml/menit.cm<sup>2</sup>

Dari kurva di atas dapat dicari harga  $k_1$  dan  $q_0$  dengan cara memasukkan slope dan intercept yang didapat pada tiap perlakuan tertentu. Harga  $k_1$  dan  $q_0$  dari berbagai perlakuan dalam percobaan tampak pada lampiran L 4.49.

Untuk karbon aktif ukuran 50-100 MESH mempunyai kapasitas serap lebih besar dari karbon aktif ukuran 16-30 MESH dan ukuran 30-50 MESH. Hal ini disebabkan faktor keaktifan dan porositas dari adsorben karbon aktif ukuran 50-100 MESH lebih besar dibandingkan karbon aktif ukuran media 16-30 MESH dan 30-50 MESH. Karbon aktif ukuran media 50-100 MESH memiliki konstanta kecepatan adsorpsi lebih besar dari karbon aktif ukuran 16-30 MESH dan 30-50 MESH. Hal ini menunjukkan bahwa zat warna yang terdapat dalam air limbah mengalami perpindahan lebih cepat ke dalam adsorben.

Dengan hasil di atas dapat dibuat model persamaan sebagai berikut :

Untuk 16-30 MESH:

$$\frac{Ce}{Co} = \frac{1}{1 + e^{\frac{94,6023}{Q}(0,013336.M - Co.V)}} \dots\dots\dots(4.5)$$

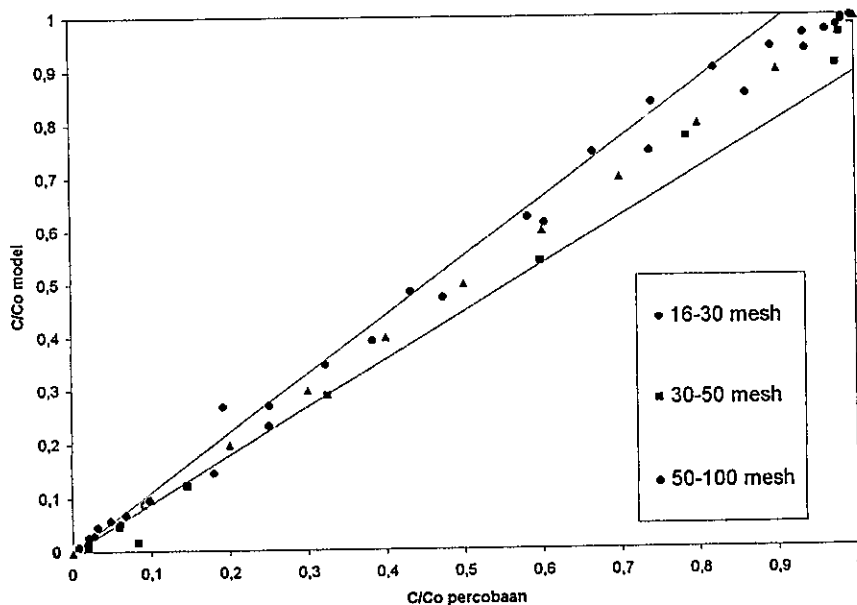
Untuk 30-50 MESH:

$$\frac{Ce}{Co} = \frac{1}{1 + e^{\frac{98,4642}{Q}(0,01424.M - Co.V)}} \dots\dots\dots(4.6)$$

Untuk 50-100 MESH:

$$\frac{Ce}{Co} = \frac{1}{1 + e^{\frac{118,4432}{Q}(0,020925.M - Co.V)}} \dots\dots\dots(4.7)$$

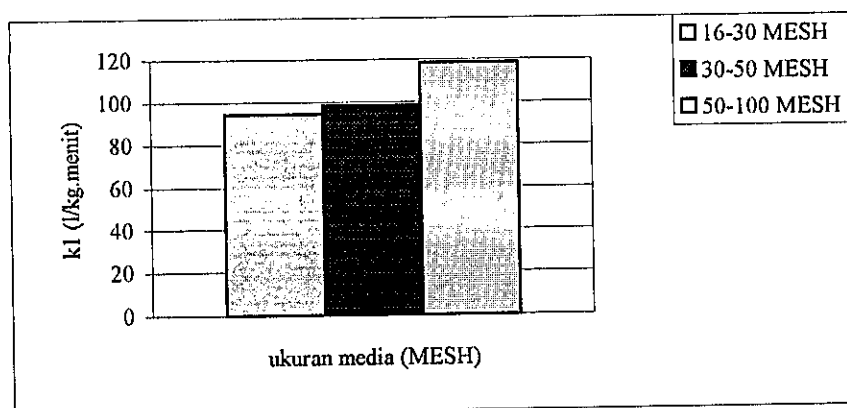
Dari model-model yang didapat di atas, bila dibandingkan dengan hasil percobaan akan mempunyai penyimpangan seperti yang terlihat pada gambar berikut :



Gambar 4.33. Grafik penyimpangan antara model yang didapat dengan hasil penelitian

Dari gambar di atas terlihat bahwa penyimpangan yang dimiliki oleh model untuk ukuran karbon aktif 16-30 MESH adalah sebesar 4,4 %. Untuk ukuran karbon aktif 30-50 MESH sebesar - 3,88 %, dan untuk ukuran karbon aktif 50-100 MESH sebesar 0,88 %. Ini berarti bahwa model-model yang didapat bisa diterima dan digunakan karena penyimpangan yang dimiliki tidak lebih dari  $\pm 5\%$ .

Dari tiap-tiap ukuran media akan didapat nilai konstanta kecepatan ( $k_1$ ) yang berbeda-beda. Dan nilai ini akan meningkat dengan semakin kecilnya ukuran butir media. Peningkatan ini bila dibuat dalam suatu grafik antara ukuran media dengan nilai konstanta kecepatan maka akan tampak seperti berikut :



**Gambar 4.34.** Grafik hubungan antara ukuran media dengan nilai konstanta kecepatan

Bila dilihat dari gambar di atas terlihat bahwa hubungan antara nilai konstanta kecepatan dengan ukuran media akan berlaku bahwa penurunan ukuran media (dengan semakin kecilnya nilai MESH) akan berpengaruh terhadap kenaikan nilai konstanta kecepatan. Ini menunjukkan bahwa nilai konstanta kecepatan merupakan fungsi dari ukuran media.

Nilai kapasitas serap ( $q_0$ ) yang didapat dari percobaan kontinyu dimasukkan ke dalam model yang diperoleh dari percobaan batch. Nilai  $q_0$  dari model kontinyu merupakan variabel  $x/m$  dalam model batch. Untuk konsentrasi setimbang ( $C$ ) pada model batch diperoleh dari konsentrasi influen dari percobaan kontinyu. Pada waktu iterasi nilai  $q_0$  ke dalam model batch, harga  $k$  yang mula-mula mempunyai nilai dianggap belum diketahui terlebih dahulu, hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah nantinya nilai konstanta kecepatan adsorpsi ( $k$ ) pada proses batch dan proses kontinyu akan sama ataukah berbeda. Bila hasil substitusi tersebut dibuat dalam satu tabel, akan terlihat seperti berikut :

**Tabel 4.24.**  
Perbandingan nilai Konstanta kecepatan ( $k$ ) dari proses batch dan hasil substitusi dari proses kontinyu.

Ukuran media (MESH)	k batch (l/mg.menit)	k hasil substitusi (l/mg.menit)
16-30	0,000128	0,000124 – 0,000131
30-50	0,000146	0,000141 – 0,000149
50-100	0,000169	0,000162 – 0,000174

Dari hasil substitusi di atas diperoleh harga konstanta kecepatan ( $k$ ) yang tidak berbeda jauh. Hal ini menunjukkan bahwa nilai konstanta kecepatan pada proses batch dan proses kontinyu pada kondisi operasi yang sama akan mempunyai nilai konstanta kecepatan ( $k$ ) yang sama.

#### 4.3.10. Perhitungan biaya investasi dan operasi

Ada beberapa alternatif pembuatan instalasi pengolah limbah, yaitu sistem individu dan berkelompok. Masing-masing sistem mempunyai keuntungan dan kerugian. Keuntungan sistem individu adalah masing-masing industri kecil dapat

mengatur jadwal pengolahan limbah sendiri. Jadi tidak tergantung dengan industri kecil lainnya. Kerugiannya, hanya bagi industri kecil yang mempunyai modal besar saja yang dapat membangun instalasi pengolah limbah, karena untuk membangun instalasi pengolah limbah dibutuhkan dana Rp. 4.000.000,- dengan debit 4m<sup>3</sup>/hari (data lapangan). Untuk sistem pengolah limbah yang berkelompok, keuntungan didapat dari berkurangnya biaya pembuatan unit pengolah limbah, sistem pengumpulan dan biaya pemeliharaan dan operasinya. Kerugian sistem ini, industri harus mengumpulkan dana dari beberapa industri untuk dapat membangun unit pengolah limbah, sedangkan kemampuan finansial pabrik berbeda. Hal ini akan menghambat pembangunan unit pengolah limbah. Perkiraan fungsi biaya untuk pembangunan unit pengolah air limbah mempunyai bentuk umum sebagai berikut :  $Y = A \cdot Q^B$  (Djajadiningrat S, 1994)

Keterangan :

- Y = biaya instalasi pengolahan limbah  
 Q = kapasitas instalasi pengolah limbah  
 A = konstanta biaya yang mempunyai nilai rupiah  
 B = skala ekonomi yang mempunyai nilai lebih kecil satu

#### **Pengolahan secara individu**

Industri mempunyai debit : 2 m<sup>3</sup>/hari, 3 m<sup>3</sup>/hari, 4 m<sup>3</sup>/hari. Biaya pembangunan unit pengolah limbah tiap 1 m<sup>3</sup> adalah Rp 4.000.000,- : 4 = Rp 1.000.000,-

A = Rp 1.000.000,- (konstanta biaya)

B = 0,60 (skala ekonomi / ditentukan)

Q = debit limbah industri pencelupan kain

$$Y = 1.000.000 (2^{0,6} + 3^{0,6} + 4^{0,6})$$

$$= \text{Rp } 5.746295$$

**Pengolahan secara berkelompok**

Industri mempunyai debit 2 m<sup>3</sup>/hari, 3 m<sup>3</sup>/hari, 4 m<sup>3</sup>/hari

A = Rp 1.000.000,- (konstanta biaya)

B = 0,65 (skala ekonomi / ditentukan)

Q = 2 + 3 + 4 = 9 m<sup>3</sup>/hari

Y = 1.000.000 (9<sup>0,60</sup>)

= Rp 3739193,-

Jadi penghematan yang diperoleh Rp 1.775.830,-

**Biaya pengolahan limbah**Secara individu

Kebutuhan karbon =  $\pi R^2 \cdot h \cdot \rho \cdot \text{Rp } 4000,-/\text{kg}$

= 8,62 kg . Rp 4000,-/kg

= Rp 34.480,-

Biaya listrik = Rp 100.000,-

Umur pakai instalasi diperkirakan 5 tahun, biaya investasi tiap bulan = Rp

5.746295,-/60 = Rp 95.771,-

Total biaya yang dikeluarkan untuk pengolahan limbah secara individu per bulan

= Rp 95.771,- + Rp 100.000,- + Rp 34.480,-

= Rp 230.251,-

Limbah cair yang diolah setiap bulan = 30 x 4 m<sup>3</sup> = 120 m<sup>3</sup>

Jadi biaya per m<sup>3</sup> = 1.919,-

Secara terpadu

Asumsi penggantian 2 kali tiap bulan

Biaya untuk karbon aktif =  $2 \times \text{Rp } 34.480,- = \text{Rp } 68.960,-$

Biaya investasi tiap bulan =  $\text{Rp } 3739193,-/60 = \text{Rp } 62.319,-$

Biaya listrik =  $\text{Rp } 150.000,-$

Total biaya yang dikeluarkan untuk pengolahan limbah secara individu per bulan

=  $\text{Rp } 62.319,- + \text{Rp } 150.000,- + \text{Rp } 68.960,-$

=  $\text{Rp } 281.279,-$

Limbah cair yang diolah setiap bulan =  $30 \times 9 \text{ m}^3 = 270 \text{ m}^3$

Jadi biaya per  $\text{m}^3 = \text{Rp } 1.042,-$  (Penghematan  $\text{Rp } 878,-$ )

Biaya pengolahan per  $\text{m}^3$  limbah cair secara individu =  $\text{Rp } 1919,-$

secara terpadu =  $\text{Rp } 1042,-$

Penghematan

=  $\text{Rp } 877,-$

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

1. Media adsorben yang paling efektif untuk pengisian zat warna acrylamide adalah karbon aktif dengan efisiensi 36,049 – 76,038% sedangkan batu apung 21,254 – 33,755% dan batu bara 15,785 – 53,616%.
2. Kurva terobosan untuk ukuran media yang lebih besar akan terlihat lebih landai bila dibandingkan dengan ukuran media yang lebih kecil karena zona perpindahan massanya lebih besar, tetapi pencapaian titik tembusnya lebih cepat, demikian juga sebaliknya. Untuk laju limpasan yang lebih besar akan terlihat lebih curam. Untuk konsentrasi influen yang lebih besar akan terlihat lebih curam. Sedangkan untuk ketinggian yang berbeda dalam satu perlakuan polanya akan terlihat sama.
3. Percobaan adsorpsi dengan menggunakan sistem batch akan mengikuti persamaan isoterm Freundlich dengan model sebagai berikut.

Ukuran Media	Karbon Aktif	Batu Apung	Batubara
a. Untuk 16-30 MESH, modelnya	$\frac{x}{m} = 0,000128 Ce^{0,5643}$	$\frac{x}{m} = 0,000076 Ce^{0,3998}$	$\frac{x}{m} = 0,000096 Ce^{0,4025}$
b. Untuk 30-50 MESH, modelnya	$\frac{x}{m} = 0,000146 Ce^{0,6701}$	$\frac{x}{m} = 0,000098 Ce^{0,4226}$	$\frac{x}{m} = 0,000109 Ce^{0,4623}$
c. Untuk 50-100 MESH, modelnya	$\frac{x}{m} = 0,000169 Ce^{0,8794}$	$\frac{x}{m} = 0,000109 Ce^{0,5504}$	$\frac{x}{m} = 0,000126 Ce^{0,5783}$

Model adsorpsi pada kolom adsorpsi karbon aktif dengan efisiensi pengisian berkisar antara 95 – 100% adalah sebagai berikut :

$$\text{a. Untuk 16-30 MESH, } \frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{94,6023}{Q}(0,013336.M - C_o.V)}}$$

$$\text{b. Untuk 30-50 MESH, } \frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{98,4642}{Q}(0,01424.M - C_o.V)}}$$

$$\text{c. Untuk 50-100 MESH, } \frac{C_e}{C_o} = \frac{1}{1 + e^{\frac{118,4432}{Q}(0,020925.M - C_o.V)}}$$

## 5.2. Saran

Model yang didapat dari percobaan kontinyu diharapkan dapat diaplikasikan di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cathalifand, 1998, *Aluminium Effect Upon Adsorption Of Natural Fulvic Acids Onto PAC*, The Water Research, The Journal of the International Association on Water Quality, Volume 32 Number 8, Pergamon, England.
- Cheremisinoff, 1978, *Carbon Adsorption Hand Book*, Ann Arboor Science, New Jersey.
- Cho Sing and Juan Yu, 1998, *Copper Adsorption, and Removed From Water by living Mycelium of white rote fungus*, The Water Research, The Journal Of The International Association on Water Quality, Volume 32 Number 9, Pergamon, England.
- Coulson, J.M, Richardson, J.F, 1991, *Chemical Engineering: Particle Technology and Separation Processes*.
- Didier Leveremont, 1998, *Removal of PCNB from aqueous solution by a fungal Adsorption Process*, The Water Reserarch, The Journal Of The International Association on Water Quality, Volume 32, Number 13 Fourth edition, Pergamon, England.
- Eckenfelder, Jr.W, 1989, *Industrial Water Pollution Control*, Mc Graw-Hill Book Company, Singapore
- Gomez Sevirano, 1998, *Adsorption of Mercury Cadmium and lead from aqueous solution on heat treated and sulphurized Activated Carbon*, The Water Research, The Journal Of The International Association on Water Quality, Volume 32 Number 9, Pergamon, England.
- Hartanto, N. Sugiarto, 1993, *Teknologi Tekstil*, Cetakan ke 3, Pradnya Paramita, Jakarta. .
- Henny, S, 1995, *Pengolahan Limbah Batik*, Universitas Indonesia, Jakarta
- Isminingsih, 1998, *Pengantar Kimia Zat Warna*, Institut Teknologi Tekstil, Bandung
- Katili dan Marks, 1986. *Geologi*, Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta.
- Klimesch, 1998, *Effects of quarts Particle Size and Kaolin on Hydrogament Formation During Autoclaving*, Cement and Concrete Research, An International Journal, Pergamon, England.
- LaGrega, Michael, 1994, *Hazardous Waste Management*, McGraw Hill, New York.
- Mc Cabe, Warren. L, 1993, *Unit Operation of Chemical Engineering*, Fifth Edition, Mc Graw Hill, Singapore.

- Mc Kay, 1999, *Waste Color Removal from Textile Effluent*, American Dyestuff Reporter, Vol. 108, No.4
- MetCalf and Eddy 1991, *Waste Water Engineering Treatment, Disposal and Reuse*, Mc Graw-Hill Publishing Company, New York
- Mualimin, 1998, *Penggunaan Batubara untuk Limbah Kertas*, Jurnal Purifikasi vol.2, no.3, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Muhammad Nasif dan Atiek Moesriati, 2000, *Adsorpsi Deterjen Memakai Batubara pada Kolom Kontinyu*, Jurnal Purifikasi, vol.2, no.5, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Praswati PDK dan Anastina Sri Basuki, 2003, *Pemanfaatan Karbon Aktif untuk Menyerap Ion Fe dan Zn dari Larutannya pada Sistem Batch*, Universitas Indonesia, Jakarta
- Razvitorovo, 1998, *Purification of water by activated carbons from apricot stones, lignite's and anthracite*, The Water Research, The Journal Of The International Association on Water Quality, Volume 32 Number 2, Pergamon, England.
- Resat Apak and Cagatay F. Unal, 1998. *Adsorptive removal of chlorophenols from water by bituminous shale*, The Water Research, The Journal Of The International Association on Water Quality, Volume 32 Number 8, Pergamon, England.
- Reynolds, Tom. D, 1982, *Unit Operations and Processes in Environmental Engineering*, Wadsworth Inc, California
- Saifullah dan Hari Miko Indaryanto, 2001, *Adsorpsi Saringan Pasir Aktif untuk Menurunkan Kadar Besi dari Air Sumur*, Jurnal Purifikasi, vol.2, no.5, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Sasmojo, S, 1994, *Proses-proses Penangkalan, Pencegahan dan Pengendalian Pencemaran Berdasarkan Adsorpsi*, Seminar Pengelolaan Limbah Industri di KLH, Jakarta
- Sukadevan K, 1998, *Phosphate Adsorption Characteristic of Soils Slag's and zeolits to be used as substrates in constructed wet land systems*, The Water Research, The Journal Of The International Association on Water Quality, Volume 32 Number 8, Pergamon, England.
- Sundstrom, D.W and Klei, H.E, 1979, *Waste Water Treatment*, Prentice-Hall, Inc, Engellwood Cliffs, New Jersey
- Prayitno, 2001, *Adsorpsi Zat Warna Limbah Cair Industri Tekstil*, Bistek Jurnal Bisnis dan Teknologi, volume 9, nomor 3, Malang