

R 819
541.33
Jay
S-1
2009

SKRIPSI - SK 1514

**STUDI ADSORPSI ION LOGAM Cu (II) DARI
LARUTAN MENGGUNAKAN PELET KOMPOSIT
CANGKANG KUPANG - KHITOSAN TERIKAT
SILANG DALAM KOLOM KATIL TETAP (FIXED-
BED COLUMN)**

DIAH DWI JAYANTI
NRP 1405 100 019

Dosen Pembimbing
Drs. EKO SANTOSO, MSi

JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2009

PERPUSTAKAAN ITS	
Tgl. Terima	19-8-2009
Terima Dari	M
No. Agenda Prp.	178



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - SK 1514

**ADSORPTION STUDY of Cu (II) from AQUEOUS
SOLUTIONS USING PELLET of KUPANG SHELL
CROSS- LINKED CHITOSAN COMPOSITE in FIXED
BED COLUMN**

**DIAH DWI JAYANTI
NRP 1405 100 019**

**Advisor Lecturer
Drs. EKO SANTOSO, MSi**

**CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA 2009**

**STUDI ADSORPSI ION LOGAM Cu (II) DARI LARUTAN
MENGUNAKAN PELET KOMPOSIT CANGKANG
KUPANG - KHITOSAN TERIKAT SILANG DALAM KOLOM
KATIL TETAP (*FIXED-BED COLUMN*)**

SKRIPSI

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Pada Bidang Studi Kimia Fisik Program Studi S – 1
Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh :

DIAH DWI JAYANTI
NRP. 1405 100 019

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN
ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2009**

**STUDI ADSORPSI ION LOGAM Cu (II) DARI LARUTAN
MENGUNAKAN PELET KOMPOSIT CANGKANG
KUPANG - KHITOSAN TERIKAT SILANG DALAM KOLOM
KATIL TETAP (FIXED-BED COLUMN)**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

DIAH DWI JAYANTI
NRP. 1405 100 019

Surabaya, Agustus 2009

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Tugas Akhir


Drs. Eko Santoso, M.Si
NIP. 131 869 970

Ketua Jurusan Kimia


Lukman Atmaja, PhD
NIP 131 835 481



**STUDI ADSORPSI ION LOGAM Cu (II) DARI LARUTAN
MENGUNAKAN PELET KOMPOSIT CANGKANG
KUPANG - KHITOSAN TERIKAT SILANG DALAM KOLOM
KATIL TETAP (*FIXED-BED COLUMN*)**

Nama : Diah Dwi Jayanti
NRP : 1405 100 019
Jurusan : Kimia
Pembimbing : Drs. Eko Santoso, MSi

Abstrak

Pada penelitian ini telah dibuat adsorben komposit serbuk cangkang kupang - khitosan yang terikat silang glutaraldehid 0,2% dimana masing-masing bahan dapat mengikat logam Cu (II) secara kontinu menggunakan sistem *fixed-bed* kolom.. Adsorben cangkang kupang -khitosan ini dimasukkan ke dalam kolom yang berdiameter 1,5 cm dan konsentrasi awal larutan Cu (II) adalah 100 mg/L. Variasi yang digunakan adalah laju alir influen (1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit), variasi komposisi adsorben dibuat dalam fraksi berat serbuk cangkang kupang (93,75%; 95,24%; dan 96,15%), dan juga variasi pH awal larutan (dengan pengaturan dan tanpa pengaturan). Pada pH awal larutan yang tanpa pengaturan digunakan khusus untuk komposisi adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2,5 mL/menit. Hasil menunjukkan bahwa laju alir influen, komposisi adsorben, dan pH awal larutan mempengaruhi kapasitas adsorpsi masing-masing adsorben yaitu semakin cepat laju alir maka kapasitas adsorpsi juga semakin besar, semakin besar komposisi adsorben yaitu fraksi berat serbuk cangkang kupang maka kapasitas adsorpsinya akan semakin menurun. Pengaruh pH awal larutan terhadap kapasitas adsorpsi yaitu pH awal larutan yang diatur menggunakan pH optimum pada pH 4 memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan larutan awal tanpa pengaturan pH.

Kata kunci : cangkang kupang; khitosan; adsorpsi; tembaga (II); *fixed-bed* kolom; analisa SSA

**ADSORPTION STUDY of Cu (II) from AQUEOUS
SOLUTIONS USING PELLET of KUPANG SHELL CROSS-
LINKED CHITOSAN COMPOSITE in FIXED BED COLUMN**

Nama : Diah Dwi Jayanti
NRP : 1405 100 019
Departement : Chemistry
Pembimbing : Drs. Eko Santoso, MSi

Abstract

In this research sea shell- chitosan composite powder adsorbent cross linked with glutaraldehyd 0,2%, were used to adsorb Cu(II) in fixed-bed column system. This adsorbent placed in fixed-bed column (1,5 cm in diameter) and at initial concentration 100 mg/L. Flow rate was varied at (1mL/min; 2 mL/min; 2,5 mL/min), composition of adsorbent was varied with weight fraction (93,75%; 95,24%; and 96,15%), and initial pH was adjusted at pH 4 and without adjusted. Unadjusted initial pH used especially for composition of sea shell powder 96,15% by flow rate 2,5 mL/min. Result showed that influent flow rate, adsorbent composition, and the initial pH solution affected adsorption capacity of each adsorbent. The higher flow rate caused the higher adsorption capacity. The higher adsorbent composition of sea shell powder weight fraction, caused the lower lower adsorption capacity. In addition, solution adjusted at initial pH 4 has higher capacity than at unadjusted pH solution.

Keyword : sea shell; chitosan; adsorption; copper (II); fixed- bed column; AAS analysis

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan YME karena atas berkat, kasih dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Studi Adsorpsi Ion Logam Cu (II) Dari Larutan Menggunakan Pelet Komposit Cangkang Kupang- Khitosan Terikat Silang Dalam Kolom Katil Tetap (*Fixed-Bed Column*)”**.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini Penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada:

1. Bapak Lukman Atmaja, Ph.D, selaku Ketua Jurusan Kimia FMIPA ITS.
2. Drs. Eko Santoso, M.Si, selaku Dosen Pembimbing dan Kepala Laboratorium Kimia Fisik atas semua bimbingan, diskusi dan saran yang telah diberikan selama penyelesaian Tugas Akhir.
3. Dra. Yulfi Zetra, M.Si selaku Koordinator Tugas Akhir Jurusan Kimia FMIPA ITS.
4. DR.RER.NAT Irmina Kris Murwani, M.Si, selaku Dosen Wali atas perhatian dan pengarahannya selama ini.
5. Orang tua, kakak, adik, rekan-rekan tugas akhir dan sahabat-sahabatku semuanya serta teman-teman khususnya 2005 atas segala doa dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa masih banyak terdapat kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Juni 2009

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xviii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biosorpsi	5
2.2 Khitin dan Khitosan	
2.2.1 Khitin	6
2.2.2 Khitosan	7
2.3 Khitosan Berikat Silang	9
2.4 Pembentukan Kompleks Khitosan Dan Ion-Ion Cu (II)	10
2.5 Kupang	13
2.6 Glutaraldehid	15
2.7 Sifat Materi Komposit	15
2.8 Logam Berat Beracun di Perairan	16
2.9 Logam Cu	18
2.10 Studi Adsorpsi Sistem Kontinyu	21
2.11 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi	26
2.12 Spektrofotometri Serapan Atom	28
2.13 Spektrofotometri Infra merah Transformasi Fourier (FTIR)	32
2.14 Viskometri	35
2.15 Brunauer- Emmet- Teller (BET)	37
2.16 Regresi Linier	39

BAB III METODOLOGI

3.1 Peralatan Dan Bahan	
3.1.1 Peralatan	41
3.1.2 Skema Alat Kolom Katil Tetap (Fixed- Bed Column)	41
3.1.3 Bahan	42
3.2 Prosedur Kerja	
3.2.1 Pembuatan Serbuk cangkang kupang	42
3.2.1 Pembuatan Pelet Komposit Adsorben	42
3.2.3 Studi Adsorpsi Larutan Cu (II) Oleh Adsorben Khitosan Yang Diimobilisasi Dengan Khitosan Menggunakan Variasi Laju Alir Influen, Variasi Komposisi Adsorben, dan Variasi Pengaturan pH Awal Larutan	43
3.2.4 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Cu (II)	43
3.2.5 Penentuan Massa Molekul Relatif Rata-Rata Khitosan	43

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Adsorben	45
4.2 Analisis Spektroskopi Inframerah (IR)	46
4.3 Penentuan Massa Molekul Rata-Rata Khitosan dengan Pengukuran Viskositas	47
4.4 Kurva Kalibrasi	48
4.5 Perlakuan Adsorpsi Oleh Pelet Komposit Serbuk Cangkang Kupang Terikat Silang Khitosan	50
4.5.1 Penampakan Adsorben Secara Fisisik	51
4.5.2 Variasi Laju Alir Influen	52
4.5.3 Variasi Komposisi Adsorben	56
4.5.4 Variasi pH Awal Larutan	58
4.6 Sifat Komposit Adsorben	61

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	65

DAFTAR PUSTAKA	67
-----------------------	----

LAMPIRAN	71
-----------------	----

RIWAYAT PENULIS	147
------------------------	-----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Khitin	7
Gambar 2.2	Struktur Khitosan	8
Gambar 2.3	Konfigurasi Rantai (linier); (b) bercabang (c) ikat silang	9
Gambar 2.4	Pembentukan Ikat Silang Antara Khitosan Agen Ikat Silang Gengan Glutaraldehid	10
Gambar 2.5	Formasi Khelat Khitosan Dengan Ion-Ion Cu^{2+}	11
Gambar 2.6	Kompleks Khitosan- Ion $\text{Cu}(\text{II})$	12
Gambar 2.7	Cangkang Kupang Beras (Kupang Putih)	14
Gambar 2.8	Struktur Glutaraldehid	15
Gambar 2.9	Skema Perjalananan Logam Berat Dari Sumber Pencemar Sampai ke Tubuh Manusia	18
Gambar 2.10	Penurunan Kapasitas Adsorpsi Adsorben Akibat Kejenuhan	22
Gambar 2.11	Kelarutan Logam Sebagai Fungsi pH	26
Gambar 2.12	Komponen-komponen Spektrofotometer Serapan Atom	29
Gambar 2.13	Bagan Alat FTIR	35
Gambar 2.14	Penentuan Angka Viskositas Batas	36
Gambar 3.1	Perangkat Alat Fixed- Bed Column	41
Gambar 4.1	Komposit Adsorben Serbuk Cangkang Kupang- Khitosan	46
Gambar 4.2	Spektra FTIR (a) Khitosan; (b) Serbuk Cangkang Kupang; (c) Pelet Serbuk Cangkang Kupang- Khitosan	46
Gambar 4.3	Viskositas Khitosan	48
Gambar 4.4	Kurva Standar Antara Absorbansi Dan Konsentrasi Larutan Standar Tembaga	49
Gambar 4.5	Rangkaian Alat adsorpsi	50
Gambar 4.6	Adsorben Setelah Proses Adsorpsi	51
Gambar 4.7	Perbandingan Kurva Breakthrough Hasil Fitting Dengan Model thomas Dan Kurva Breakthrough Dari Data Proses Adsorpsi Laju alir 1,5 ml/menit; 2 mL/menit ;	54

	2,5 mL/menit Pada Adsorben Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 93,75%	
Gambar 4.8	Perbandingan Kurva Breakthrough Hasil Fitting Dengan Model thomas Dan Kurva Breakthrough Dari Data Proses Adsorpsi Laju alir 1,5 ml/menit; 2 mL/menit ; 2,5 mL/menit Pada Adsorben Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 95,24%	55
Gambar 4.9	Perbandingan Kurva Breakthrough Hasil Fitting Dengan Model thomas Dan Kurva Breakthrough Dari Data Proses Adsorpsi Laju alir 1,5 ml/menit; 2 mL/menit ; 2,5 mL/menit Pada Adsorben Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 96,15%	56
Gambar 4.10	Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan pengaturan pH awal larutan dan tanpa pengaturan pH awal larutan	59
Gambar 4.11	Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%	60
Gambar 4.12	Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%	60
Gambar 4.13	Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%	61
Gambar 4.14	Grafik Fraksi Serbuk Cangkang Kupang Terhadap Kapasitas Adsorpsi Komposit Dengan laju Alir Bervariasi	62
Gambar C1	Kurva kalibrasi untuk larutan tembaga (II)	79
Gambar E1	Grafik η_{sp}/C Vs C	85
Gambar F1	Grafik Ct/Co pada dengan laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%	88

Gambar F2	Grafik $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 1,5 mL/menit	90
Gambar F3	Grafik $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 2 mL/menit	93
Gambar F4	Grafik $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% pada laju alir 2,5 mL/menit	96
Gambar F5	Perbandingan kurva "breakthrough" hasil "fitting" dengan model Thomas dan kurva "breakthrough" dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/ menit pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%	100
Gambar F6	Grafik C_t/C_0 pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit	102
Gambar F7	Grafik $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 1,5 mL/menit	104
Gambar F8	Grafik $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2 mL/menit	107
Gambar F9	Grafik $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2,5 mL/menit	110
Gambar F10	Perbandingan kurva "breakthrough" hasil "fitting" dengan model Thomas dan kurva "breakthrough" dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/ menit pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%	114
Gambar F11	Grafik C_t/C_0 pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit,	115



	dan 2,5 mL/menit	
Gambar F12	Grafik $\ln (C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 1,5 mL/menit	117
Gambar F13	Grafik $\ln (C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2 mL/menit	120
Gambar F14	Grafik $\ln (C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2,5 mL/menit	123
Gambar F15	Perbandingan kurva "breakthrough" hasil "fitting" dengan model Thomas dan kurva "breakthrough" dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/ menit pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%	126
Gambar F16	Grafik C_t/C_0 VS waktu pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 1,5 mL/menit tanpa pengaturan pH awal larutan	128
Gambar F17	Grafik antara $\ln (C_0/C_t-1)$ VS waktu pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% tanpa pengaturan pH awal larutan	130
Tabel F18	Grafik hasil Fitting antara C_t/C_0 dengan C_t/C_0 hitung pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%	133
Gambar G1	Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%	136
Gambar G2	Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%	138
Gambar G3	Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%	140
Gambar G4	Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada	141

adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan pengaturan pH awal larutan dan tanpa pengaturan pH larutan awal

Gambar H1 Grafik Fraksi kupang dalam komposit VS kapasitas adsorpsi

141

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Nilai kapasitas adsorpsi (q_0), tetapan laju Thomas (K_T), volume breakthrough (V_B), dan waktu breakthrough (t_B) pada komposisi fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir influen yang bervariasi	52
Tabel 4.2	Nilai kapasitas adsorpsi (q_0), tetapan laju Thomas (K_T), volume breakthrough (V_B), dan waktu breakthrough (t_B) pada komposisi fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% dengan laju alir influen yang bervariasi	52
Tabel 4.3	Nilai kapasitas adsorpsi (q_0), tetapan laju Thomas (K_T), volume breakthrough (V_B), dan waktu breakthrough (t_B) pada komposisi fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir yang bervariasi	53
Tabel 4.4	Data area permukaan, volume pori, dan ukuran pori dari pelet cangkang kupang- khitosan	57
Tabel 4.5	Kapasitas adsorpsi fraksi berat serbuk cangkang kupang(%) pada laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; 2,5 mL/menit	57
Tabel 4.6	Pengaruh pH awal larutan Cu (II) terhadap beberapa parameter model Tomas dari hasil "Fitting" pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2,5 mL/menit	58
Tabel 4.7	Tabel fraksi kupang dengan q_0 pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL menit	61
Tabel 4.8	Nilai korelasi dari persamaan regresi komposit pada laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/meint; 2,5 mL/menit	62
Tabel C1	Nilai absorbansi untuk kurva kalibrasi	77
Tabel C2	Tabel perhitungan persamaan regresi	78
Tabel E1	Viskositas Tereduksi Khitosan	84
Tabel F1	Tabel C_t/C_0 pada adsorben dengan fraksi	87

	berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir influen 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit	
Tabel F2	Tabel ln (Co/Ct-1) pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 1,5 mL/menit	89
Tabel F3	Tabel ln (Co/Ct-1) pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 2 mL/menit	92
Tabel F4	Tabel ln (Co/Ct-1) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% pada laju alir 2,5 mL/menit	95
Tabel F5	Tabel Ct/Co <i>hitung</i> pada adsorben dengan laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit	99
Tabel F6	Tabel Ct/Co pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% dengan laju alir influen 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit	101
Tabel F7	Tabel ln (Co/Ct-1) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% dengan laju alir 1,5 mL/menit	107
Tabel F8	Tabel ln (Co/Ct-1) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2 mL/menit	106
Tabel F9	Tabel ln (Co/Ct-1) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2,5 mL/menit	109
Tabel F10	Tabel Ct/Co <i>hitung</i> pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit	112
Tabel F11	Tabel Ct/Co pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir influen 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit	114
Tabel F12	Tabel ln (Co/Ct-1) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2,5 mL/menit	116

Tabel F13	Tabel $\ln (C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2 mL/menit	119
Tabel F14	Tabel $\ln (C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2,5 mL/menit	122
Tabel F15	Tabel C_t/C_0 <small>hitung</small> pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit	125
Tabel F16	Tabel C_t/C_0 pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2,5 mL/menit tanpa pengaturan pH awal larutan	127
Tabel F17	Tabel hubungan antara $\ln (C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 1,5 mL/menit tanpa pengaturan pH awal larutan	129
Tabel F18	Tabel C_t/C_0 <small>hitung</small> pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 1,5 mL/menit tanpa pengaturan pH awal Larutan	132
Tabel G1	pH effluen larutan dengan pengaturan (pH=4) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir influen 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit	135
Tabel G2	pH effluen larutan dengan pengaturan (pH=4) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% dengan laju alir influen 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit	137
Tabel G3	pH effluen larutan dengan pengaturan (pH=4) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir influen 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit	138
Tabel G4	pH effluen larutan dengan pengaturan (pH=4) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir influen 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit	140

Tabel H1	Tabel fraksi kupang dengan q_0 pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL menit	141
Tabel H2	Data persamaan regresi fraksi berat	142

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Skema Kerja	71
Lampiran B	Pembuatan Larutan	75
Lampiran C	Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Tembaga (II)	77
Lampiran D	Sistem <i>Fixed- Bed Coloumn</i>	81
Lampiran E	Perhitungan Viskositas khitosan	83
Lampiran F	Perhitungan Kapasitas Adsorpsi, Tetapan Laju Thomas, Volume <i>Breaktrhough</i> , dan Waktu <i>Breaktrhough</i>	87
Lampiran G	pH Effluen Larutan	135
Lampiran H	Perhitungan Fraksi Berat Komposit	143

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi yang meningkat dan berkembangnya kegiatan industri akan membawa dampak positif dan dampak negatif. Tumbuh pesatnya industri juga berarti makin banyak limbah yang dikeluarkan dan mengakibatkan permasalahan yang kompleks bagi lingkungan. Limbah yang sangat berbahaya dan memiliki daya racun tinggi umumnya berasal dari buangan industri, terutama industri kimia, termasuk industri logam. Oleh karena itu, proses penanganan limbah menjadi bagian yang sangat penting dalam industri. Logam berat tergolong limbah B3 yang pada kadar tertentu dapat membahayakan lingkungan sekitarnya karena bersifat toksik bagi hewan dan manusia. Logam berat adalah unsur logam dengan berat molekul tinggi (Sudirman Habibie, 1996).

Salah satu logam berat adalah tembaga, yang banyak digunakan pada pabrik yang memproduksi alat-alat listrik, gelas, zat pewarna, fungisida, dan dalam cat. Meskipun logam Cu sesungguhnya termasuk logam *esensial* yang dibutuhkan dalam aktivitas metabolik organisme, tetapi berada dalam “celah” sempit antara *esensialitasnya* dan *toksisitasnya* (Fatoki *et al*, 2002). Kadar Cu yang aman dalam air minum ditetapkan antar 1,5 – 2 mg/L (www.wikipedia.org). Jika logam tembaga (Cu) terinjeksi ke dalam tubuh manusia dalam konsentrasi tinggi dapat menimbulkan keracunan, menyebabkan kanker, dan memicu terjadinya oksidasi. (Schuml *et al*, 2001).

Salah satu dampak yang ditimbulkan oleh pembuangan limbah pada perairan adalah merosotnya kualitas lingkungan akibat limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri tersebut. Salah satu usaha yang dilakukan oleh pihak perusahaan untuk menghindari hal ini adalah dengan cara mengolah limbah terlebih dahulu sebelum dibuang ke badan air, sehingga pencemaran lingkungan dapat dihindari (Khartikeyan, 2004).

Berbagai metode seperti penukar ion, penyerapan dengan karbon aktif dan pengendapan secara elektrolisis telah dilakukan untuk menyerap bahan pencemar beracun dari limbah, tetapi cara ini membutuhkan biaya yang sangat tinggi dalam pengoperasiannya. Biosorpsi merupakan teknik yang populer untuk memisahkan atau mendapatkan kembali logam dari limbah cair yang memanfaatkan biomassa yang dapat mengikat ion logam berat dari larutan aqueous (K. Vijayaraghavan et al., 2004). Metode yang dapat mengatasi hasil buangan produk yang menghasilkan substansi-substansi yang berbahaya selama proses fotodegradasi untuk UV adalah metode adsorpsi. Dinamakan proses adsorpsi jika ion tersebut tertahan di permukaan partikel penyerap (sorban) (Tokura, 1995).

Adsorpsi merupakan sebuah proses yang mencakup kontak dari fase cair bebas dan fase partikulat yang rigid, dengan memisahkan salah satu atau lebih zat terlarut yang ada pada larutan secara selektif. Adsorpsi pada fase cair merupakan metode yang efektif untuk memisahkan padatan tersuspensi, bau, material organik, ion-ion logam dan pewarna dengan menggunakan karbon aktif, lumpur bentonit, sekam padi, serpihan kayu jati, limbah kapas, rambut, dan tongkol jagung sebagai adsorben (Schmul et. Al., 2001).

Salah satu biopolimer yang saat ini banyak diteliti sebagai biosorben logam berat dari air limbah adalah khitin. Khitin termasuk golongan polisakarida yang mempunyai berat molekul tinggi merupakan melekul polimer berantai lurus dengan nama lain β -(1-4)-2-asetamida-2-dioksi-D-glukosa (N-asetil-D-Glukosamin) (Hirano, 1986). Struktur khitin sama dengan selulosa dimana ikatan yang terjadi antara monomernya terangkai dengan ikatan glikosida pada posisi β -(1-4). Perbedaannya dengan selulosa adalah gugus hidroksil yang terikat pada atom karbon yang kedua pada khitin diganti oleh gugus asetamida (NHCOCH_2) sehingga khitin menjadi sebuah polimer berunit N-asetilglukosamin (The Merck Index, 1976).

Dalam rangka mencari kapasitas adsorben yang efektif, baik dalam hal adsorpsi yang relatif tinggi dan dari segi ekonomis, maka penelitian ini akan mengkaji proses adsorpsi logam tembaga (Cu) oleh pelet komposit khitosan terikat silang kulit kupang dengan metode aliran kontinu pada kolom katil tetap (*fixed-bed column*). Pada penelitian ini biosorpsi dilakukan dengan menggunakan sistem kolom. Sistem kolom mempunyai beberapa model diantaranya model BDST (*Bed Depth Service Time*) (K. Vijayaraghavan et. Al., 2004), model Adam Bohart, model Wolborska, model Thomas, model Clark, model Yuan dan Nelson (Z. Aksu, F. Gonen, 2004). Penelitian ini menggunakan model Thomas, dimana model ini merupakan model yang sederhana yang digunakan pada desain kolom adsorpsi adsorben terkemas dan solusi Thomas merupakan salah satu dari yang paling umum dan paling luas yang menggunakan metode dalam teori performa kolom. Oleh karena itu, data penerobosan (*breakthrough*) diperoleh dari studi kolom yang diuji menggunakan model kinetik yang dikembangkan dengan model Thomas (1948). Khitosan diperoleh dari hasil deasetilasi kulit binatang *mollusca* yang kebanyakan berasal dari kulit udang akan tetapi harga dari khitosan ini relatif mahal.

Berdasarkan hasil Tugas Akhir yang terdahulu (Istianah, 2008) telah diteliti bahwa serbuk cangkang kupang menjadi adsorben yang lebih baik jika dibandingkan dengan adsorben seperti zeolit, tongkol jagung, dan serbuk kayu. Pada penelitian ini akan digabungkan antara serbuk cangkang kupang yang merupakan bahan yang melimpah di Sidoarjo dan khitosan yang harganya relatif mahal. Percobaan dilakukan dengan menggunakan variasi laju alir influen, komposisi adsorben, dan pengaturan pH awal larutan (dengan pengaturan yaitu pH 4 merujuk pada sistem Batch (Valentinus, 2009) dan tanpa pengaturan) dan untuk mengetahui kurva penerobosan (*breakthrough*). Logam yang tidak teradsorpsi dianalisis dengan Spektrofotometer Serapan Atom (AAS). Proses regenerasi tidak dilakukan pada adsorben pelet komposit cangkang kupang -

khitosan ini karena biaya untuk melakukan proses regenerasi ini lebih mahal daripada biaya pembuatan adsorbennya berdasarkan penelitian sebelumnya (Istianah, 2008).

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang terdapat dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh variasi laju alir influen, variasi komposisi adsorben, dan pH awal larutan (dengan pengaturan yaitu pH 4 dan tanpa pengaturan) pada kapasitas adsorpsi dari pelet komposit cangkang kupang – khitosan terikat silang dalam kolom katil tetap (*fixed-bed column*) terhadap logam Cu(II).

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh laju alir larutan yang masuk ke kolom (influen), komposisi adsorben, dan pH awal larutan (dengan pengaturan yaitu pH 4 dan tanpa pengaturan) terhadap kapasitas adsorpsi dari pelet komposit cangkang kupang – khitosan terikat silang dalam kolom katil tetap (*fixed-bed column*) terhadap logam Cu (II).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biosorpsi

Biosorpsi merupakan proses dimana biomassa dari suatu organisme baik yang masih hidup maupun yang sudah mati/ tidak aktif, mengikat dan mengkonsentrasikan logam berat. Beberapa metode lainnya yang digunakan untuk mengurangi kadar logam berat dari limbah cair diantaranya adalah pengendapan hidroksida tak larut, elektrolisa, pertukaran ion dan teknologi membran. Metode ini telah banyak dikembangkan untuk penghilangan kadar logam beracun dalam limbah industri selama 2 dekade terakhir karena metode ini mempunyai beberapa kelebihan antara lain:

- ❖ Selektifitas logam berat
- ❖ Murah/ biaya yang dibutuhkan hanya sekitar 1/10 dari biaya dengan menggunakan metode resin penukar ion.
- ❖ Sensitif dapat menyerap logam sampai hitungan ppm.
- ❖ Kompetitif terhadap metode lain
- ❖ Regeneratif

Biomassa dari organisme tersebut umumnya mengandung gugus fungsional seperti karboksil, sulfat, fosfat serta amina yang terkandung dalam dinding selnya yang berperan dalam proses pengikatan logam berat. Penelitian tentang biosorpsi menunjukkan suatu fenomena kompleks dimana spesies logam dapat terkumpul pada biosorben padat melalui proses sorpsi yaitu baik secara kemisorpsi (pertukaran ion, kompleksasi, pembentukan khelat) maupun fisorpsi (mikropresipitasi) (Volesky, 1999).

Penyerapan logam oleh beberapa jenis biomassa dapat memberikan penyerapan yang lebih selektif ataupun kurang selektif, tergantung pada:

- ❖ Jenis biomassa
- ❖ Campuran dalam larutan

- ❖ Preparasi biomassa
- ❖ Lingkungan fisika-kimia (pH larutan, temperatur, kekuatan ionik).

Kemurnian dari endapan logam dalam biosorben jenuh dapat dilakukan karena logam tersebut dapat diuapaskan dari biosorben dengan larutan cuci terkonsentrasi (eluen) yang juga akan meregenerasi biosorben untuk penyerapan berikutnya. Karena hal inilah, metode ini menjadi sangat ekonomis dan kompetitif untuk aplikasi antara lain dalam:

- ❖ plating logam dan finishing logam
- ❖ pertambangan dan pemrosesan ore (biji)
- ❖ pemrosesan logam, baterai
- ❖ energi nuklir
- ❖ energi termal (khususnya batu bara)

Biosorpsi dapat digunakan sebagai metode yang bagus untuk melawan logam beracun yang dapat mengancam lingkungan (Volesky, 1999).

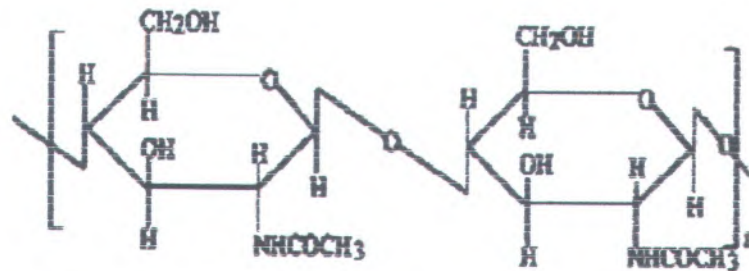
2.2 Khitin dan Khitosan

2.2.1 Khitin

Khitin merupakan substansi organik kedua terbanyak yang ditemukan di bumi setelah selulosa dan terdapat dalam berbagai spesies binatang. Pada binatang perairan, khitin banyak ditemukan pada kerang-kerangan, contohnya pada udang, sisik ikan, kepiting dan juga pada beberapa jenis ganggang dan jamur. Dalam proses pembuatan khitin didapat dengan jalan mengisolasi atau mengekstraksi bahan baku untuk memisahkan komponen-komponen mineral protein, lemak dan lainnya sebagai komponen kotor, maka proses demineralisasi dan deproteinase sangat diperlukan dalam proses pemurnian khitin

Khitin berguna sebagai bahan additive pada industri kertas dan tekstil, pembungkus makanan, absorpsi untuk ion-ion metal, perekat pada industri kulit, bahan khusus untuk fotografi, koagulan, pensuspensi, flokulasi, dan penghasil protein sel tunggal pada industri makanan ternak (Info Budidaya, 1999).

Khitin termasuk golongan homopolisakarida yang mempunyai berat molekul tinggi dan merupakan polimer linier dari anhidro N-asetil- D- glukosamin (N-asetil- 2- amino- 2- deoksi- D- glukosa). Perbedaannya dengan selulosa ialah gugus hidroksil yang terikat pada atom karbon no 2, pada khitin digantikan oleh gugus asetamida (NHCOCH_3) sehingga khitin menjadi sebuah polimer berunit N-asetil glukosamin. Struktur khitin adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Struktur Khitin (Majeti, 2000)

Unit pengulang struktur khitin mengandung dua residu heksosa dan termasuk unit ketobiosa. Khitin mempunyai rumus molekul $(\text{C}_6\text{H}_{13}\text{NO}_5)_n$ yang mengandung jumlah atom C= 47,29%, H= 6,45%, N= 6,89% dan O= 39,37%.

Khitin tidak beracun dan mempunyai massa molekul relatif yang tinggi sekitar $1,2 \times 10^6$ gram/mol. Khitin berbentuk kristal. Tidak larut dalam air, asam-asam organik dan asam-asam anorganik encer serta larutan alkali (Sudirman Habibie, 1996)

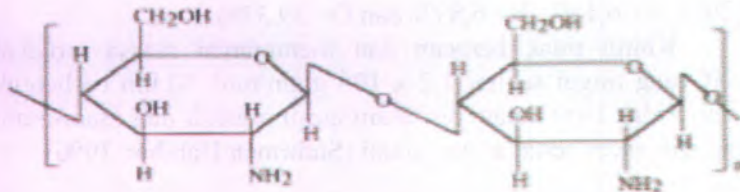
2.2.2 Khitosan

Khitosan merupakan biopolimer yang terdiri dari satu sampai empat unit berulang 2 amino- 2 deoxy- Beta- D glukosa, berbentuk spesifik dan mengandung gugus fungsi amin dalam rantai karbonnya, bermuatan positif berlawanan dengan

polisakarida alam lainnya, sehingga menimbulkan sifat-sifat tertentu dalam fleksibilitasnya yang menyebabkan molekul tersebut bersifat resisten terhadap stress mekanik (Majeti, 2000).

Khitosan dapat diperoleh melalui proses deasetilasi khitin dengan menggunakan larutan basa (NaOH atau KOH). Khitosan banyak digunakan dalam berbagai bidang. Aplikasi khitosan dalam bidang biomedikal berupa benang untuk bedah plastik, sebagai kapsul, dinding kapsul dan tablet, sebagai penurun berat badan (fat trapper). Khitosan juga dapat dibuat sebagai bahan tambahan susu dan lotion pembersih. Dalam bidang industri, khitosan dapat berfungsi sebagai bahan khelat yang dapat memisahkan logam berat dalam air limbah, bahan aditif untuk memperkuat kertas, sebagai membran, bahan film yang fleksibel dan lain-lain. Dalam bidang bioteknologi khitosan dapat berfungsi sebagai agen anti bakteri, anti koagulan darah (Majeti, 2000).

Khitosan tidak beracun dan mudah terbiodegradasi. Massa molekul relatif khitosan adalah $1,2 \times 10^5$ gram/mol, bergantung pada degradasi yang terjadi selama proses deasetilasi. Khitosan bersifat sebagai polimer kationik, sehingga khitosan tidak larut dalam air dan larutan alkali dengan pH di atas 6,5. Khitosan larut dengan cepat dalam asam organik cair seperti asam format, asam asetat, asam sitrat dan asam mineral cair kecuali sulfur (Habibie Sudirman, 2000). Struktur khitosan:



Gambar 2.2 Struktur Khitosan (Majeti, 2000)

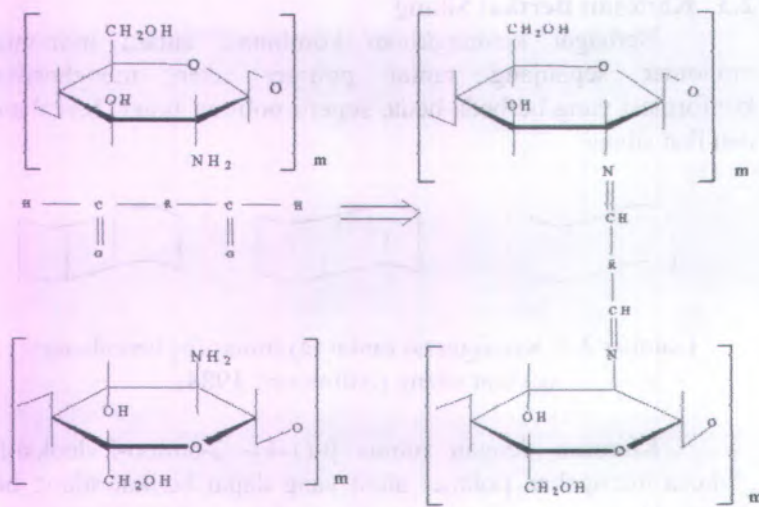
2.3 Khitosan Berikat Silang

Berbagai kemungkinan kombinasi antara monomer-monomer sepanjang rantai polimer akan menghasilkan konformasi yang berbeda-beda, seperti polimer linier, bercabang, dan ikat silang:



Gambar 2.3 Konfigurasi rantai (a) linier; (b) bercabang; (c) ikat silang (Billmeyer, 1984)

Khitosan dengan rumus β -(1-4)- 2-amino-2-deoksi-D-glukosa merupakan polimer alam yang dapat berikat silang bila ditambahkan agen ikat silang misalnya glutaraldehid atau glioksal. Pembentukan ikat silangnya melalui reaksi sebagai berikut :



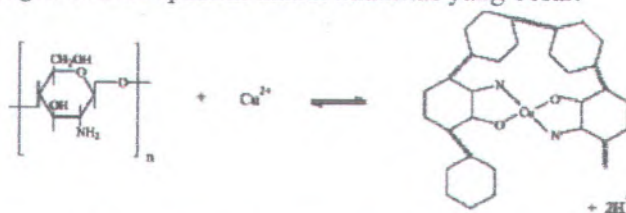
Gambar 2.4 Pembentukan ikat silang antara khitosan dan agen ikat silang dengan $R = (CH_2)_n$ dimana $n = 3$ untuk glutaraldehid, $n = 0$ untuk glioksal (Nakatsuka dan Andrandy, 1997).

2.4 Pembentukan Kompleks Khitosan dan Ion-ion Cu(II)

Khitin dan khitosan merupakan biopolimer dari udang. Hampir sama dengan selulosa, perbedaannya hanya dari gugus R yang terikat pada karbon 2 pada struktur umum karbohidrat. Demikian juga, gugus N-asetil ($NHCOCH_3$) cenderung terdapat di dalam khitin, sedangkan gugus amin (NH_2) dalam khitosan dan gugus hidroksil (OH) dalam selulosa. Bahan kimia dan sifat fisik polimer ini berbeda di alam. Dari peninjauan bahan kimia, hal yang perlu diperhatikan secara khusus adalah penyediaan khitin dan khitosan yang memiliki sifat dalam pengadsorpsian kation, dan proses yang digunakan dalam perpindahan kation dari larutan buangan. Khitin larut dalam air, sedangkan khitosan larut

dalam larutan asam. Kehadiran NH_2 pada khitosan meningkatkan kekuatan dan kemampuannya dalam proses adsorpsi yang lebih besar daripada pada khitin, karena interaksi yang lebih besar pada kation-kation multivalent, khususnya untuk kation divalent. Setelah pelapisan khitosan pada padatan pendukung, khitosan dapat diikat silang dengan glutaraldehid yang membuat khitosan hampir tidak dapat larut dalam air. Biopolimer seperti khitosan mempunyai pengkhelatan bahan penukar ion yang ditunjukkan pada gambar 2.5 (Oyrton, 1998)

Hal ini untuk menyedehanakan penukar ion, pengkhelatan penukar ion yang digunakan untuk keuntungan 3 struktur dimensional molekul untuk khelat dan memindahkan ion-ion dengan ukuran spesifik dalam kuantitas yang besar.



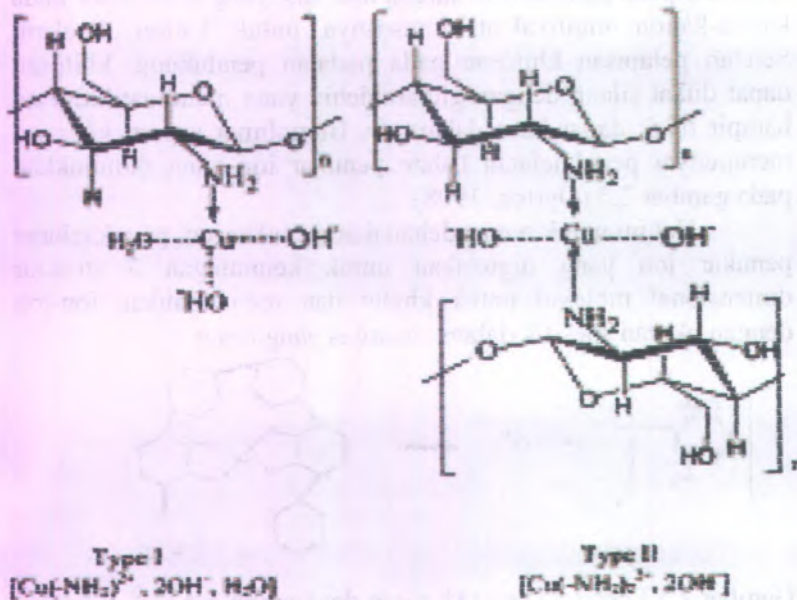
Gambar 2.5 Formasi khelat khitosan dengan ion-ion Cu^{2+} (Oyrton, 1998)

Biopolimer khitosan menunjukkan kemampuan yang sangat baik untuk memindahkan Cu^{2+} pada konsentrasi mikri. Ion-ion Cu^{2+} merupakan mineral yang penting yang diperlukan oleh tubuh dalam jumlah yang kecil, tetapi ketika manusia memasukkan Cu pada level diatas 1,3 mg/l selama jangka waktu yang singkat, maka perut dan usus akan mengalami masalah. Pemasukkan ion Cu^{2+} pada jangka waktu yang lama akan menyebabkan kerusakan ginjal dan hati.

Interaksi kedua tembaga dengan gugus hidroksil pada karbon 3 diharapkan hanya monomer yang menempati koordinasi. Bagaimanapun juga kemungkinan yang lain dihubungkan untuk mengikutsertakan 2 monomer yang sama atau berbeda,



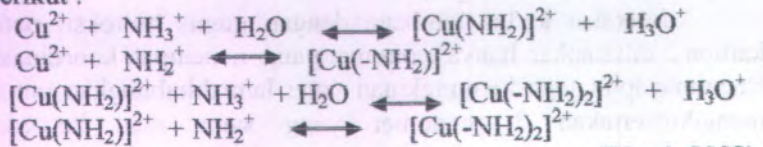
pengikatan rantai pada kation yang sama untuk membentuk kompleks yang stabil, dimana ditunjukkan pada Gambar 2.12 :



Gambar 2.6 Kompleks Khitosan-Ion Cu(II)

(Rhazi, 2002)

Gambar 2.6 dijabarkan dua tipe kompleks khitosan-ion logam Cu(II), yaitu tipe 1 adalah kompleks $[\text{Cu}(\text{-NH}_2)^{2+}]^{2+}$, yang mana formasi ini dimulai pada nilai pH 5,3, sedangkan tipe 2 adalah kompleks $[\text{Cu}(\text{-NH}_2)_2]^{2+}$ yang segera terbentuk ketika pH lebih besar daripada 5,8. Interaksi antara khitosan dan ion Cu(II) memungkinkan terjadinya persaingan antara kesetimbangan berikut :



(Rhazi, 2002).



2.5 Kupang

Sumber protein hewani yang murah adalah makanan hasil laut, khususnya di Surabaya terdapat bermacam – macam jenis ikan dan kerang. Salah satu jenis kerang yang banyak dikonsumsi masyarakat Surabaya dan sekitarnya adalah kupang yang lasim disajikan sebagai kupang lontong. Terdapat dua jenis kupang yaitu kupang beras atau kupang putih (*Corbula faba*) dan kupang tawon atau kupang merah (*Musculita senhausia*). Jenis – jenis kupang tersebut mempunyai ciri – ciri yaitu pada kupang beras antara lain ukuran tubuh kecil, warna putih seperti beras serta pada jenis kupang tawon antara lain ukuran tubuhnya lebih besar daripada kupang beras, warna agak kuning. Kupang hidup di pantai dekat muara sungai. Kupang biasanya menempel pada lumpur - lumpur di pantai yang biasanya di dalam lumpur tersebut terdapat akar tanaman. Para nelayan biasanya menangkap kupang pada saat air di pantai surut. Alat – alat yang digunakan untuk menangkap kupang masih tergolong sederhana seperti keranjang dari bambu, arit (untuk memisahkan akar dengan lumpur). Untuk mendapatkan kupang para nelayan yang pertama kali dilakukan adalah memotong akar yang menempel pada lumpur yang tercampur kupang kemudian lumpur tersebut dimasukkan ke dalam keranjang bambu. Selanjutnya lumpur dipisahkan dengan kupang dengan cara menginjak - injak dengan kaki setelah semua lumpur terpisah dengan kupang dapat melanjutkan ke tahap berikutnya yaitu proses pengolahan (Kudori, 1995).

Kulit kupang (sea shell) merupakan komposit biokeramik mikrolaminasi dari mineral dan biopolimer. Fase kalsium karbonatnya, seperti pada kulit telur ayam, sebesar 98% dari massanya, sedangkan 2% sisanya tersusun atas matrik organik yang menentukan pembentukan struktur, organisasi, dan sifat dari komposit termineralisasi. Kulit moluska sebagian besar tersusun atas lapisan prismatic kristal kalsit, dinding-bata kristal aragonit, atau konstruksi dari kedua tipe tersebut.

Lapisan kristalin tersisip di antara dua lapisan kitin, yang dilapisi dengan proteoglikan tersulfasi polianionik (keratan

sulfat), yang mungkin berperan sebagai tempat nukleasi, sementara pertumbuhan kristal terjadi dalam gel polianionik dermatan dan kondroitin 4 sulfat (Fernandez et al., 2002).

Kupang termasuk pada filum Molusca dan kelas Bivalvia. Ada tiga jenis kupang menurut tempat hidupnya ; kupang air tawar (palaeoheterodonta), kupang laut (pteriomorpha), dan kupang zebra (herodonta). Klasifikasi kupang sebagai berikut:

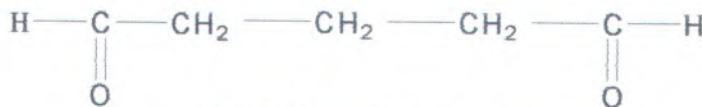
Kingdom	: Animalia
Filum	: Molusca
Klass	: Bivalvia
Ordo	: Veneroida
Famili	: Tellinidae
Genus	: Tellina Linnaeus
Spesiae	: Tellina sp.



Gambar 2.7 Cangkang kupang beras (kupang putih)
(<http://ms.wikipedia.org/wiki/siput-sudu,2007>)

2.6 Glutaraldehid

Glutaraldehid nama lain pentahedral, glutaraldehid, dan 1,3 diformil propana. Senyawa ini memiliki rumus molekul $C_5H_8O_2$, massa molekul relatif 100,11, titik didih $187-189^{\circ}C$, indeks bias 1,4338, larut dalam air, volatil, dan strukturnya sebagai berikut :



2.8 Struktur Glutaraldehid

(Merck Index, 1976)

2.7 Sifat Materi Komposit

Pada umumnya bentuk dasar suatu bahan komposit adalah tunggal dimana komposit tersebut merupakan susunan dari dua unsur yang bekerja bersama untuk menghasilkan sifat-sifat bahan yang berbeda terhadap sifat-sifat unsur bahan penyusunnya. Dalam prakteknya komposit terdiri dari suatu bahan utama (matrik - matrix) dan suatu jenis penguatan yang ditambahkan untuk meningkatkan kekuatan dan kekakuan matrik. Penguatan ini biasanya dalam bentuk serat.

Dua fasa tidak pernah mempunyai sifat yang benar-benar identik karena masing-masing fasa berbeda secara struktural. Beberapa sifat ini termasuk sifat komposit dan dapat ditentukan dengan membuat rata-rata masing-masing sifat fasa tunggal. Densitas struktur mikromultifasa dapat dihitung secara langsung dari densitas (ρ) setiap fasa dan fraksi volume yang bersangkutan (f). Jika hanya ada dua fasa, densitas bervariasi secara linier terhadap fraksi.

$$\rho_{\text{material}} = f_1 \cdot \rho_1 + f_2 \cdot \rho_2 + f_3 \cdot \rho_3 + \dots \quad (2.1)$$

Kalor jenis dari struktur mikro multifase mempunyai sifat yang hampir sama, dimana juga proporsional terhadap fraksi volume. Rata-rata dari sifat ini, densitas dan kalor jenis

bergantung pada volume karena kontribusi satu fasa tidak mempengaruhi kontribusi fase yang berdekata. Akan tetapi sifat ini dipengaruhi juga oleh ukuran butiran dalam fasa campuran. Konduktivitas panas dan listrik dari struktur mikro multifasa juga merupakan sifat komposit akan tetapi prosedur yang lebih kompleks diperlukan karena bentuk dalam setiap fasa penting. Konduktivitas panas paralel dapat ditentukan sebagai berikut:

$$k_m = f_1 \cdot k_1 + f_2 \cdot k_2 + \dots \quad (2.2)$$

Konduktivitas rata-rata dari bahan (K_m) merupakan penjumlahan dari kontribusi volume semua fasa. Konduktivitas seri dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{1}{K_m} = \frac{f_1}{K_1} + \frac{f_2}{K_2} \quad (2.3)$$

(Vlack Van, 1975)

2.8 Logam Berat Beracun di Perairan

Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan bobot jenis lebih besar dari 5 gr/cm^3 , terletak di sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari perioda 4 sampai 7 (Miettinen, 1977). Sebagian logam berat seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg) merupakan zat pencemar yang berbahaya. Afinitas yang tinggi terhadap unsur S menyebabkan logam ini menyerang ikatan belerang dalam enzim, sehingga enzim bersangkutan menjadi tak aktif. Gugus karboksilat (-COOH) dan amina (-NH₂) juga bereaksi dengan logam berat. Kadmium, timbal, dan tembaga terikat pada sel-sel membran yang menghambat proses transporasi melalui dinding sel. Logam berat juga mengendapkan senyawa fosfat biologis atau mengkatalis penguraiannya (Manahan, 1977).

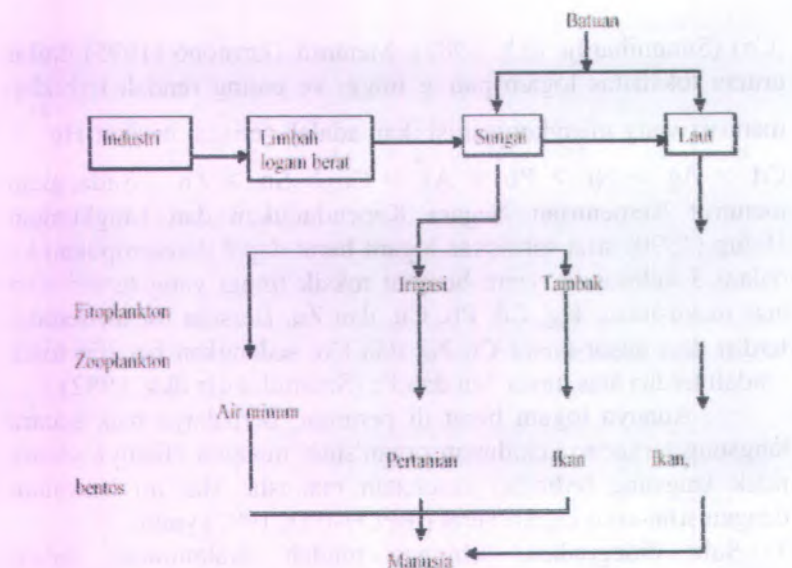
Berdasarkan sifat kimia dan fisiknya, maka tingkat atau daya racun logam berat terhadap hewan air dapat diurutkan (dari tinggi ke rendah) sebagai berikut merkuri (Hg), kadmium (Cd), seng (Zn), timah hitam (Pb), krom (Cr), nikel (Ni), dan kobalt

(Co) (Sutamihardja dkk, 1982). Menurut Darmono (1995) daftar urutan toksisitas logam paling tinggi ke paling rendah terhadap manusia yang mengkomsumsi ikan adalah sebagai berikut $Hg^{2+} > Cd^{2+} > Ag^{2+} > Ni^{2+} > Pb^{2+} > As^{2+} > Cr^{2+} > Sn^{2+} > Zn^{2+}$. Sedangkan menurut Kementrian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu bersifat toksik tinggi yang terdiri dari atas unsur-unsur Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn. Bersifat toksik sedang terdiri dari unsur-unsur Cr, Ni, dan Co, sedangkan bersifat toksik rendah terdiri atas unsur Mn dan Fe (Sutamihardja dkk, 1982).

Adanya logam berat di perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat (PPLH-IPB, 1997) yaitu :

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkomsumsi organisme tersebut
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi konsentrasi logam dalam air. Disamping itu sedimen mudah tersuspensi karena pergerakan masa air yang akan melarutkan kembali logam yang dikandungnya dalam air, sehingga sedimen menjadi sumber pencemar potensial dalam skala waktu tertentu

Proses perjalanan logam berat dari sumber pencemar hingga sampai ke tubuh manusia digambarkan dalam Gambar 2.9



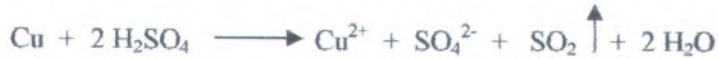
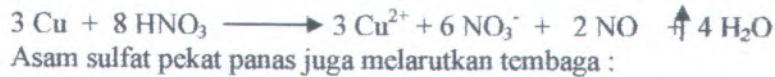
Gambar 2.9 Skema perjalanan logam berat dari sumber pencemar sampai ke tubuh manusia (Suwirma, 1988)

2.9 Logam Cu

Unsur tembaga di alam dapat ditemukan dalam bentuk logam bebas, akan tetapi lebih banyak ditemukan dalam bentuk persenyawaan atau sebagai senyawa padat dalam bentuk mineral. Dalam badan perairan laut, tembaga dapat ditemukan dalam bentuk persenyawaan ion seperti CuCO_3 , CuOH dan lain sebagainya. Pada batuan mineral atau lapisan tanah, tembaga dapat ditemukan dalam bentuk Cu_2S , CuS , Cu_5FeS_4 serta $[\text{Cu}(\text{AsSb})\text{S}_4]$ (Palar, 1994).

Tembaga merupakan logam merah muda, yang lunak, dapat ditempa, dan liat. Logam Cu melebur pada 1038°C . Karena potensial elektrode standar reduksi positif, (+0,34 V untuk pasangan $\text{Cu}^{2+}, \text{Cu}$, logam tembaga tidak larut dalam asam klorida

dan asam sulfat encer, meskipun dengan adanya oksigen tembaga bisa larut sedikit. Asam nitrat yang sedang pekatnya (8 M) dengan mudah melarutkan tembaga :



Tembaga mudah pula larut dalam air raja :



Ada dua deret senyawa tembaga. Senyawa-senyawa tembaga (I) diturunkan dari tembaga (I) oksida Cu_2O yang merah, dan mengandung ion tembaga (I), Cu^+ . Senyawa-senyawa ini tidak berwarna, kebanyakan garam tembaga (I) tak larut dalam air, perilakunya mirip perilaku senyawa perak (I). Mereka mudah dioksidasi menjadi senyawa tembaga (II), yang dapat diturunkan dari tembaga (II) oksida, CuO , hitam. Garam-garam tembaga (II) umumnya berwarna biru, baik dalam bentuk hidrat, padat, maupun dalam larutan-air, warna ini benar-benar khas hanya untuk ion tetraakuoprat (II) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$ saja. Batas terlihatnya warna ion kompleks tetraakuoprat (II) (yaitu, warna ion tembaga (II) dalam larutan-air), adalah $500 \mu\text{g}$ dalam batas konsentrasi 1 dalam 10^4 M. Garam-garam tembaga (II) anhidrat, seperti tembaga (II) sulfat anhidrat CuSO_4 , berwarna putih (atau sedikit kuning). Dalam larutan air selalu terdapat ion kompleks tetraakuo (Vogel, 1985).

Sebagai logam berat, Cu berbeda dengan logam-logam berat lainnya seperti Hg, Cd, dan Cr. Logam berat Cu digolongkan ke dalam logam berat esensial artinya meskipun Cu merupakan logam berat beracun, unsur logam ini sangat dibutuhkan tubuh meski dalam jumlah yang sedikit. Karena itu Cu juga termasuk ke dalam logam-logam esensial bagi manusia

seperti Besi (Fe). Toksisitas yang dimiliki Cu baru akan bekerja dan memperlihatkan pengaruhnya bila logam ini telah masuk ke dalam tubuh organisme terkait. Kebutuhan manusia terhadap tembaga cukup tinggi. Manusia dewasa membutuhkan sekitar 30 μg Cu per kilogram berat tubuh. Pada anak-anak jumlah Cu yang dibutuhkan adalah 40 μg perkilogram berat tubuh. Sedangkan pada bayi dibutuhkan 80 μg per kilogram berat tubuh. Konsumsi tembaga yang baik bagi manusia adalah 2,5 mg/kg berat tubuh/hari bagi orang dewasa dan 0,05 mg/kg berat tubuh/hari untuk anak-anak dan bayi (Palar, 1994).

Bentuk tembaga yang paling beracun adalah debu-debu Cu yang dapat mengakibatkan kematian pada dosis 3,5 mg/kg. Garam-garam khlorida dan sulfat dalam bentuk terhidrasi yang sebelumnya diduga mempunyai daya racun yang lebih rendah dari debu-debu Cu. Penelitian-penelitian yang dilakukan berkenaan dengan daya racun yang dimiliki oleh Cu^{2+} telah dilakukan oleh banyak lembaga atau perorangan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa daya racun yang dimiliki Cu dapat membunuh biota perairan. Untuk jenis alga seperti *Chlorella vulgaris*, daya racun yang dimiliki oleh logam Cu menduduki peringkat kedua setelah Hg. Pada jenis jamur (fungi), Cu menduduki peringkat ketiga setelah dalam daya racun setelah Ag dan Hg. Pada manusia efek keracunan utama yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap logam Cu adalah terjadinya gangguan pada jalur pernapasan sebelah atas. Efek keracunan yang ditimbulkan akibat terpapar oleh debu atau uap Cu tersebut adalah terjadinya kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung. Kerusakan tersebut merupakan akibat dari gabungan sifat iritatif yang dimiliki oleh debu atau uap Cu tersebut (Palar, 1994). Ion Cu^{2+} mempunyai jari-jari sebesar 96 pm (Brady dan Holm, 1996).

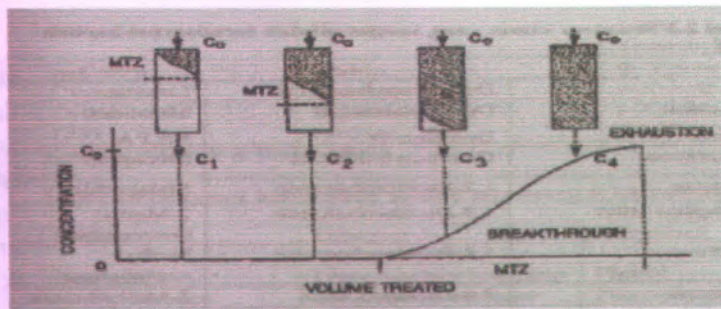
Bagian penting dari keracunan tembaga adalah kemampuannya untuk menerima dan memberikan satu elektron yang dapat merubah proses oksidasi. Ini mengkatalisis produksi dari ion radikal yang sangat reaktif seperti radikal hidroksil.

Aktivitas katalis tembaga digunakan oleh enzim-enzim yang bergabung dengannya, dan bersifat racun bila tidak sendirian dan tidak ada perantara/ media. Peningkatan dalam radikal yang reaktif tanpa perantara ini biasanya disebabkan tekanan oksidatif dan ini merupakan daerah aktif penelitian tentang bermacam-macam penyakit dimana tembaga memegang peran penting namun tidak kentara daripada dalam keadaan keracunan akut (Darmono, 1995).

Penyakit keturunan yang disebut penyakit *Wilson* menyebabkan tubuh menyimpan atau menahan tembaga, selama tembaga tidak diekskresikan oleh liver/ hati ke dalam empedu. Penyakit ini, bila tidak diobati dapat menyebabkan kerusakan otak dan liver. Disamping itu, penelitian menemukan bahwa seseorang dengan penyakit mental *schizophrenia* memiliki kadar tembaga yang tinggi dalam sistem tubuhnya. Bagaimanapun hal tersebut tidak diketahui pada tahap tersebut apakah tembaga berperan menyebabkan penyakit mental, apakah tubuh berusaha menyimpan lebih banyak tembaga sebagai respon dari penyakit tersebut, atau apakah kadar tembaga yang tinggi disebabkan oleh penyakit mental (jiwa) (Darmono, 1995).

2.10 Studi Adsorpsi Sistem Kontinyu

Secara praktis, proses ini mempunyai pendekatan yang jauh lebih baik untuk penerapan di lapangan karena sistem operasinya yang selalu mengontakkan adsorben dengan larutan segar, sehingga adsorben dapat mengadsorp dengan optimal sampai kondisi jenuhnya.



Gambar 2.10 Penurunan kapasitas adsorpsi adsorben akibat kejenuhan (*exhaustion*) (Aksu, 2004)

Gambar 2.10 menunjukkan hubungan antara konsentrasi dengan volume adsorbat yang terolah, dimana warna putih dalam kolom menunjukkan adsorben yang belum jenuh dan warna hitam adalah adsorben yang sudah jenuh. Dapat dilihat juga bahwa semakin besar volume adsorbat yang terolah maka semakin besar pula adsorben yang mengalami kejenuhan, sampai akhirnya mencapai titik *breakthrough* yang berarti setelah titik *breakthrough* terlewati maka tidak akan ada lagi adsorbat yang teradsorpsi. Titik *breakthrough* adalah titik dimana kemampuan adsorben dalam kolom secara tiba-tiba berubah memburuk hingga menaikkan konsentrasi effluen. Sedangkan titik *exhaustion* adalah titik dimana terjadi kejenuhan pada kolom yang ditandai dengan besarnya konsentrasi effluen mendekati konsentrasi influen. Kurva yang menghubungkan titik *breakthrough* dan titik *exhaustion* adalah kurva *breakthrough* (Aksu, 2004).

Data-data yang diperoleh pada proses kontinyu ini nantinya dapat digunakan untuk mendesain kolom adsorpsi pada tinggi pilot plan dengan menggunakan pendekatan-pendekatan desain yang sesuai. Adapun pendekatan yang dapat digunakan antara lain:

a. Pendekatan Hutchins

Pada metode ini berlaku perumusan sebagai berikut:

- ✚ Untuk desain *flow rate* yang berbeda sedangkan parameter konsentrasi influen, effluen, dan ketinggian yang sama dengan hasil laboratorium, maka waktu operasi dapat dicari dengan merubah nilai slope dengan rumus:

$$a_1 \cdot v_1 = a_2 \cdot v_2 \quad (2.4)$$

dimana: a = slope dan v = *flow rate*

- ✚ Untuk desain konsentrasi influen dan effluent yang berbeda, maka untuk mendapatkan persamaan linear yang baru adalah dengan merubah nilai slope dan intersepnya dengan rumus:

$$\text{Slope} \quad a_1 \cdot c_1 = a_2 \cdot c_2$$

$$\text{Intersep} \quad b_1 \cdot Co_1 \cdot \ln \left(\frac{Co_1}{Ce_1} - 1 \right) = b_2 \cdot Co_2 \cdot \ln \left(\frac{Co_2}{Ce_2} - 1 \right) \quad (2.5)$$

Dimana : a = slope

b = intersep

Co = konsentrasi influen (mg/l)

Ce = konsentrasi effluen (mg/l)

(Aksu,2004)

b. Pendekatan Bohart - Adams

Persamaan fundamen yang menggambarkan hubungan antara C_0/C_e dan t pada system aliran dikembangkan oleh Bohart – Adams (1920) untuk adsorbs Cl pada arang (karbon aktif). Meski metode ini digunakan untuk adsorbs gas-arang namun secara keseluruhan pendekatan dapat diaplikasikan dengan gambaran kuantitatif untuk sisi yang lain. Model ini mengasumsikan bahwa kecepatan adsorpsi proporsional dengan kapasitas residual karbon aktif dan konsentrasi dari adsorbat. Pendekatan Bohart – Adams ini digunakan untuk gambaran pada bagian awal kurva breakthrough. Transfer massa mengikuti persamaan berikut:

$$\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = k \cdot C_0 t - k N_0 \frac{D}{U_0} \quad (2.6)$$

- Dimana : C_0 = konsentrasi aliran masuk (mg/l)
 C_e = konsentrasi aliran keluar (mg/l)
 k = konstanta kecepatan adsorpsi (l / mg.jam)
 N_0 = efisiensi adsorpsi (mg/l)
 D = tinggi kolom adsorben
 U_0 = hidrolic loading/ laju linier (m/jam)
 t = waktu olah (jam)

Beberapa asumsi dibuat untuk penyelesaian dari system persamaan ini seperti: bidang konsentrasi harus rendah missal $C \leq 0,15 C_0$, dan untuk $t \rightarrow \infty$, $q \rightarrow N_0$ dimana q adalah konsentrasi adsorbat dalam adsorben pada setiap waktu (mg/l)
 (Aksu,2004)

c. Pendekatan Kinetik

Dikembangkan oleh Thomas pada tahun 1948, sebagai pendekatan dari Bohart Adams. Data yang diperlukan dalam pendekatan ini adalah data kurva breakthrough kolom test.

Data yang diperoleh dari adsorpsi kolom sistem kontinyu digunakan untuk menghitung konsentrasi maksimum fase padat logam pada adsorben dan konstanta laju adsorpsi menggunakan model Thomas. Pendekatan Thomas adalah yang paling umum dan banyak digunakan dalam pelaksanaan sistem kolom. Persamaan Thomas untuk adsorpsi kolom adalah sebagai berikut:

$$\frac{C_t}{C_0} = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{K_m}{Q} (q_0 X - C_0 V_{eff}) / Q\right)} \quad (2.7)$$

Dimana:

K_{Th} : konstanta laju Thomas (ml menit⁻¹ mg⁻¹)

q_0 : kapasitas adsorpsi (mg g⁻¹)

X : jumlah adsorben dalam kolom (g)

V_{eff} : volum effluen (ml)

C_0 : adalah konsentrasi ion logam influen (mg/L)

C_t : konsentrasi effluen pada waktu t (mg/L)

Q : laju alir (ml menit⁻¹)

Bentuk linier dari model Thomas adalah sebagai berikut:

$$\ln\left(\frac{C_0}{C_t} - 1\right) = \frac{K_{Th}q_0X}{Q} - \frac{K_{Th}C_0}{Q}V_{eff} \quad (2.8)$$

Koefisien kinetika K_{Th} dan kapasitas adsorpsi kolom q_0 dapat ditentukan dari plot $\ln [(C_0/C)-1]$ versus V_{eff} (atau t) pada laju alir tertentu (Aksu dan Gonen, 2004).

d. Pendekatan Scale-Up

Pendekatan ini dikembangkan Fornwalt dan Hutchins pada tahun 1966 untuk desain kolom adsorpsi. Data yang diperlukan pendekatan desain ini adalah kurva *breakthrough* dari test kolom. Waktu kontak akan digunakan untuk waktu kontak perencanaan desain kolom.

Rumus-rumus yang digunakan adalah:

$$T_c = \epsilon / Q_b \quad (2.9)$$

$$\text{Bed volume (BV)} = Q / Q_b \quad (2.10)$$

$$M = (BV) \cdot \rho_x \quad (2.11)$$

$$V_b' = V_b / M \quad (2.12)$$

$$M_t = Q / V_b' = (Q \cdot M) / V_b \quad (2.13)$$

$$T = M / M_t \quad (2.14)$$

Dimana: T_c = waktu kontak

ϵ = porositas media

Q_b = *bed volume* / unit waktu

Q = *flow rate* desain kolom

- M = massa / berat adsorben
 ρ_s = *densitas* adsorben
 V_b = volume *breakthrough* dari kurva *breakthrough* pada konsentrasi C_a
 V_b' = volume terolah per unit massa adsorben
 M_t = massa adsorben jenuh per unit waktu
 T = waktu *breakthrough* desain kolom

(Aksu,2004)

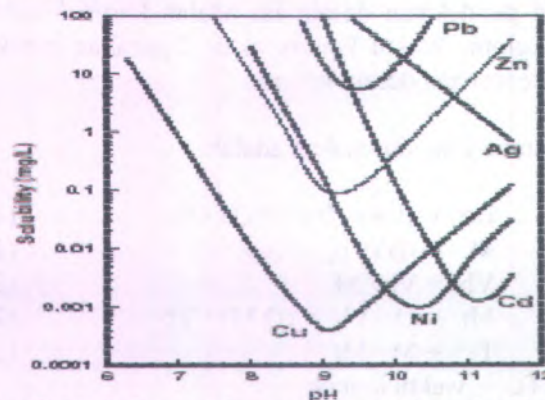
2.11 Faktor- faktor yang Mempengaruhi Adsorpsi

Beberapa faktor yang mempengaruhi berlangsungnya proses adsorpsi secara batch adalah karakteristik zat teradsorpsi (adsorbat), karakteristik zat pengadsorpsi (adsorben), pH, agitasi, temperatur, dan waktu kontak, kompetisi dalam larutan campuran

1. Karakteristik zat teradsorpsi (adsorbat)

Beberapa karakteristik adsorbat yang berpengaruh terhadap proses adsorpsi adalah kelarutan adsorbat dan ukuran molekul adsorbat.

a. Kelarutan adsorbat



Gambar 2.11 Kelarutan logam sebagai fungsi pH (Wan Ngah, W.S. dkk., 2002).

Secara umum larutan yang bersifat hidrofilik akan lebih sulit untuk diadsorp dibandingkan dengan larutan yang bersifat hidrofobik. Berdasarkan grafik kelarutan logam pada Gambar 2.11 dapat dilihat bahwa logam Pb bersifat larut, seiring dengan bertambahnya pH logam Pb mulai mengendap sampai pada pH 9,5 karena pada pH 9,5 logam Pb mengendap sempurna namun pada pH di atas 9,5 logam Pb mulai bersifat larut lagi.

b. Ukuran molekul adsorbat

Ukuran molekul adsorbat yang lebih besar dari ukuran pori adsorben akan lebih sulit untuk diadsorp daripada ukuran molekul adsorbat yang lebih kecil dari ukuran pori adsorben (Wan Ngah, W.S. dkk, 2002).

2. Karakteristik media pengadsorp (adsorben)

Beberapa karakteristik fisik kimia dari adsorben akan mempengaruhi kecepatan dan kapasitas adsorpsi antara lain: ukuran pori adsorben dan luas permukaan adsorben.

a. Ukuran pori adsorben

Apabila ukuran molekul adsorbat lebih kecil daripada ukuran pori partikel adsorben, maka akan lebih banyak jumlah adsorbat yang dapat diserap. Kitosan memiliki 3 macam ukuran pori dalam setiap permukaan partikelnya yaitu: macro pores dengan ukuran pori 1000 Å – 5000 Å, transitional pores dengan ukuran 100 Å – 800 Å dan micropores dengan ukuran 15 Å – 80 Å.

b. Luas permukaan adsorben

Proses adsorpsi terjadi di permukaan partikel. Besarnya adsorpsi akan proporsional terhadap luas permukaan yang ada. Ukuran adsorben akan mempengaruhi kecepatan adsorpsi sedangkan kecepatan adsorpsi akan meningkat dengan ukuran partikel yang semakin kecil. Oleh karena itu, kecepatan adsorpsi adsorben berbentuk bubuk lebih besar daripada kitosan berbentuk granular. Sedangkan kapasitas adsorpsi total tergantung dari luas permukaan total (Wan Ngah, W.S. dkk., 2002).

3. pH

Secara umum adsorpsi polutan organik tertentu dalam air akan meningkat dengan menurunnya pH. Ini terjadi karena adanya netralisasi dari muatan–muatan negatif pada permukaan kitosan dengan meningkatnya konsentrasi ion hidrogen, sehingga menyediakan permukaan aktif pada kitosan lebih banyak.

4. Temperatur

Karena adsorpsi merupakan proses kinetik, perubahan temperatur dapat merubah kecepatan adsorpsi. Kecepatan adsorpsi akan meningkat dengan meningkatnya temperatur dan berkurang dengan menurunnya temperatur.

5. Waktu kontak

Waktu kontak antara adsorbat dengan adsorben sangat mempengaruhi suatu proses adsorpsi. Semakin lama waktu kontak yang terjadi pada suatu proses adsorpsi maka semakin besar adsorbat yang teradsorpsi.

6. Agitasi

Kecepatan adsorpsi dipengaruhi oleh difusi film dan difusi pori tergantung dari jumlah agitasi dalam sistem, jika jumlah agitasi yang dilakukan relatif kecil, maka tahapan proses adsorpsi hanya akan terjadi hingga tahap difusi film.

7. Kompetisi Dalam Larutan Campuran

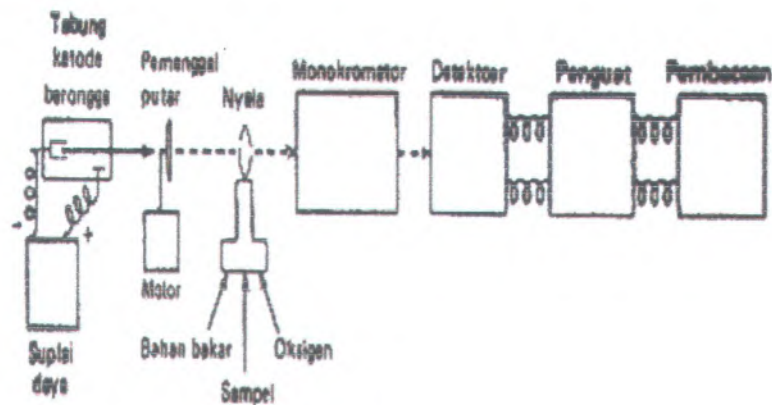
Dalam proses pengolahan jarang sekali terdapat limbah dengan unsur tunggal untuk diadsorb. Air baku mengandung kandungan organik yang bervariasi yang akan diadsorb dengan kecepatan yang berbeda–beda dan sisi yang berbeda dari adsorben. Situasi ini yang disebut dengan kompetisi dalam larutan (Wan Ngah, W.S. dkk., 2002).

2.12 Spektrofotometri Serapan Atom

Metode SSA berprinsip pada absorpsi cahaya oleh atom. Atom-atom menyerap cahaya tersebut pada panjang gelombang tertentu tergantung pada sifat unsurnya. Keberhasilan analisis ini

tergantung pada pada proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat. Pengendalian temperatur nyala penting sekali, dibutuhkan kontrol tertutup dari temperatur yang digunakan untuk eksitasi. Kenaikan temperatur akan menaikkan efisiensi atomisasi.

Gambar 2.12 menunjukkan bentuk bagan komponen-komponen dari sebuah spektrofotometer serapan atom dasar. Setiap alat SSA terdiri dari lima bagian utama yaitu sumber sinar, sistem pengatoman, monokromator, detektor, dan sistem pembacaan.



Gambar 2.12 Komponen-komponen Spektrofotometer Serapan Atom.

(Skoog, 1996)

Sumber sinar

Sumber sinar merupakan sistem emisi yang diperlukan untuk menghasilkan sinar yang energinya akan diserap oleh atom-atom bebas. Sumber radiasi haruslah bersifat sumber yang kontinu. Disamping itu sistem dengan penguraian optis yang sempurna diperlukan untuk memperoleh sumber sinar dengan garis absorpsi yang semonokromatis

mungkin. Seperangkat sumber yang dapat memberikan garis emisi yang tajam dari suatu unsur yang spesifik tertentu dikenal sebagai lampu lijar hollow cathode. Lampu ini memiliki dua elektroda, satu diantaranya berbentuk silinder dan terbuat dari unsur yang sama dengan unsur yang dianalisis. Lampu ini diisi dengan gas mulia bertekanan rendah (Skoog, 1996)

Sistem Pengatoman

Sistem pengatoman merupakan bagian yang penting karena pada tempat inilah senyawa akan dianalisis. Pada sistem pengatoman, unsur yang akan dianalisis diubah bentuknya dari bentuk ion dalam larutan menjadi bentuk atom bebas. Atomisasi bisa dilakukan baik dengan nyala ataupun tanpa nyala (dengan tungku grafit).

a. Sistem pengatoman dengan nyala api

Sistem pengatoman ini menggunakan nyala api untuk mengubah larutan yang mengandung ion-ion menjadi atom bebasnya. Untuk mengubah unsur metalik menjadi uap atau hasil disosiasi diperlukan energi panas. Ada dua bagian penting pada sistem ini yaitu sistem pengabut (nebulizer) dan sistem pembakar (burner). Sebagai bahan bakar yang menjadi api, merupakan campuran dari gas pembakar dengan oksidannya.

b. Sistem pengatoman tungku grafit

Pada tungku grafit temperatur dapat dikendalikan secara elektrik. Biasanya temperatur dinaikkan secara bertahap, untuk diuapkan dan sekaligus mendisosiasi senyawa yang dianalisis. Metode tanpa nyala lebih disukai dari metode nyala. Berbeda dengan sistem pengatoman nyala api yang sampelnya akan mengalir secara kontinu maka pengatoman dengan tungku grafit dengan cara menginjeksi sebanyak 5 – 10 μL sehingga pengatoman hanya terjadi sesaat. Kelebihan sistem pengatoman ini adalah sampel yang digunakan jauh lebih sedikit, kepekaan lebih baik, suhu

yang terjadi dapat dimonitor, tidak memerlukan gas pembakar (Skoog, 1996).

Monokromator

Fungsi monokromator adalah mengisolasi salah satu garis resonansi/radiasi resonansi dari sekian banyak spektrum yang dihasilkan oleh lampu hollow cathode.

Detektor

Fungsi detektor adalah mengubah energi sinar menjadi energi listrik, dimana energi listrik yang dihasilkan digunakan untuk mendapatkan data. Detektor SSA tergantung pada jenis monokromatornya, jika monokromator sederhana yang biasa dipakai untuk analisa alkali, detektor yang digunakan adalah barrier layer cells. tetapi pada umumnya yang digunakan adalah detektor photomultiplier tube (Skoog, 1996).

Parameter-parameter yang direkomendasikan untuk alat Spektroskopi Serapan Atom pada analisis logam Cu(II) adalah sebagai berikut :

Tabel 2.1 Kondisi kerja instrumen SSA pada logam Cu (II)

Kondisi Kerja	
Lampu	4 mA
Bahan bakar	Asetilen
Pendukung	Udara
Stoikimetri pembakaran	Oksidasi

Tabel 2.2 Data panjang gelombang, pergeseran puncak, dan range kerja optimum instrumen SSA pada logam Cu (II)

Panjang Gelombang (nm)	Pergeseran Puncak (nm)	Range Kerja Optimum (g/mL)
324,7	0,5	0,03 - 10
327,4	0,2	0,1 - 24
217,9	0,2	0,2 - 60
218,2	0,2	0,3 - 80
222,6	0,2	1 - 280
249,2	0,1	4 - 800
244,2	1,0	10 - 2000

(Varian, 1989)

2.13 Spektrofotometri Infra Merah Transformasi Fourier (FTIR)

Penggunaan spektroskopi infra merah telah luas pemakaiannya diantaranya untuk mendeteksi gugus fungsi senyawa organik pada proses reaksi kimia organik ataupun polimerisasi. Absorpsi infra merah didasari pada kenaikan energi vibrasi atau rotasi antara ikatan kovalen yang menetapkan suatu hasil kenaikan dalam suatu perubahan pada momen dipol suatu molekul. Perbedaan antara spektroskopi infra merah konvensional dengan spektroskopi infra merah transformasi fourier adalah pada interferometer yang mana hasil keluaran dari detektor telah melalui suatu invers transformasi fourier tersebut. Aplikasi spektroskopi Infra Merah Transformasi Fourier telah luas digunakan karena beberapa keunggulan dibandingkan instrumen konvensional, yaitu :

- Membuat penggunaan seluruh frekuensi dari sumber secara simultan, dibandingkan dengan pengurutan seperti pada suatu alat scanning, keuntungan ini disebut keuntungan Fellgett.
- Sensitivitas metoda transformasi fourier lebih hebat daripada teknik dispersif karena semakin banyak pancaran yang masuk

pada sistem slitless, keuntungan ini disebut keuntungan Jacquinet (Ewing, Galen. W., 1988).

Daerah spektrum elektromagnetik inframerah berada pada panjang gelombang 770 - 1000 nm atau pada bilangan gelombang 12900 - 10 cm^{-1} . Energi yang dipancarkan dalam daerah inframerah adalah energi vibrasi. Oleh karena itu sifat infra merah juga disebut spektrum vibrasi. Daerah infra merah dibagi tiga sub daerah yaitu daerah inframerah dekat (lebih dekat ke sinar tampak) dari 770 nm - 2,5 μm (12900 - 4000 cm^{-1}), daerah inframerah tengah dari 2.5 - 50 μm (4000 - 200 cm^{-1}), dan daerah infra merah jauh dari 50 - 1000 μm (200 - 10 cm^{-1}). Komponen dari instrumen FTIR dapat dibagi atas beberapa bagian, diantaranya :

a). Beam Splitter

Beam splitter dibuat dari bahan transparan dengan indikasi refraktif sekitar 50% radiasi yang direfleksikan dan 50% yang ditransmisikan. Pada umumnya digunakan bahan untuk daerah inframerah jauh adalah suatu film tipis lapisan Mylar diantara dua pelat dari refraktif rendah-indeks padatan. Film tipis dari germanium atau silikon yang disimpan pada cesium iodida atau bromida yang baik digunakan untuk daerah infra merah sedang. Suatu film besi (III) oksida disimpan dalam kalsium fluorida untuk daerah infra merah dekat.

b). Sumber dan transduser

Sumber yang digunakan adalah Nernst glower atau sumber globar. Transduser yang digunakan untuk daerah infra merah sedang adalah triglysin sulfat *pyroelektrik*.

c). Desain instrumen

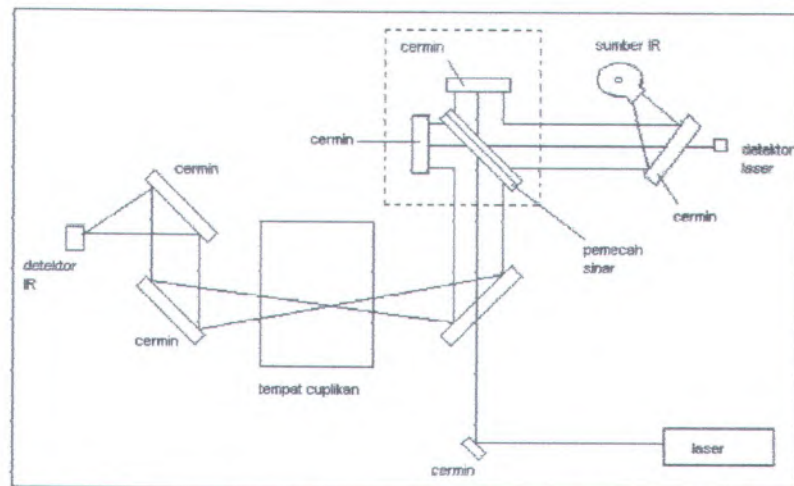
Spektrofotometer FTIR biasanya merupakan instrumen beam tunggal. Tipe prosedur untuk mendeterminasi transmittan atau absorbansi dengan tipe instrumen ini adalah untuk memperoleh suatu interferogram referens oleh suatu

scanning sebanyak 20-30 kali yang dimasukkan dalam data komputer. Suatu sampel kemudian dimasukkan dalam alur radiasi dan diulangi prosesnya. Rasio dari sampel dan data spektra referens yang kemudian dihitung untuk mendapatkan transmittan pada beberapa frekuensi (Skoog, 1996).

d) Mekanisme pengarah

Sejak pancaran energi terdiri atas deretan gelombang elektromagnetik, biasanya banyak frekuensi berlapis, yang seketika itu juga elektrik dan medan magnetik pada beberapa titik akan dihasilkan dari kedua frekuensi tunggal. Selanjutnya pada prinsipnya sangat mungkin untuk mendapatkan kembali serluruh informasi yang dibawah oleh suatu beam sederhana akibat masuknya informasi tersebut pada suatu detektor dan penentuan responnya sebagai fungsi waktu.

Getaran beam meninggalkan interferometer yang kemudian diarahkan kedalam suatu lensa pengosilasi sebagai pengatur posisi alternatif untuk mengirimkan beam masuk melalui sel cuplikan atau melalui referens. Lensa pengosilasi kedua menyelaraskan dengan yang pertama, mengirimkan beam agar lebih tepat pada detektor. Bagan alat FTIR ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Bagan alat FTIR berkas tunggal (Skoog,1996)

2.14 Viskometri

Viskositas intrinsik $[\eta]$ dari larutan polimer, termasuk polimer non elektrolit dan elektrolit, berkaitan dengan massa molekul rata-rata viskositas (M_v). Viskositas larutan polimer bergantung dari ukuran molekul polimernya. Untuk polimer linier pengukuran massa molekul rata-rata berat cukup cermat. Kesederhanaan peralatan menyebabkan pengukuran viskositas larutan polimer merupakan suatu karakterisasi polimer yang mudah dilakukan. Untuk ketepatan yang cermat pengukuran dilakukan pada suhu tetap. Jika viskositas larutan polimer adalah η dan viskositas pelarut murni ialah η_o , maka viskositas jenis, η_{sp} , larutan polimer diberikan oleh persamaan 2.15 :

$$\eta_{sp} = \frac{\eta - \eta_o}{\eta_o} \quad (2.15)$$

Persamaan 2.15 menggambarkan peningkatan viskositas yang disebabkan oleh polimer. Nisbah η_{sp}/c , c ialah konsentrasi larutan polimer, disebut viskositas tereduksi atau angka viskositas. Harga η_{sp}/c pada pelarutan tak terbatas disebut angka

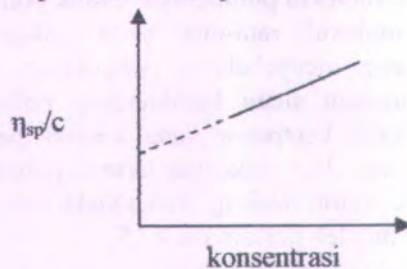
viskositas batas (dulu dikenal sebagai viskositas intrinsik) dan diberi lambang $[\eta]$. Secara matematika dapat diungkapkan sebagai :

$$\lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{sp}}{c} = [\eta] \quad (2.16)$$

Karena massa jenis berbagai larutan yang dipakai dalam suatu percobaan hampir sama dengan massa jenis pelarut, maka sebagai pendekatan dapat diandaikan viskositas tiap larutan hasil pengenceran berbanding lurus dengan waktu alirnya, sehingga persamaan 2.16 menjadi :

$$\eta_{sp} = \frac{t - t_0}{t_0} \quad (2.17)$$

t adalah waktu alir untuk larutan, sedangkan t_0 adalah waktu alir untuk pelarut. Secara percobaan, waktu alir untuk berbagai pengenceran larutan polimer, dan untuk pelarut murni, diperoleh. Dengan demikian harga η_{sp} dan η_{sp}/c dapat dihitung. Selanjutnya harga η_{sp}/c diplotkan terhadap konsentrasi c seperti Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Penentuan angka viskositas batas $[\eta]$ (Cowd, 1991)

Data viskositas merupakan fungsi konsentrasi yang diekstrapolasikan untuk mendapatkan larutan encer tak hingga/virtue yang oleh Huggins dinyatakan dengan persamaan 2.18 :

$$\eta_{sp}/c = [\eta] + k' [\eta^2] c \quad (2.18)$$

dengan nilai k' adalah tetapan polimer pada pelarut tertentu dan suhu tertentu.

Hubungan viskositas dengan massa molekul rata-rata berat dinyatakan oleh persamaan Mark-Houwink Sakurada :

$$[\eta] = K \cdot M_v^\alpha \quad (2.19)$$

dimana K dan α merupakan konstanta yang bergantung pada polimer dan sistem pelarut yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan pelarut 0,2 M CH_3COOH / 0,1 M CH_3COONa dengan K sebesar $1,424 \times 10^{-3}$ dan α sebesar 0,96 pada temperatur 30 °C (Knaul, J. Z. Et. Al., 1998).

2.15 Brunauer- Emmet- Teller (BET)

Luas permukaan spesifik adalah luas area partikel tiap satuan massa atau volume dari material. Pada umumnya, luas area ditentukan melalui adsorpsi fisis dari gas seperti nitrogen. Luas permukaan diukur dengan menghitung jumlah molekul yang menempel pada monolayer. Pada material berpori, luas area ditentukan secara eksperimen yang bergantung pada ukuran molekul yang diadsorpsi relatif terhadap ukuran pori (Reed, 1991).

Teori adsorpsi digunakan untuk penentuan luas permukaan spesifik adsorben. Beberapa diantaranya adalah yang dikembangkan oleh Langmuir dan Brunauer- Emmet- Teller (BET). Isotherm Langmuir terbatas pada adsorpsi monolayer dari adsorbat, sedangkan pada pembentukan multilayer dimodelkan menggunakan isotherm Brunauer- Emmet- Teller (BET) dengan dasar isotherm Langmuir dan mengembangkannya pada adsorpsi fisis secara multilayer. Oleh karenanya asumsi yang digunakan dalam model isotherm BET adalah sebagai berikut:



- 1) Adsorpsi terjadi pada kisi
- 2) Lapisan pertama teradsorpsi pada permukaan padatan dan tiap- tiap lapisan dapat mulai teradsorpsi sebelum yang lain lepas
- 3) Kecuali pada lapisan pertama, molekul dapat teradsorpsi pada lapisan n apabila lapisan (n-1) telah teradsorpsi
- 4) Pada tekanan penjumlahan (P^0) jumlah yang teradsorpsi adalah terbatas
- 5) Kecuali pada lapisan pertama, entalpi adsorpsi (H_1) adalah sama untuk tiap lapisan

Adapun analisisnya dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{P}{V(P^0 - P)} = \frac{1}{V_m \cdot c} + \frac{(c-1) P}{V_m \cdot c P^0} \quad (2.20)$$

Dengan memplotkan P/P^0 sebagai sumbu x dan $P/V(P^0-P)$ sebagai sumbu y akan didapatkan persamaan garis linear dengan gradien = $(c-1)/V_m \cdot c$ dan intersep = $1/V_m \cdot c$

$$SA = \left(\frac{V_m}{0.0224} \right) \cdot N \cdot A_m \cdot 10^{-18} \quad (2.21)$$

Dimana:

SA : *surface area* (luas permukaan)

P^0 : tekanan penjumlahan (saturation)

P : tekanan kesetimbangan

P/P^0 : tekanan relatif

V_m : volume adsorbat yang teradsorpsi per gram padatan

$0,0224 \text{ cm}^3 = 22.4 \text{ L} / 1000$

N : bilangan Avogadro ($6,022 \cdot 10^{23}$)

A_m : *molecular cross section area* dari adsorbat (nm)

(Mc Cash, 2000)



2.16 Regresi Linier

Uji regresi linier digunakan untuk menguji hubungan antara satu atau kelompok variabel bebas (x) dengan variabel tertentu (y) sehingga dapat diramalkan besarnya y pada harga x yang tertentu. Persamaan garis yang melewati titik a, b adalah :

$$y = bx + a \quad (2.22)$$

dengan nilai a dan b diperoleh dari persamaan :

$$b = \frac{\sum_i \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.23)$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (2.24)$$

nilai a merupakan intersep dari grafik dan b sebagai slope atau garis lereng.

Untuk menaksir seberapa baik sebaran data analisa di sekitar garis lurus maka ditentukan koefisien korelasi momen hasil kali, r . Harga r dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$r = \frac{\sum_i \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\left\{ \left[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \right] \left[\sum_i (y_i - \bar{y})^2 \right] \right\}} \quad (2.25)$$

Dari persamaan ini ditunjukkan bahwa r dapat mempunyai nilai dalam kisaran $-1 < r < 1$. Nilai $r = -1$ menggambarkan korelasi negatif sempurna, yaitu sebaran data analisa terletak pada garis lurus yang lerengnya negatif. Demikian pula jika $r = 1$ maka berarti diperoleh korelasi positif sempurna, yaitu sebaran data analisa terletak pada garis lurus yang lerengnya positif. Bila tidak ada korelasi antara x dan y maka nilai $r = 0$. Kurva kalibrasi dalam analisa dengan r yang lebih besar dari 0,90 dianggap layak,

dan nilai r lebih kecil sama dengan 0,90 dinyatakan tidak layak (Miller, 1993).

(11)

(12)

menyatakan nilai koefisien korelasi yang diperoleh

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

(13)

(14)

(15)

untuk mencari koefisien korelasi yang diperoleh menggunakan rumus

di atas maka diperoleh koefisien korelasi yang diperoleh menggunakan rumus

(16)

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

yang menunjukkan bahwa koefisien korelasi yang diperoleh menggunakan rumus

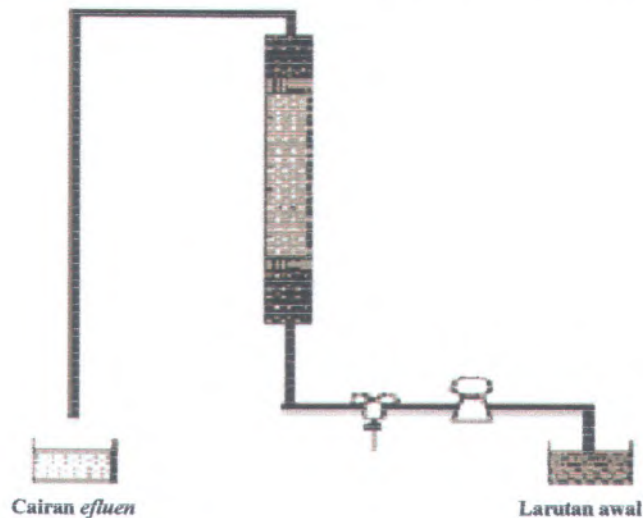
BAB III METODOLOGI

3.1 Peralatan dan Bahan

3.1.1 Peralatan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat alat kolom katil tetap (*fixed bed column*) (kolom berdiameter 1,5 cm dan panjang 10 cm, manik-manik kaca (*glass beads*), serabut kaca (*glass wool*), dan pompa), bak plastik 5 lt, gelas beaker, pengaduk, pipet volum, pipet tetes, gelas ukur, botol timbang, labu ukur 1000 ml; 500ml; 250 ml; 100 ml; 25 ml, botol semprot, neraca analitik, ayakan mesh 40 dan mesh 60, stop watch, viskometer oswald, penumbuk, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA), FTIR, dan BET.

3.1.2 Skema Alat Kolom Katil Tetap (*Fixed Bed Column*)



Gambar 3.1 Perangkat alat kolom katil tetap (*fixed bed column*)

3.1.3 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah khitosan, cangkang kupang, padatan NaOH p.a., asam asetat glasial, larutan glutaraldehid 25%, padatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ p.a., aquademineralisasi, aquades, dan HCl pekat.

3.2 Prosedur Kerja

3.2.1 Pembuatan Serbuk Cangkang Kupang

Cangkang kupang dicuci bersih menggunakan aquades dan dikeringkan dengan panas matahari. Cangkang kupang kemudian digerus menggunakan penggiling dan diayak menggunakan ayakan mesh 40 dan mesh 60 sehingga diperoleh serbuk cangkang kupang berukuran 40-60 mesh.

3.2.2 Pembuatan Pelet Komposit Adsorben

Serbuk khitosan sebanyak 1 gram dilarutkan dengan larutan asam asetat 2% hingga mencapai volume 100 ml. Campuran tersebut kemudian dipanaskan hingga homogen. Selanjutnya larutan tersebut diambil sebanyak 20 ml dan ditambahkan 1 gram serbuk cangkang kupang sehingga fraksi berat serbuk cangkang kupang 83,33%; ditambahkan 2 gram serbuk cangkang kupang sehingga fraksi berat serbuk cangkang kupang 90,90%; ditambahkan 3 gram serbuk cangkang kupang sehingga fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%; 4 gram serbuk cangkang kupang sehingga fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%; dan 5 gram serbuk cangkang kupang sehingga fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%. Campuran tersebut kemudian diaduk-aduk, dipipet dan dimasukkan ke dalam larutan NaOH 2N diperoleh adsorben dalam bentuk pelet. Pelet tersebut kemudian disaring dan direndam dalam larutan glutaraldehid 0,2% selama 24 jam. Pelet yang sudah direndam selanjutnya disaring dan dicuci menggunakan aquades hingga terbebas dari larutan glutaraldehid. Kemudian pelet tersebut dikeringkan dalam udara bebas. Pelet yang digunakan adalah pelet dengan fraksi serbuk cangkang kupang 93,75%; 95,24%; dan 96,15% karena

pelet dengan fraksi serbuk cangkang kupang 83,33% dan 90,90% sangat kecil akibat sedikitnya jumlah serbuk cangkang kupang yang ditambahkan sehingga peletnya mengempis.

3.2.3 Studi Adsorpsi Larutan Cu (II) Oleh Adsorben Komposit Cangkang Kupang-Khitosan Terikat Silang Menggunakan Variasi Laju Alir Influen, Variasi Komposisi Adsorben, dan Variasi Pengaturan pH Awal Larutan

Adsorben dimasukkan dalam kolom dengan ketinggian 2 cm ($\pm 2,7627$ gram). Kolom bagian bawah diberi tutup yang dapat diatur agar influen dapat masuk sebagaimana tampak pada gambar 3.1. Larutan Cu (II) 100 ppm pada pH optimum (pH 4 merujuk pada sistem Batch) dan pada suhu kamar kemudian dialirkan ke dalam kolom dengan bantuan pompa dan influen yang masuk diatur dengan laju alir 1,5 ml/menit; 2 ml/menit; dan 2,5 ml/menit. Keluaran kolom ditampung dalam bak penampung dan konsentrasi tembaga pada keluaran dianalisa menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Konsentrasi tembaga pada keluaran dianalisa setiap selang waktu 15 jam agar range titik penerobosan (*breakthrough*) tidak berdekatan dan nampak. Operasi kolom dihentikan ketika konsentrasi tembaga pada keluaran sama dengan konsentrasi tembaga awal yang berarti adsorben sudah jenuh. Prosedur diulangi dengan larutan Cu (II) awal tanpa pengaturan pH yaitu pada adsorben dengan fraksi serbuk cangkang kupang 96,15% dan kecepatan 2,5 mL/menit untuk mengetahui pengaruh pH awal terhadap kapasitas adsorpsi.

3.2.4 Pembuatan Kurva Kalibrasi Larutan Cu (II)

Larutan Cu(II) 100 mg/L diambil berturut-turut sebanyak 0; 2; 4; 6; 8; dan 10 ml dan masing-masing dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml. Larutan Cu(II) kemudian diencerkan dengan aquademineralisasi hingga tanda batas sehingga terbentuk larutan Cu (II) 0; 2; 4; 6; 8; dan 10 mg/L. Masing-masing larutan Cu (II)

diukur absorbansinya dengan SSA pada panjang gelombang 324,8 nm dan dibuat grafik kalibrasi absorbansi versus konsentrasi.

3.2.5 Penentuan Massa Molekul Relatif Rata-Rata Khitosan

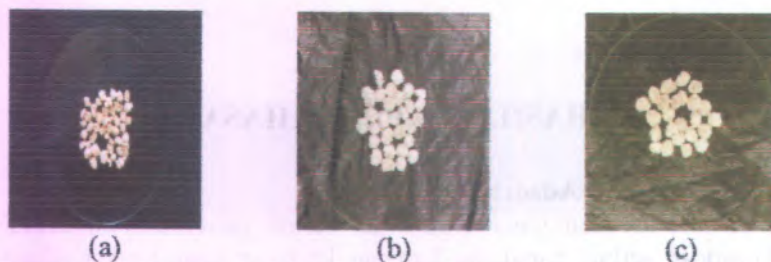
Sampel khitosan sebanyak 0,3 gr dilarutkan dalam pelarut 0,2 M CH_3COOH / 0,1 M NaOH pada suhu 25°C , kemudian dimasukkan ke dalam viskometer ostwald. Waktu alir larutan diukur dengan menggunakan stopwatch yang diukur sebanyak empat kali. Data waktu alir digunakan untuk menghitung viskositas relatif, viskositas tereduksi dan viskositas intrinsik. Perlakuan diatas diulangi untuk variasi berat khitosan 0,35; 0,4; 0,45; 0,5 gr.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Adsorben

Adsorben yang digunakan dalam penelitian ini adalah komposit serbuk cangkang kupang- khitosan yang terikat silang. Cangkang kupang yang digunakan dalam penelitian ini adalah cangkang kupang beras (kupang putih) yang diperoleh dari daerah Balongdoho, Sidoarjo. Cangkang kupang ini jumlahnya sangat berlimpah dan dibuang begitu saja oleh nelayan, sehingga bisa dikatakan cangkang kupang ini sebagai limbah.

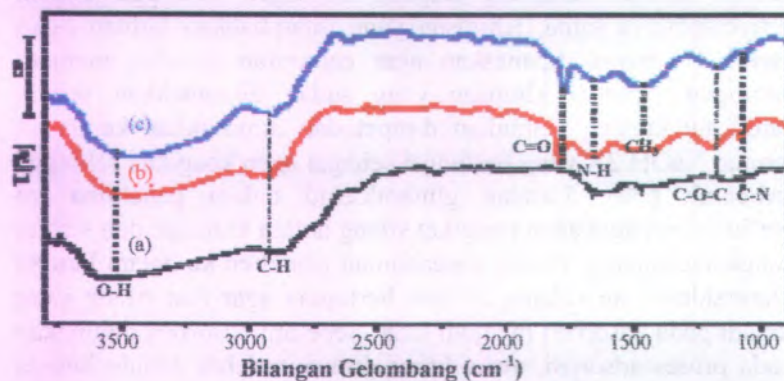
Cangkang kupang dicuci menggunakan aquades hingga bersih dengan tujuan agar cangkang kupang yang akan digunakan terbebas dari pengotor yang menempel pada permukaannya dan selanjutnya dikeringkan dengan bantuan sinar matahari sehingga jika digerus cangkang kupang tersebut tidak menggumpal. Cangkang kupang yang sudah ditumbuk kemudian diayak dengan ayakan mesh 40 dan mesh 60. Tujuan pengayakan ini adalah agar ukuran serbuk cangkang kupang homogen sehingga bidang penyerapannya sama. Khitosan yang ditambahkan larutan asam asetat 2% harus dipanaskan agar campuran tersebut menjadi homogen. Larutan khitosan yang sudah ditambahkan serbuk cangkang kupang kemudian dipipet dan dimasukkan ke dalam larutan NaOH 2N yang berfungsi sebagai agen koagulan sehingga terbentuk pelet. Larutan glutaraldehid dalam penelitian ini berfungsi sebagai agen pengikat silang antara khitosan dan serbuk cangkang kupang. Proses perendaman adsorben ke dalam larutan glutaraldehid ini selama 24 jam bertujuan agar ikat silang yang terjadi pada adsorben menjadi kuat. Sebelum adsorben digunakan pada proses adsorpsi, maka harus dioven terlebih dahulu hingga konstan untuk menghilangkan kadar air pada adsorben (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Komposit Adsorben Cangkang Kupang-Khitosan
 (a) Komposit 93,75% fraksi berat serbuk kupang
 (b) Komposit 95,24% fraksi berat serbuk kupang
 (c) Komposit 96,15% fraksi berat serbuk kupang

4.2 Analisis Spektroskopi Inframerah (IR)

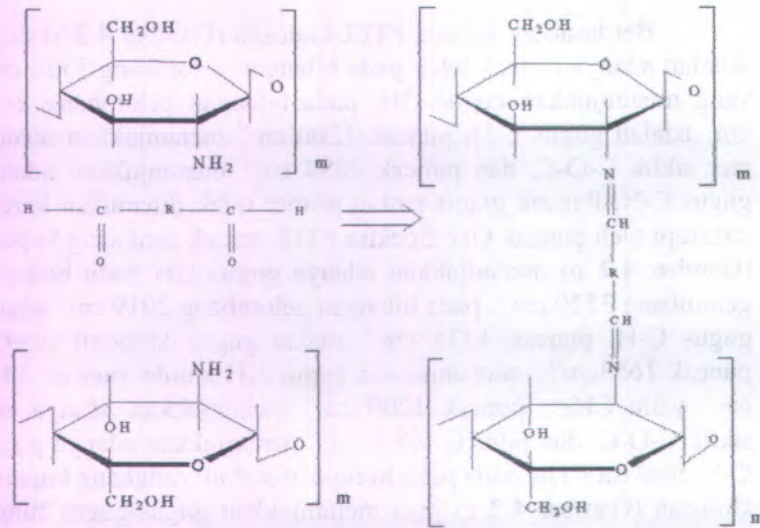
Spektra FTIR ini diperlukan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat dalam khitosan, serbuk cangkang kupang, dan pelet komposit serbuk cangkang kupang- khitosan. Hasil analisa infra merah khitosan, serbuk cangkang kupang, dan pelet komposit serbuk cangkang kupang- khitosan adalah sebagai berikut:



Gambar 4.2 a. spektra khitosan
 b. spektra serbuk cangkang kupang
 c. spektra pelet komposit serbuk cangkang kupang - khitosan

Berdasarkan spektra FTIR khitosan (Gambar 4.2 a) dapat diamati adanya puncak lebar pada bilangan gelombang 3520 cm^{-1} yang menunjukkan gugus OH, pada bilangan gelombang 2919 cm^{-1} adalah gugus C-H, puncak 1200 cm^{-1} menunjukkan adanya eter siklik C-O-C, dan puncak 1084 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-N. Puncak gugus amina primer tidak ditemukan karena tertutupi oleh puncak OH. Spektra FTIR serbuk cangkang kupang (Gambar 4.2 b) menunjukkan adanya gugus OH pada bilangan gelombang 3520 cm^{-1} , pada bilangan gelombang 2919 cm^{-1} adalah gugus C-H, puncak 1775 cm^{-1} adalah gugus karbonil (C=O), puncak 1653 cm^{-1} menunjukkan gugus NH amida, puncak 1464 cm^{-1} yaitu CH_3 , puncak 1200 cm^{-1} menunjukkan adanya eter siklik C-O-C, dan puncak 1084 cm^{-1} menunjukkan adanya gugus C-N. Spektra FTIR pada pelet komposit serbuk cangkang kupang-khitosan (Gambar 4.2 c) juga menunjukkan gugus-gugus fungsi yang sama dengan gugus fungsi pada khitosan dan serbuk cangkang kupang.

Dari puncak-puncak serapan FTIR, maka nampak spektra pada komposit menyerupai serbuk cangkang kupang karena jumlah serbuk cangkang yang ditambahkan lebih banyak daripada khitosan. Akan tetapi gugus fungsi dari masing-masing penyusun komposit tersebut masih ada, sehingga dapat dikatakan bahwa serbuk cangkang kupang hanya bercampur secara fisik saja dengan khitosan yang terikat silang glutaraldehid. Puncak yang menunjukkan adanya gugus imina (C=N) pada pelet komposit juga tidak nampak karena intensitasnya rendah. Khitosan merupakan hasil deasetilasi, dimana gugus asetil pada khitin disubstitusikan oleh hidrogen menjadi gugus amino dengan penambahan larutan basa kuat berkonsentrasi tinggi (Kotze, C., 2001). Sehingga gugus karbonil (C=O) dan CH_3 pada khitosan tidak ada. Khitosan merupakan polimer alam yang dapat berikat silang bila ditambahkan agen ikat silang misalnya glutaraldehid. Reaksi yang terjadi antara khitosan dan glutaraldehid adalah sebagai berikut:

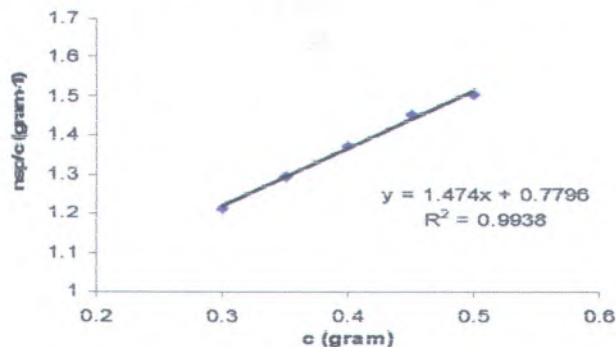


Gambar 4.3 Pembentukan ikat silang antara khitosan dan agen ikat silang dengan $R = (CH_2)_n$ dimana $n = 3$ untuk glutaraldehid, $n = 0$ untuk glioksal (Nakatsuka dan Andrandy, 1997)

Jika pengikatan logam berat Cu dengan pembentukan kompleks, maka diduga bahwa pada khitosan yang tidak memiliki gugus karbonil akan memberikan kemampuan adsorpsi yang lebih besar daripada serbuk cangkang kupang karena gugus NH_2 pada khitosan memiliki pasangan elektron bebas yang tidak terdelokalisasi. Sedangkan pada serbuk cangkang kupang, nitrogen dari asetamida ($NHCOCH_3$) yang dikandung khitin memiliki pasangan elektron bebas yang terdelokalisasi akibat gugus $C=O$, sehingga akan mengurangi kemampuan adsorpsi terhadap logam Cu. Maka hal ini dapat menjelaskan variasi komposisi adsorben terhadap kapasitas adsorpsi pada sub bab 4.4.3.

4.3 Penentuan Massa Molekul Rata-rata Khitosan dengan Pengukuran Viskositas

Pengukuran dengan metode viskositas pada viskometer kapiler Ostwald digunakan untuk menghitung massa molekul rata-rata polimer khitosan. Massa molekul rata-rata polimer khitosan ini berguna untuk identifikasi khitosan. Viskositas larutan polimer bergantung dari ukuran molekul polimernya. Untuk polimer linier pengukuran massa molekul rata-rata berat cukup cermat. Kesederhanaan peralatan menyebabkan pengukuran viskositas larutan polimer merupakan suatu karakterisasi polimer yang mudah dilakukan. Untuk ketepatan yang cermat pengukuran dilakukan pada suhu tetap (Cowd, 1991). Untuk menentukan besarnya viskositas ini, digunakan dua pelarut yaitu 0,2 M asam asetat (CH_3COOH) dicampurkan dengan 0,1 M NaOH. Penggunaan pelarut ini karena khitosan larut dengan cepat dalam larutan asam organik seperti asam formiat, asam asetat, asam sitrat dan larutan asam mineral kecuali sulfur. Pengukuran waktu alir pelarut murni 0,2 M asam asetat (CH_3COOH)/ 0,1 M NaOH dan larutan cuplikan masing-masing dilakukan pada volume 10 mL dan pengukuran dilakukan sebanyak 4 kali. Nilai viskositas intrinsik $[\eta]$ merupakan intersep dari kurva η_{sp}/c (viskositas tereduksi) terhadap c . Adapun grafik antara η_{sp}/c vs c adalah sebagai berikut:

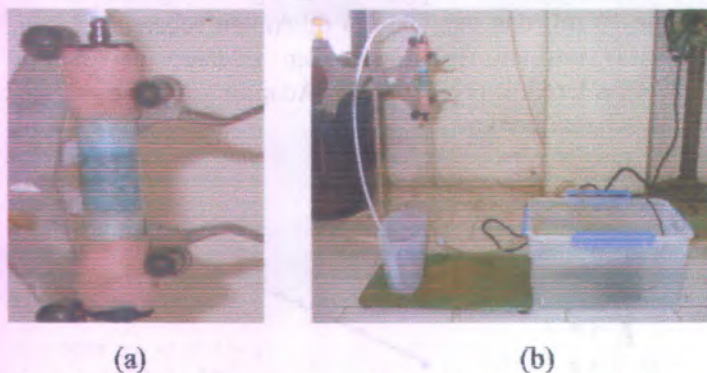


Gambar 4.4 Viskositas khitosan

Hubungan viskositas intrinsik dengan massa molekul rata-rata viskositas dinyatakan dengan persamaan Mark-Houwink-Sakurada seperti persamaan 2.19, sehingga nilai M_v atau massa molekul rata-rata khitosan bisa diketahui sebesar 821,682 g/mol.

4.4 Perlakuan Adsorpsi Oleh Pelet Komposit Serbuk Cangkang Kupang Terikat Silang Khitosan

Pemisahan ion logam Cu(II) dari larutan dilakukan dengan mengalirkan larutan stok Cu (II) 100 ppm dari bawah ke atas dengan bantuan pompa (Gambar 4.4). Penelitian ini menggunakan variasi laju alir influen yaitu 1,5 ml/menit; 2 ml/menit; dan 2,5 ml/menit dan variasi komposisi adsorben yang dipasang pada kolom setinggi 2 cm (sekitar 2,7627 gram) dengan komposisi adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%; 95,24%, dan 96,15%. Gambar kolom adsorpsi dan rangkaian alat adsorpsi adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5 (a) Kolom adsorpsi; (b) Rangkaian alat adsorpsi

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh laju alir influen, komposisi adsorben, dan pH awal larutan (dengan pengaturan dan tanpa pengaturan) terhadap kapasitas adsorpsi

pelet komposit serbuk cangkang kupang- khitosan terikat silang dalam kolom katil tetap.

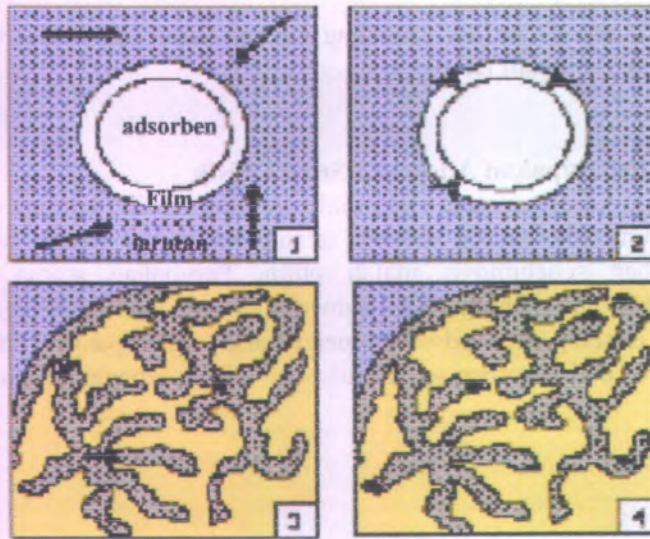
4.4.1 Penampakan Adsorben Secara Fisik

Adsorben yang telah dialiri larutan Cu (II) tampak mulai berwarna biru muda setelah selang waktu 30 menit. Warna adsorben sebelumnya adalah putih. Perubahan warna pada adsorben ini menunjukkan bahwa ion-ion logam tembaga (II) telah terserap oleh adsorben pelet cangkang kupang- khitosan. Gambar dari adsorben setelah adsorpsi adalah sebagai berikut:



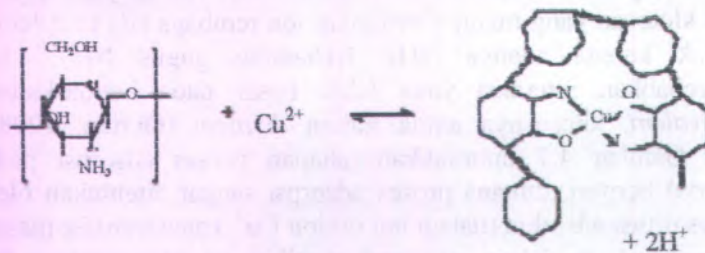
Gambar 4.6 Adsorben setelah proses adsorpsi

Adsorpsi ion tembaga (II) ini terjadi karena pada cangkang kupang terdapat senyawa organik yang dapat mengikat ion Cu^{2+} , yaitu senyawa khitin (Cowd, 1991). Hal ini juga terjadi pada khitosan yang mampu mengikat ion tembaga (II) jauh lebih banyak karena adanya NH_2 . Kehadiran gugus NH_2 ini menyebabkan interaksi yang lebih besar pada kation-kation *multivalent*, khususnya untuk kation *divalent* (Oyrton, 1998). Pada Gambar 4.7 ditunjukkan tahapan proses adsorpsi pada material berpori, dimana proses adsorpsi sangat ditentukan oleh proses difusi adsorbat (dalam hal ini ion Cu^{2+}) atau transfer massa intrapartikel di dalam pori-pori partikel adsorben (tahap 3), sebelum pada akhirnya adsorbat terikat pada situs aktif di dalam pori-pori partikel adsorben (tahap 4) (Planas, 2002).



Gambar 4.7 Tahapan difusi ion logam (adsorbat) dari larutan hingga ke dalam pori-pori partikel adsorben menuju situs aktif (Planas,2002)

Pada proses ini terjadi penggunaan pasangan elektron bersama dari atom oksigen ataupun atom nitrogen dengan ion Cu^{2+} untuk saling berikatan (Oyrton, 1998). Pengikatan ion Cu^{2+} ini ditunjukkan pada Gambar 4.8 sebagai berikut:



Gambar 4.8 Formasi khelat khitosan dengan ion-ion Cu^{2+} (Oyrton, 1998).

4.4.2 Variasi Laju Alir Influen

Laju alir influen yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit. Penyerapan logam Cu (II) oleh adsorben pelet komposit serbuk cangkang kupang - khitosan diuji dengan mengalirkan larutan tembaga (II) konsentrasi 100 mg/L yang telah diatur pH nya yaitu 4 pada adsorben yang telah terpasang pada kolom *fixed-bed*. Laju alir influen yang berbeda menyebabkan tembaga yang diadsorpsi oleh adsorben berbeda pula. Hal ini ditunjukkan pada data di Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Nilai kapasitas adsorpsi (q_0), tetapan laju Thomas (K_T), volume penerobosan (*breakthrough*) (V_B), dan waktu penerobosan (*breakthrough*) (t_B) pada komposisi fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir influen yang bervariasi

Laju Alir (mL/menit)	K_T (L/gr jam)	q_0 (mg/gr)	t_B (jam)	V_B (L)	t_E (jam)
1,5	$2,87 \cdot 10^{-4}$	642,9213	120,7979	10,8718	369,7081
2	$2,09 \cdot 10^{-4}$	649,9567	44,7129	5,3655	357,4669
2,5	$2,02 \cdot 10^{-4}$	689,6618	18,3416	2,7512	354,5990

Tabel 4.2 Nilai kapasitas adsorpsi (q_0), tetapan laju Thomas (K_T), volume penerobosan (*breakthrough*) (V_B), dan waktu penerobosan (*breakthrough*) (t_B) pada komposisi fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% dengan laju alir influen yang bervariasi

Laju Alir (mL/menit)	K_T (L/gr jam)	q_0 (mg/gr)	t_B (jam)	V_B (L)	t_E (jam)
1,5	$2,66 \cdot 10^{-4}$	451,2992	58,4325	5,0393	311,3459
2	$2,89 \cdot 10^{-4}$	584,0805	55,992	7,0119	293,4637
2,5	$3,18 \cdot 10^{-4}$	624,5721	46,1101	6,9165	259,7075

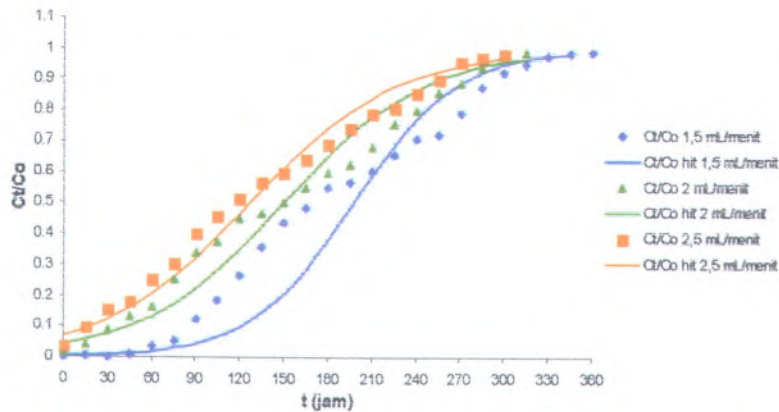
Tabel 4.3 Nilai kapasitas adsorpsi (q_0), tetapan laju Thomas (K_T), volume penerobosan (*breakthrough*) (V_B), dan waktu penerobosan (*breakthrough*) (t_B) pada komposisi fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir yang bervariasi

Laju Alir (mL/menit)	K_T (L/gr jam)	q_0 (mg/gr)	t_B (jam)	V_B (L)	t_E (jam)
1,5	$4,8 \cdot 10^{-4}$	325,7425	54,275	4,88475	195,7833
2	$5,1 \cdot 10^{-4}$	352,9199	38,1745	4,58094	173,4691
2,5	$5,01 \cdot 10^{-4}$	443,9475	37,8922	5,68383	171,3588

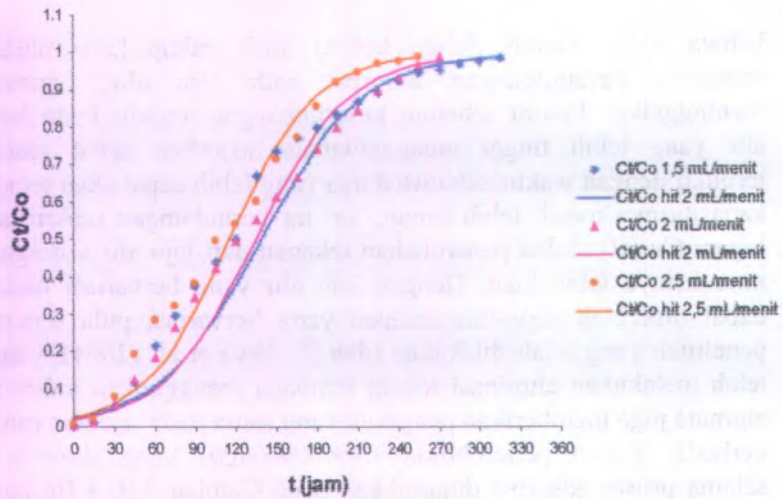
Hubungan antara laju alir dengan kapasitas serapan berbanding lurus. Tampak bahwa peningkatan laju alir mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi (q_0), dan menurunkan waktu olah (t_B). Namun, volume terolah tertinggi dihasilkan pada laju alir 1,5 mL/menit pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% yaitu sebesar 10,8718 L. Peningkatan laju alir mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi ini hubungan dengan reaktifitas logam Cu (II) dan interaksi yang terjadi di dalam kolom antara larutan Cu (II) dengan adsorben akibat tekanan yang bertambah dari aliran. Selain itu adsorben serbuk cangkang kupang- khitosan yang terikat silang mayoritas kandungannya adalah CaCO_3 , maka serbuk cangkang kupang dan khitosan merupakan material yang sangat berpori (porous material) (Planas, 2002).

Pada laju alir yang berbeda akan mempengaruhi waktu pembuangan dan waktu penerobosan (t_B) yaitu waktu yang dibutuhkan larutan keluaran untuk mencapai konsentrasi 1 ppm. Waktu penerobosan akan meningkat dengan menurunnya laju alir yang digunakan pada sistem tersebut. Sedangkan waktu pembuangan (t_E) yaitu waktu yang dibutuhkan larutan keluaran untuk mencapai hampir 99% ,akan menurun dengan meningkatnya laju alir. Kurva penerobosan akan semakin tajam ketika laju alir ditingkatkan yang disertai dengan penurunan waktu penerobosan. Alasan yang mendasari hal tersebut adalah

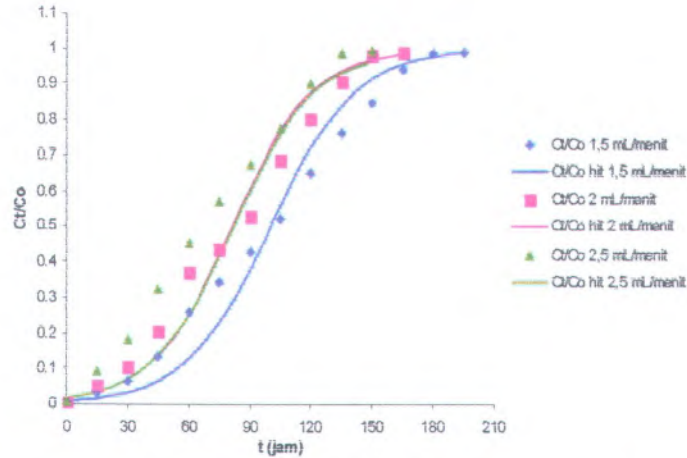
bahwa waktu kontak dalam kolom tidak cukup lama untuk mencapai kesetimbangan adsorpsi pada laju alir. Larutan meninggalkan kolom sebelum kesetimbangan terjadi. Pada laju alir yang lebih tinggi mengakibatkan adsorben cepat jenuh terbukti dengan waktu *exhausted* nya yang lebih cepat akan tetapi kapasitasnya masih lebih tinggi, hal ini berhubungan reaktifitas logam Cu (II) akibat penambahan tekanan dari laju alir sehingga interaksinya lebih kuat. Dengan laju alir yang bervariasi maka dapat diperoleh kapasitas serapan yang bervariasi pula seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Z. Aksu et al. (2004), yang telah melakukan eliminasi logam tembaga menggunakan kalsium alginate juga memberikan pengaruh yang sama pada laju alir yang berbeda. Kurva penerobosan (*breakthrough*) yang diperoleh selama proses adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 4.9; 4.10; dan 4.11 sebagai berikut:



Gambar 4.9 Perbandingan kurva penerobosan (*breakthrough*) hasil *fitting* dengan model Thomas dan kurva penerobosan (*breakthrough*) dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/ menit pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%



Gambar 4.10 Perbandingan kurva penerobosan (*breakthrough*) hasil *fitting* dengan model Thomas dan kurva penerobosan (*breakthrough*) dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%



Gambar 4.11 Perbandingan kurva penerobosan (*breakthrough*) hasil *fitting* dengan model Thomas dan kurva penerobosan (*breakthrough*) dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/ menit pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%

4.4.3 Variasi Komposisi Adsorben

Komposisi adsorben juga digunakan sebagai variasi dalam penelitian ini karena komposisi adsorben ini juga akan berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi dari masing-masing adsorben. Komposisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah komposisi adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%; 95,24%; dan 96,15%. Hasil dari proses adsorpsi larutan Cu (II) pada berbagai komposisi dapat dilihat pada Gambar 4.9; 4.10; dan 4.11 di atas.

Komposisi adsorben juga berpengaruh terhadap pola kapasitas adsorpsi seperti yang telah dijelaskan pada pengaruh laju alir yaitu peningkatan laju alir mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi ada hubungannya dengan serbuk cangkang

kupang dan khitosan yang mayoritas kandungannya adalah CaCO_3 , maka serbuk cangkang kupang dan khitosan merupakan material yang sangat berpori (*porous material*) (Planas, 2002) dan reaktifitas logam Cu (II) akibat penambahan tekanan laju alir. Area permukaan, maupun ukuran pori dari pelet serbuk cangkang kupang- khitosan ini dapat ditunjukkan dari data BET (*Brunauer-Emmet- Teller*) sebagai berikut:

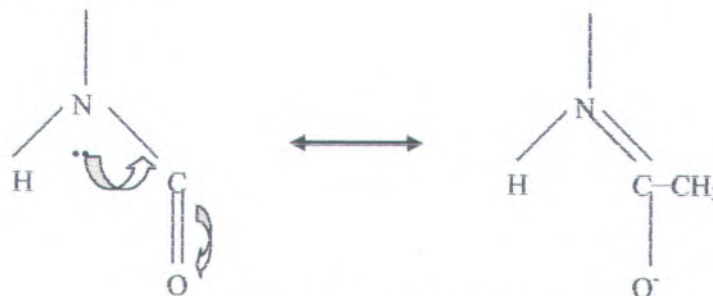
Tabel 4.4 Data area permukaan, volume pori, dan ukuran pori dari pelet cangkang kupang- khitosan

(fraksi berat serbuk cangkang kupang %)	Area Permukaan (m^2/g) Multi Point BET	Volume Pori (cc/g) Metode HK Kumulatif Volume Pori	Ukuran Pori ($^{\circ}\text{A}$)	
			Metode DA Diameter Pori	Metode HK Diameter Pori
93,75%	4,790	$9,821 \cdot 10^{-4}$	19,20	19,37
95,24%	2,594	$5,579 \cdot 10^{-4}$	19,20	19,37
96,15%	1,467	$4,847 \cdot 10^{-4}$	18,20	15,87

Tabel 4.5 Kapasitas adsorpsi fraksi berat serbuk cangkang kupang(%) pada laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; 2,5 mL/menit

Fraksi berat serbuk cangkang kupang %	Kapasitas Adsorpsi (q_0) (mg/g)		
	laju alir 1,5 mL/menit	laju alir 2 mL/menit	laju alir 2,5 mL/menit
93,75%	642,9213	649,9567	689,6618
95,24%	451,2992	584,0805	624,5721
96,15%	325,7425	352,9199	443,9475

Dari data di atas tampak bahwa area permukaan dan volume pori adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% memiliki nilai paling besar sehingga nilai kapasitas adsorpsinya juga semakin besar jika dibandingkan dengan komposisi adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% dan 96,15%. Dengan area permukaan yang lebih luas dan volume pori yang lebih besar sangat mungkin jika banyak logam Cu(II) yang terikat atau terserap oleh adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% tersebut. Selain itu pelet komposit pada fraksi serbuk cangkang kupang 93,75% lebih banyak mengandung khitosan dibandingkan dengan pelet komposit yang lainnya, sehingga kapasitas adsorpsinya lebih besar akibat banyaknya gugus NH_2 yang ada pada pelet komposit. Gugus NH_2 pada khitosan ini tidak memiliki gugus karbonil sehingga akan memberikan kemampuan adsorpsi yang lebih besar daripada serbuk cangkang kupang, karena gugus NH_2 pada khitosan memiliki pasangan elektron bebas yang tidak terdelokalisasi. Sedangkan pada serbuk cangkang kupang, nitrogen dari asetamida (NHCOCH_3) yang dikandung khitin memiliki pasangan elektron bebas yang terdelokalisasi akibat gugus C=O , sehingga akan mengurangi kemampuan adsorpsi terhadap logam Cu. Adapun reaksi delokalisasi kitin adalah sebagai berikut:



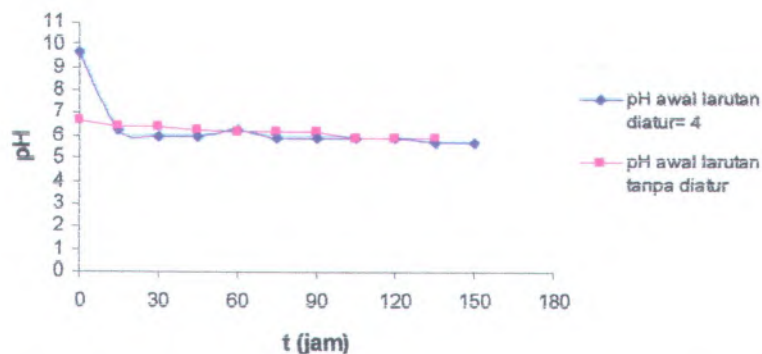
Gambar 4.12 reaksi delokalisasi kitin

4.4.4 Pengaruh pH Awal Larutan

Pengaturan pH awal larutan yang dengan pengaturan, menggunakan pH optimum 4 merujuk pada penelitian sistem Batch. pH optimum diharapkan memberikan nilai kapasitas yang lebih besar dalam hal penyerapan logam Cu (II) dari larutan. Larutan Cu (II) yang tanpa pengaturan pH memberikan kapasitas adsorpsi yang lebih kecil dibandingkan dengan larutan yang telah diatur pH nya mencapai pH optimum penyerapan (ditunjukkan pada Tabel 4.6). Hal ini diakibatkan karena pH optimum merupakan kondisi di mana larutan akan terserap dengan baik pada adsorben. Sehingga jika larutan tidak diatur terlebih dahulu sesuai dengan pH optimumnya maka kapasitas adsorpsinya akan lebih kecil.

Tabel 4.6 Pengaruh pH awal larutan Cu (II) terhadap beberapa parameter model Tomas dari hasil *Fitting* pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2,5 mL/menit

pH awal larutan Cu (II)	K_T (L/gr jam)	q_0 (mg/gr)	t_B (jam)	V_B (L)	t_E (jam)
4 (pH optimum)	$5,01 \cdot 10^{-4}$	443,9475	37,8922	5,68383	171,3588
5,9(pH tanpa diatur)	$6,31 \cdot 10^{-4}$	390,0607	37,1791	5,5769	144,8241

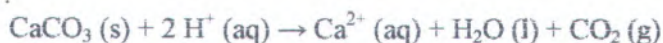


Gambar 4.13 Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang dengan pengaturan pH awal larutan dan tanpa pengaturan pH awal larutan

Dalam penelitian ini telah terjadi fenomena yaitu proses adsorpsi ion logam Cu^{2+} oleh serbuk cangkang kupang dan khitosan yang disertai dengan pelepasan H^+ karena proses adsorpsi terjadi dengan prinsip pertukaran ion (*ion exchange*) sebagaimana yang telah diusulkan oleh peneliti-peneliti terdahulu (Schmuhl, 2001; Kalyani et al, 2005; Verbych et al, 2005). Reaksi pertukaran ion tersebut adalah:

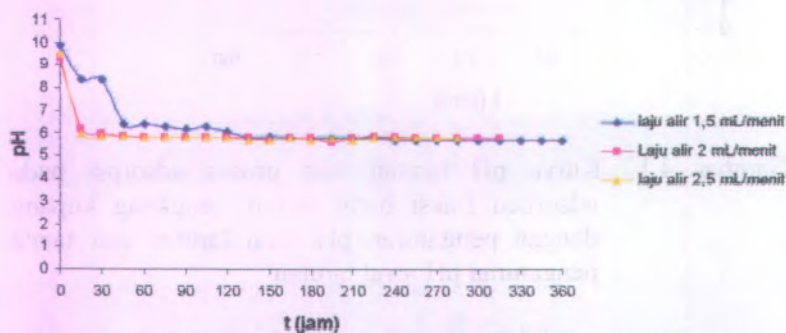


Kemudian terjadi reaksi lagi setelah proses adsorpsi, yaitu reaksi antara ion H^+ (hasil pertukaran ion) dengan CaCO_3 yang terdapat dalam serbuk cangkang kupang, yang dapat ditulis sebagai berikut :

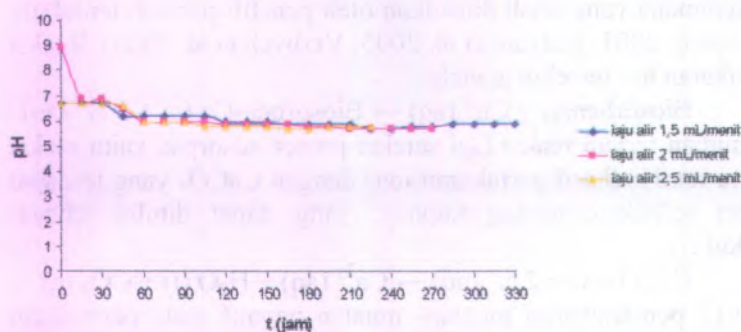


Adanya penetralisiran muatan- muatan negatif pada permukaan khitosan dan serbuk cangkang kupang dengan meningkatnya konsentrasi ion hidrogen, maka akan menyebabkan permukaan aktif pada khitosan dan serbuk cangkang kupang menjadi lebih banyak (Wan Ngah, W.S., 2002). Sehingga kapasitas adsorpsinya juga semakin besar.

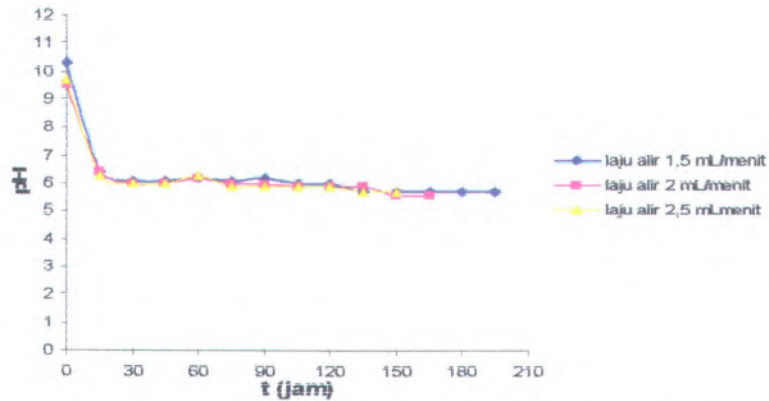
Pada penelitian ini pH larutan yang semula adalah 4 maka setelah melewati kolom atau setelah proses adsorpsi akan mengalami kenaikan yang pada akhirnya akan konstan, pH yang diperoleh setelah proses adsorpsi berlangsung antara 5,7-5,9 yang dapat ditunjukkan pada kurva di bawah ini :



Gambar 4.14 Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang



Gambar 4.15 Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%



Gambar 4.16 Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%

4.6 Sifat Komposit Adsorben

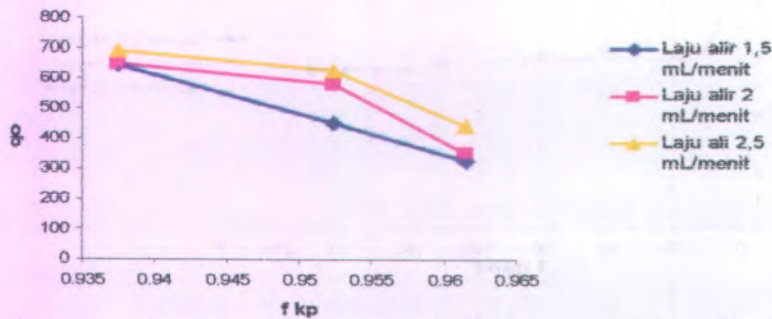
Adsorben serbuk cangkang kupang yang terikat silang glutaraldehyd, dimana masing-masing bahan dapat mengikat logam berat Cu (II). Kapasitas adsorpsi komposit merupakan kontribusi atau sumbangan dari penyusunnya, sehingga kontribusi nilai kapasitas adsorpsinya bervariasi. Hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.7:

Tabel 4.7 Tabel fraksi kupang dengan q_0 pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL menit

f kp	q_0 1,5 mL/menit	q_0 2 mL/menit	q_0 2,5 mL/menit
0.9375	642.9213	649.9567	689.6618
0.9524	451.2992	584.0805	624.5721
0.9615	325.7425	352.9199	443.9475

Dari Tabel 4.7 tersebut dapat diketahui bahwa kapasitas adsorpsi adsorben semakin menurun dengan semakin banyaknya fraksi

berat serbuk cangkang kupang. Korelasi antara kapasitas adsorpsi dan fraksi kupang dapat diplot pada Gambar 4.17:



Gambar 4.17 Grafik fraksi serbuk cangkang kupang terhadap kapasitas adsorpsi komposit dengan laju alir bervariasi

Tabel 4.8 Nilai korelasi dari persamaan regresi komposit pada laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; 2,5 mL/menit

Laju alir (mL/menit)	Persamaan regresi	R ²
1,5	$y = -13181x + 13001$	0,9996
2	$y = -148,52x + 826,02$	0,9064
2,5	$y = -127,86x + 831,77$	0,9314

Dari Gambar 4.17 di atas dapat dijelaskan bahwa hasil regresi menunjukkan nilai korelasi yang mendekati +1 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi layak, yang artinya semua titik yang ada pada kurva fraksi serbuk cangkang kupang terhadap adsorpsi komposit mendekati garis lerengnya. Hal ini menunjukkan adanya hubungan linier yang baik antara fraksi serbuk cangkang kupang dengan kapasitas adsorpsi komposit, sehingga dapat disimpulkan bahwa komposit yang terbentuk (serbuk cangkang kupang dan khitosan) cukup homogen.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Laju alir influen dapat mempengaruhi kapasitas adsorpsi masing-masing adsorben yaitu semakin cepat laju alir influen maka kapasitas adsorpsi juga semakin besar. Kapasitas adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 1,5; 2; dan 2,5 mL/menit secara berurutan adalah 642,9213 mg/g; 649,9567 mg/g; dan 689,6618 mg/g, untuk adsorben dengan fraksi berat cangkang kupang 95,24% adalah 451,2992 mg/g; 584,0805 mg/g; dan 624,5721 mg/g, untuk adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15 adalah 325,7425 mg/g; 352,9199 mg/g; dan 443,9475 mg/g.
2. Komposisi adsorben juga berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi yaitu semakin besar komposisi adsorben maka kapasitas adsorpsinya akan menurun. Pengaruh komposisi ini berhubungan dengan area permukaan, volume pori adsorben, dan sesuai dengan hasil FTIR yang menunjukkan bahwa spektra komposit menyerupai cangkang kupang. Kapasitas adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%; 95,24%; 96,15% dan dengan laju alir 1,5 mL/menit secara berurutan adalah 642,9213 mg/g; 451,2992 mg/g; dan 325,7425 mg/g.
3. Pengaturan pH awal larutan berpengaruh terhadap kapasitas adsorpsi yaitu pH awal larutan yang diatur pada pH optimum (pH 4) memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar yaitu sebesar 443,9475 mg/g dibandingkan dengan larutan awal tanpa pengaturan yaitu sebesar 390,0607 mg/g pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2,5 mL/menit. Pengaruh pH optimum ini akibat adanya reaksi netralisasi muatan negatif dengan meningkatnya

konsentrasi ion hidrogen sehingga sisi aktif pada adsorben tersedia lebih banyak.

5.2 Saran

Pada penelitian yang selanjutnya diharapkan untuk meneliti variasi pengaruh yang lainnya seperti variasi laju alir yang lebih lambat dan logam berat lainnya yang bisa diadsorpsi oleh adsorben pelet serbuk cangkang kupang- khitosan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksu Z, Gonen F. 2004. *Biosorption of Chromium (VI) Ions by Mowital B30 H Resin Immobilized Activated Sludge in a Packed Bed: Prediction of breakthrough Curves*. Process Biochem
- Brady, J, and Holum, J.. 1996. *Chemistry: The Study of Matter and its Changes*. John Wiley and Sons. New York
- Cowd, M, A. 1991. *Kimia Polimer*, ITB, Bandung, Hal. 43-44.
- Darmono. 1995. *Logam dalam Sistem Biologi Makhluk Hidup*. UI-Press. Jakarta
- Ewing, Galen, W. 1988. *Instrumental Methodes of Chemicals Analysis*. 5th ed, McGraw-Hill Book Company. New York
- Fatoki, O.S., Lujiza, N., and Ogunfowokan, A.O. 2002. *Trace metal pollution in Umtata River*. Water SA, Vol. 28, No. 2. pp. 183 – 189
- Fernandez et al. 2002. *Biomimetic Process Through The Study of Mineralized Shell*. CIMAT Universida de Chile. Chili
- Hirano, S. 1986. *Chitin and Chitosan*. Republica of Germany: Encyclopedia of Industrial Chemistry. 5th., pp. 231-232
- Hirano, S. 1995. *Biomedical and Animal Feed Additive Application of Chitin and Chitosan*. Colleretion of Working Papers 28. Malaysia: Universiti Kebangsaan Malaysia. pp: 221-226
- Info Budidaya. 1999. *Instalasi Penelitian Perikanan Laut*. SLIPI

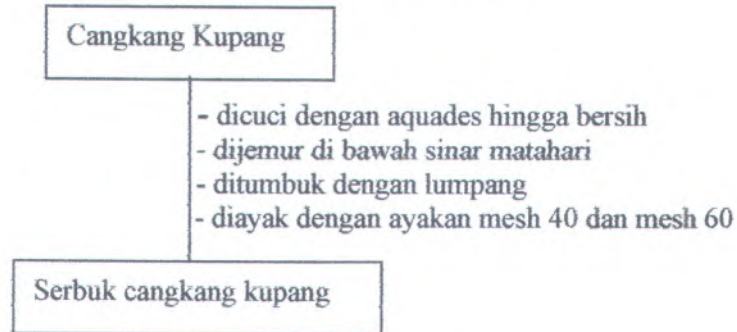
- Istianah, Siti. 2008. *Adsorpsi Ion Tembaga (II) Dari larutan aqueous Dengan Menggunakan Cangkang Kupang (Tellina sp) Dalam Kolom Alir Terkemas (Packed Bed up-flow Coloumn)*. Jurusan Kimia-FMIPA ITS. Surabaya
- Karthikeyan, G., Anbalagan, K., Andal, N.M. 2004. *Adsorption Dynamics and equilibrium Studies of Zn(II) onto Chitosan*. *Indian Journal Chemical Science*. 116. pp. 119-127
- Knau, J.Z., et.al. 1998. *Characterization of deacetylated Chitosan and Chitosan Molecular Weight Review*. *Canada Journal Chemistry*. vol.76
- Majeti, N. V., dan Kumar, Ravi. 2000. *A Review of Chitin and Chitosan Applications*. *Reactive & Functional Polymers*. Vol. 46, pp. 1-3
- Malkoc, E, Nohoglu, 2006. *Removal of Nickel (II) Ions From Aqueous Solution Using Waste of Tea Factory: Adsorption on a Fixed Bed Coloumn*. *Journal of Hazardous Material xxx*. 1-9
- Manahan, SE. 1977. *Enviromental Chemistry*. Second Edition. Boston: Williard Press
- Miller, J.C., Miller, J.N . 1993. *Statistik untuk Kimia Analitik*. ITB Press. Bandung
- Mittinen, J.K . 1977. *Inorganic Trace Element as Water Pollutan to Healt and Aquatic Biota*. Academic Press. New York

- Oyrton, A. 1999. *Some Thermodynamic Data on Copper-Chitin and Copper-Chitosan Biopolymer Interactions. Journal of Colloid and Interface Science*. 212. pp.212-213
- Palar, H . 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Bandung
- Planas, M. Ruiz. 2002). *Development of Techniques Based on Natural Polymer for The Recovery of Precious Metals*. Thesis Doctoral. Universitat Politecnica de Catalunya. Meksiko
- Rhazi, M., dan Desbrieres, J. 2002). *Contribution to The Study of The Complexation of Copper by Chitosan and Oligomers*. Journal of Polymer. Vol. 43. pp. 1270-1271.
- Schmul, R, Kriey, HM Keizer. 2001. *Adsorption of Cu (II) and Cr (VI) by Chitosan: Kinetics and Equilibrium Studies Water SA*. Journal of Hazardous Material
- Skoog, Douglas A., et al. 1996. *Principles of Analysis*, 5th ed. Saunders College Publishing
- Sudirman Habibie. 1996. *Penelitian Pembuatan Khitosan di Indonesia*. Majalah BPPT Teknologi. Jakarta
- Sutamihardja, R.t.m, Adnan K . 1982. *Perairan Teluk Jakarta Ditinjau dari Tingkat Pencemaran*. Fakultas Pascasarjana. Jurusan PSL- IPB. Bogor
- Suwirma S., Surtipanti S . 1988. *Distribusi Logam Berat Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, dan Zn dalam Tubuh Ikan*. Majalah Batan. Yogyakarta. 9(8): 9-6

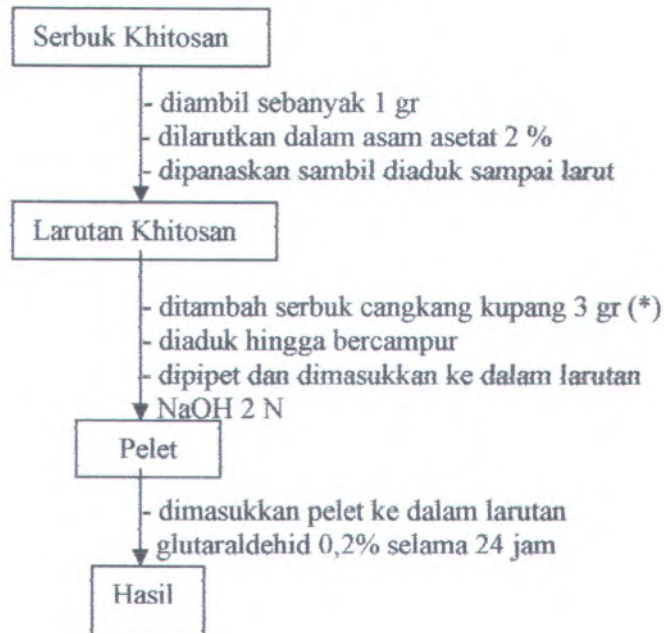
- The Merck Index an Encyclopedia of Chemicals and Drugs. 1976. *Chitin*. 9 th Ed. USA: Merck and Co Int Rahway. Pp. 259
- Tokura S , N Nishi. 1995. *Spesification and Characterization of Chitin ang Chitosan Collection of working Papers*. University Kebangsaan of Malaysia. Malaysia
- Vijayaraghavan, K, et al. 2004. *Removal of Nickel (II) Ions from Aqueous Solution Using Crab Shell Particle in a Packed Bed Up-Flow Coloumn*. Journal of Hazardous Materials B 113. 233-230. John Wiley and Sons. New York
- Vlack Van. 1975. *Elements of Materials Science and Engineers*. Third Edition. Addison- Wesley Publishing Company. Michigan
- Vogel. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. bagian I. PT Kalman Media Pustaka. Jakarta
- Volesky B. 1990. *Biosorption of Heavy Metals*. CRC Press. Boston
- Wan Ngah, W.S., 2002. *Removal Copper (II) ions from aqueous Solution onto Chitosan and Cross-linked Chitosan Beads*. *Reactive and Functional Polymers*. 50, 181-190
- Wikipedia Indonesia. 2007. siput sudu. www.wikipedia.co.id

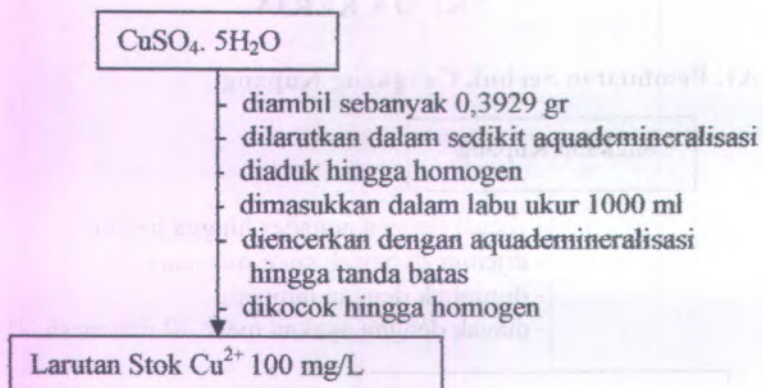
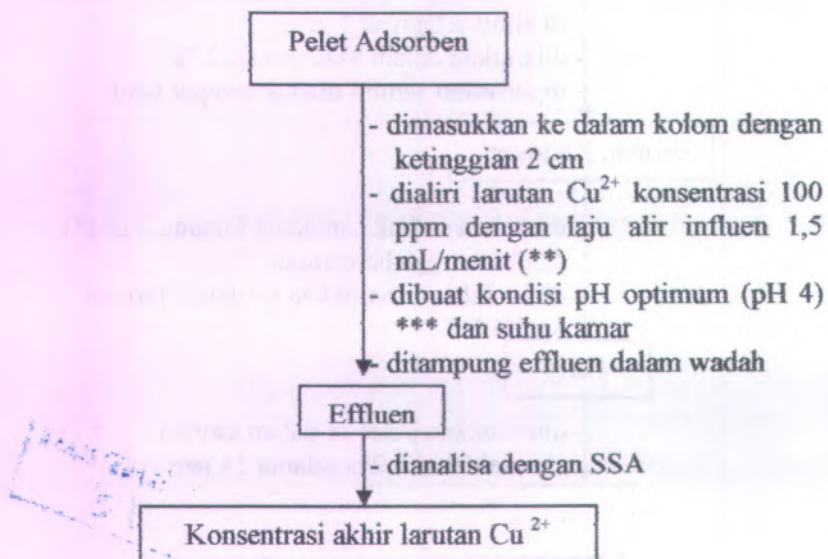
LAMPIRAN A SKEMA KERJA

A1. Pembuatan Serbuk Cangkang Kupang



A2. Pembuatan Pelet Komposit Adsorben



A3. Pembuatan Larutan Stok Cu^{2+} 100 mg/L**A4. Studi Adsorpsi Larutan Cu^{2+} Oleh Adsorben Pelet Komposit Cangkang Kupang- Khitosan Terikat Silang dengan Variasi Laju Alir Influen, Variasi Komposisi Adsorben, dan pH Awal Larutan**

A5. Pembuatan Kurva Kalibrasi

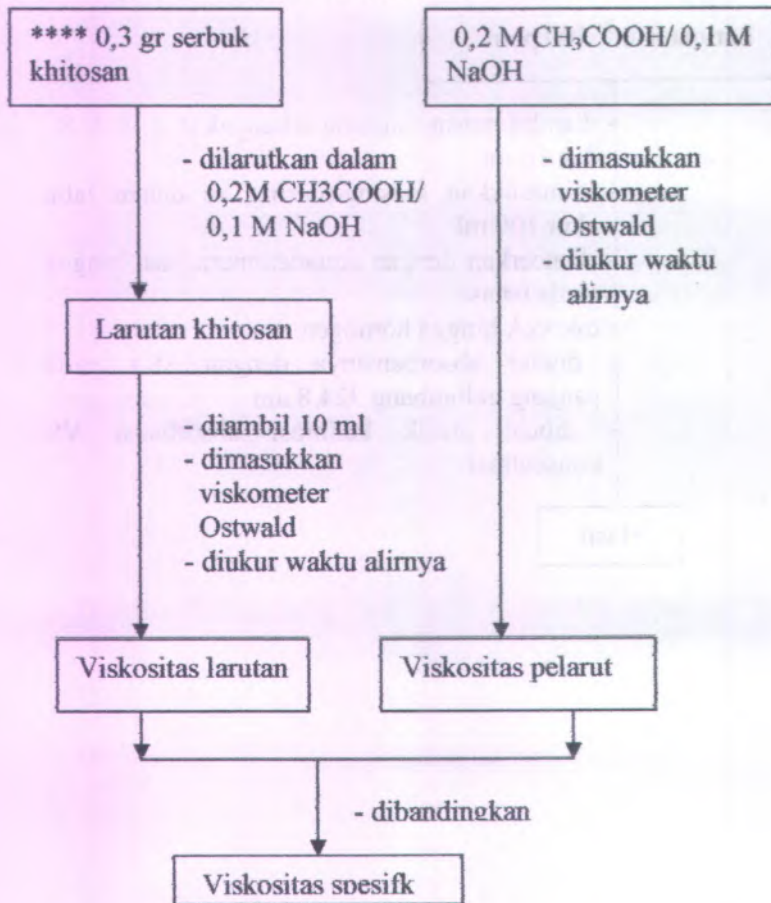
Larutan Cu²⁺ 100 ppm

- diambil masing-masing sebanyak 0; 2; 4; 6; 8 ; dan 10 ml
- dimasukkan masing-masing ke dalam labu ukur 100 ml
- diencerkan dengan aquademineralisasi hingga tanda batas
- dikocok hingga homogen
- diukur absorbansinya dengan SSA pada panjang gelombang 324,8 nm
- dibuat grafik kalibrasi absorbansi VS konsentrasi

Hasil



A6. Penentuan Massa Molekul Relatif Rata-Rata Khitosan



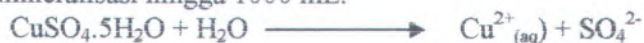
Keterangan:

- * = serbuk cangkang kupang 4 gr dan 5 gr
- ** = laju alir influen 2 mL/menit dan 2,5 mL/menit
- *** = juga dilakukan dengan pH awal larutan Cu^{2+} tanpa diatur
- **** = 0,35; 0,4; 0,45; dan 0,5 gram khitosan

LAMPIRAN B PEMBUATAN LARUTAN

B1. Pembuatan Larutan Stok Tembaga (II) 100 ppm

Larutan tembaga (II) 100 ppm dibuat dengan mengambil 0,3929 gram padatan $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ yang dilarutkan dengan aquademineralisasi hingga 1000 mL.



$$\begin{aligned} \text{ppm Cu}^{2+} &= \frac{\text{Ar Cu}}{\text{Mr CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} \times \frac{\text{mg CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}{\text{Volume pelarut}} \\ \text{ppm Cu}^{2+} &= \frac{63,54 \text{ gr/mol}}{249,68 \text{ gr/mol}} \times \frac{392,95 \text{ mg}}{1 \text{ liter}} \\ \text{ppm Cu}^{2+} &= 100 \text{ ppm} \end{aligned}$$

B2. Pembuatan Larutan Asam Asetat 2%

Larutan asam asetat 2% dibuat dengan mengambil 2 mL larutan asam asetat glasial 17,49 M yang dilarutkan dengan aquademineralisasi hingga 100 mL



$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{volume}}$$

$$\begin{aligned} \text{massa} &= \rho \times \text{Volume} \\ \text{massa} &= 1,05 \times 2 \text{ mL} = 2,1 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= \frac{\text{gr/Mr}}{V} \\ M_2 &= \frac{2,1 / 60,05}{100 \text{ mL}} \\ M_2 &= 0,349 \text{ M} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\
 V_1 \times 17,49 &= 100 \text{ mL} \times 0,349 \\
 V_1 &= 1,999 \text{ mL} = 2 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

B3. Pembuatan Larutan NaOH 2 N

Larutan NaOH 2 N dibuat dengan mengambil 40 gram padatan putih NaOH yang dilarutkan dengan aquademineralisasi hingga 500 mL.



$$\begin{aligned}
 N &= M \times \text{ekivalen} \\
 M &= \frac{N}{\text{Ekiv}} = \frac{2}{1} = 2 \text{ M}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M &= \frac{\text{gr}}{\text{Mr}} \times \frac{1000}{V} \\
 2 &= \frac{\text{gr}}{40} \times \frac{1000}{500 \text{ mL}} \\
 \text{gr} &= \frac{80}{2} = 40 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

B4. Pembuatan Larutan Glutaraldehid 0,2%

Larutan glutaraldehid 0,2% dibuat dengan mengambil 2 mL larutan glutaraldehid 25% yang dilarutkan dengan aquademineralisasi hingga 250 mL.

$$\begin{aligned}
 V_1 \times M_1 &= V_2 \times M_2 \\
 V_1 \times 25\% &= 250 \text{ mL} \times 0,2\% \\
 V_1 &= 2 \text{ mL}
 \end{aligned}$$

LAMPIRAN C

PEMBUATAN KURVA KALIBRASI LARUTAN TEMBAGA (II)

C1. Pembuatan Kurva Kalibrasi

Pembuatan kurva kalibrasi dibuat dari data konsentrasi larutan tembaga (II) versus absorbansi dari larutan tembaga (II). Absorbansi ini diperoleh dari analisa spektroskopi serapan atom (SSA).

Tabel C1. Nilai absorbansi untuk kurva kalibrasi

Konsentrasi Larutan Cu ²⁺ (ppm)	Absorbansi
0	0
2	0,1333
4	0,2674
6	0,4106
8	0,5340
10	0,6676

Dari data di atas dibuat persamaan garis linier dengan variabel x adalah konsentrasi dan variabel y adalah absorbansi.

Persamaan regresi linier pada umumnya adalah:

$$y = a + bx$$

Dari persamaan tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$b = \frac{\sum \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x}$$

berdasarkan tabel C1. dapat ditentukan persamaan regresi sebagai berikut:

Tabel C.2 Tabel perhitungan persamaan regresi

x_i	y_i	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$
0	0	-5	-0,3355	25	0,11256	1,6775
2	0,1333	-3	-0,2022	9	0,04088	0,6066
4	0,2674	-1	-0,0676	1	0,00457	0,0676
6	0,4106	1	0,0751	1	0,00564	0,0751
8	0,534	3	0,1985	9	0,03940	0,5955
10	0,6676	5	0,3321	25	0,11029	1,6605

Dimana: $\sum x_i = 30$

$$\bar{x} = 5$$

$$\sum y_i = 2,0129$$

$$\bar{y} = 0,3355$$

$$\sum x_i - \bar{x} = 0$$

$$\sum y_i - \bar{y} = 4,10^4$$

$$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 70$$

$$\sum (y_i - \bar{y})^2 = 0,31334$$

$$\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = 4,6828$$

maka:

$$b = \frac{\sum \{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})\}}{\sum (x_i - \bar{x})}$$

$$b = \frac{4,6828}{70} = 0,066897$$

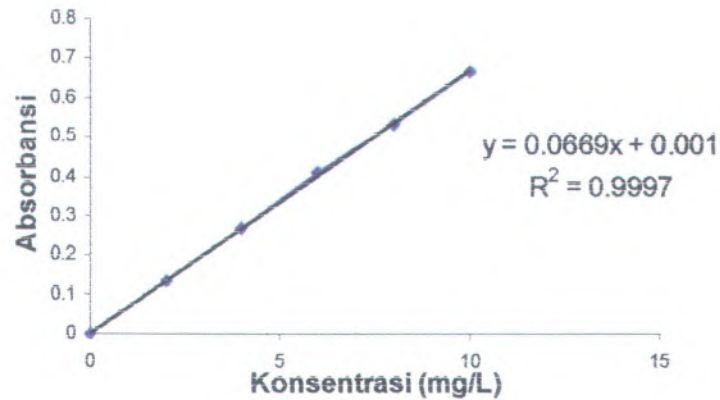
$$70$$

$$a = y - bx$$

$$a = 0,3355 - (0,066897 \times 5)$$

$$a = 0,3355 - 0,334485 = 0,00101$$

Jadi persamaan regresi yang diperoleh adalah $y = 0,06897x + 0,00101$



Gambar C1. Kurva kalibrasi untuk larutan tembaga (II)

Dari perhitungan secara langsung dari microsoft exceel diperoleh r^2 sebesar 0,9997. Nilai r^2 ini menunjukkan bahwa nilai korelasi layak

C2. Perhitungan Uji t Terhadap Kurva Kalibrasi Larutan Standar Tembaga (II)

Untuk mengetahui berarti atau tidaknya koefisien korelasi dari regresi linier di atas, sehingga digunakan uji keberartian (uji t) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Derajat kebebasan} = n - 2$$

$$\text{Derajat kebebasan} = 6 - 2 = 4$$

$$t_{\text{hit}} = \frac{|r| \sqrt{n - 1}}{\sqrt{1 - r^2}}$$

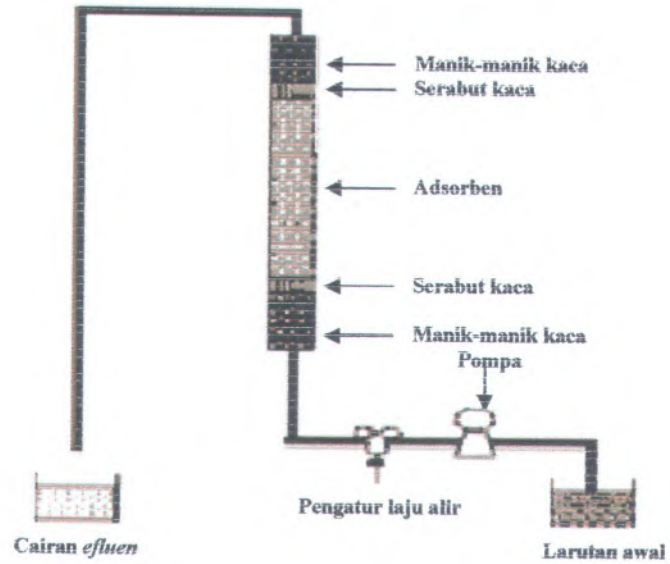
$$t_{\text{hit}} = \frac{|0,99985|}{\sqrt{4}}$$

$$t_{\text{hit}} = \frac{\sqrt{1 - 0,9997}}{0,01732} = 115,456$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa nilai t_{hit} adalah 115,456 sedangkan nilai t_{tabel} adalah 2,78 dengan selang kepercayaan 95% dan derajat kebebasan 4. Karena $t_{\text{tabel}} < t_{\text{hit}}$ maka H_0 ditolak sehingga dapat disimpulkan bahwa ada korelasi yang linier antara konsentrasi larutan standar tembaga (II).

LAMPIRAN D SISTEM FIXED BED COLUMN

Sistem fixed bed column ini terdiri dari peralatan seperti di bawah ini:



"Halaman ini sengaja dikosongkan"

716 34076 18 03213 1751-02

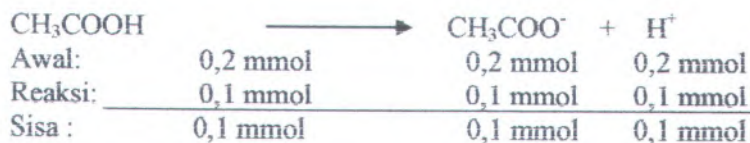
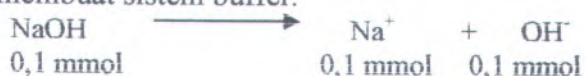
Halaman ini sengaja dikosongkan.

Halaman ini sengaja dikosongkan.



LAMPIRAN E PERHITUNGAN VISKOSITAS KHITOSAN

Pembuatan larutan 0,2 M CH₃COOH/0,1 M NaOH untuk membuat sistem buffer.



1000 mL 0,2 M CH₃COOH dan 1000 mL 0,1 M NaOH, oleh karena itu dibuat terlebih dulu keadaan larutan tersebut. Berdasarkan data kemurnian CH₃COOH 100%, massa jenis (1 L = 1,05 Kg) dan massa molekul relatif 60 g/mol, dapat ditentukan ρ larutan tiap g/mol dengan perhitungan:

$$\begin{aligned} 1000 \text{ mL} \times 0,2 \text{ M} &= 200 \text{ mmol} \\ &= 0,2 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa CH}_3\text{COOH yang dibutuhkan} &= 0,2 \text{ mol} \times 60 \text{ gram/mol} \\ &= 12 \text{ gram} \end{aligned}$$

Maka volume CH₃COOH yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} V &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{12 \text{ gram}}{1,05 \text{ gram/mol}} \end{aligned}$$

$$= 12,5 \text{ mL}$$

Pembuatan 1000 mL 0,1 M NaOH dilarutkan dengan melarutkan padatan NaOH murni dengan akuades dalam labu ukur 1000 mL sampai tanda batas. Banyak NaOH yang diperlukan adalah

$$\begin{aligned} 1000 \text{ mL} \times 0,1 \text{ M} &= 100 \text{ mmol} \\ &= 0,1 \text{ mol} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa NaOH} &= 0,1 \text{ mol} \times 40 \text{ gram/mol} \\ &= 4 \text{ gram} \end{aligned}$$

Pengukuran waktu alir pelarut khitosan yaitu larutan 0,2 M CH_3COOH / 0,1 M NaOH

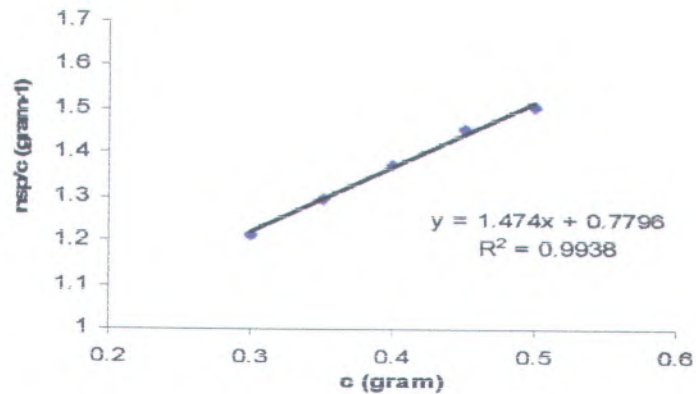
$$t_0 = 11,7 ; 11,8 ; 11,7 ; 11,7 \text{ detik}$$

$$\bar{t}_0 = 11,725 \text{ detik}$$

Tabel E1. Viskositas Tereduksi Khitosan

Konsentrasi (g/dL)	t (detik)	\bar{t} (detik)	$\frac{\bar{t}}{t_0} - 1 = \mu_{sp}$	η_{sp} / C
0,3	15,8; 16; 16; 16,2	16	0,364605	1,215
0,35	16,9; 17,2; 17,1; 17	17,05	0,454157	1,297
0,4	18; 18,4; 18,1; 18,2	18,175	0,550106	1,375
0,45	19,6; 19,4; 19,4; 19,2	19,4	0,654584	1,454
0,5	20,6; 20,5; 20,4; 20,7	20,55	0,752665	1,505

Nilai $[\eta]$ merupakan intersep dari kurva η_{sp}/C (viskositas tereduksi) terhadap C.



Gambar E1. Grafik η_{sp}/C Vs C

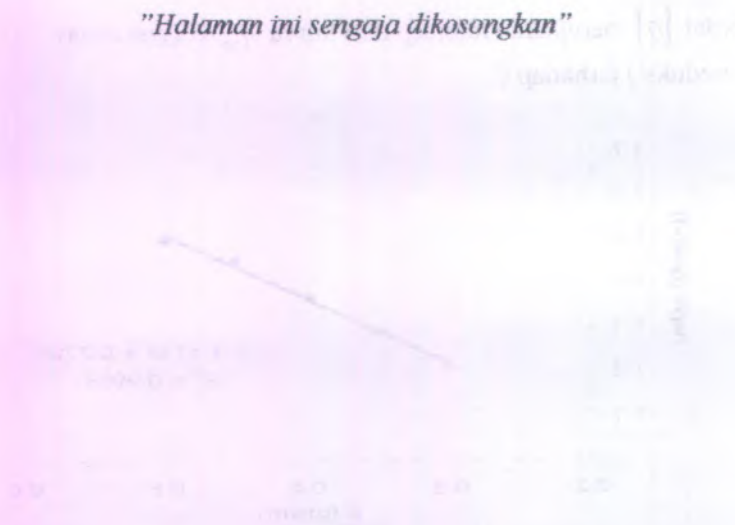
Hubungan viskositas dengan massa molekul relatif rata-rata khitosan dinyatakan oleh persamaan MHS (Mark-Houwink-Sakurada)

$$[\eta] = k \cdot M_v^\alpha$$

Dimana, k sebesar $1,424 \times 10^{-3}$ dan α sebesar 0,96
Maka nilai massa molekul relatif rata-rata viskositas khitosan, M_v , adalah :

$$\begin{aligned} M_v &= \left[\frac{0,779}{1,24 \times 10^{-3}} \right]^{1/0,96} \\ &= 821,682 \text{ gram/mol} \end{aligned}$$

"Halaman ini sengaja dikosongkan"



"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

"Halaman ini sengaja dikosongkan"

LAMPIRAN F
PERHITUNGAN KAPASITAS ADSORPSI, TETAPAN
LAJU THOMAS, VOLUME BREAKTHROUGH, DAN
WAKTU BREAKTHROUGH

F1. Kapasitas Adsorpsi Adsorben Dengan fraksi Berat
Serbuk Cangkang Kupang 93,75%

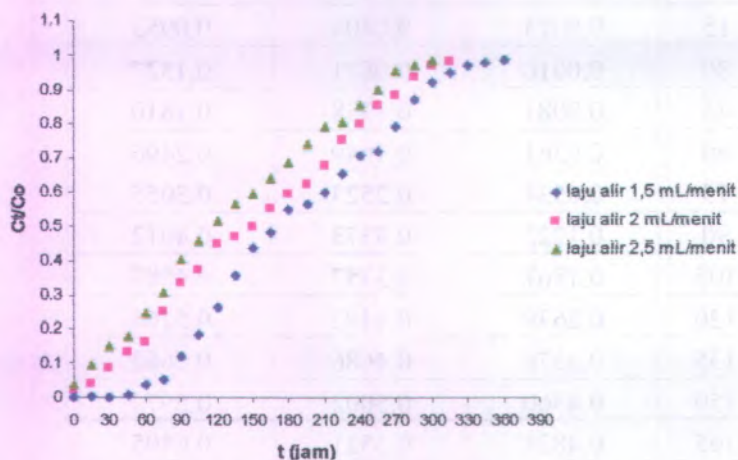
Tabel di bawah ini merupakan hasil adsorpsi pada adsorben dengan perbandingan komposisi dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%

Tabel F.1 Tabel Ct/Co pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir influen 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

t (jam)	Ct/Co 1,5 ml/menit	Ct/Co 2ml/menit	Ct/Co 2,5 ml/menit
0	0,0003	0,0195	0,0374
15	0,0024	0,0404	0,0953
30	0,0016	0,0871	0,1527
45	0,0081	0,1338	0,1810
60	0,0361	0,1649	0,2496
75	0,0534	0,2523	0,3055
90	0,1222	0,3373	0,4012
105	0,1867	0,3757	0,4587
120	0,2639	0,4492	0,5164
135	0,3576	0,4686	0,5662
150	0,4360	0,5002	0,5972
165	0,4824	0,5521	0,6405
180	0,5485	0,5978	0,6891
195	0,5683	0,6264	0,7426
210	0,6011	0,6813	0,7917

225	0,6550	0,7561	0,8078
240	0,7087	0,8007	0,8565
255	0,7234	0,8563	0,9014
270	0,7927	0,8878	0,9573
285	0,8745	0,9414	0,9746
300	0,9230	0,9761	0,9852
315	0,9519	0,9886	
330	0,9756		
345	0,9837		
360	0,9893		

Dari tabel di F.1 maka dapat dialurkan grafik antara waktu (jam) sebagai sumbu X dan C_t/C_o sebagai sumbu Y sebagai berikut:



Gambar F.1 Grafik C_t/C_o pada dengan laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%

Dari hasil adsorpsi di atas maka dapat diketahui konstanta adsorpsi dan kapasitas adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% pada masing-masing kecepatan laju alirnya dengan menggunakan model perhitungan Thomas. Kapasitas dan konstanta adsorpsi ini dapat diperoleh dari persamaan regresi linier dari hasil $\ln(C_0/C_t-1)$ VS waktu (jam).

❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 1,5 mL/menit

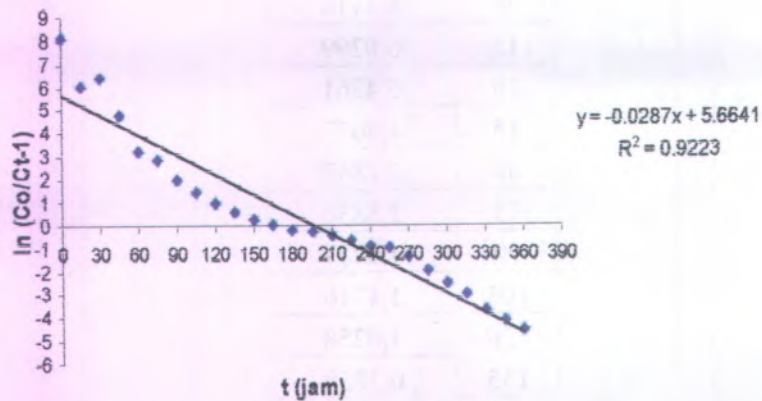
Berikut ini adalah tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 1,5 mL/menit:

Tabel F.2 Tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 1,5 mL/menit

t(jam)	$\ln(C_0/C_t-1)$ 1,5 ml/menit
0	8,1114
15	6,0299
30	6,4361
45	4,8077
60	3,2847
75	2,8830
90	1,9717
105	1,4716
120	1,0258
135	0,5858
150	0,2574
165	0,0704
180	-0,1946
195	-0,2749
210	-0,4101

225	-0,6411
240	-0,8891
255	-0,9614
270	-1,3413
285	-1,9413
300	-2,4838
315	-2,9852
330	-3,6885
345	-4,1001
360	-4,5267

Berdasarkan tabel F.2, maka dapat dibuat grafik antara $\ln (C_0/C_t-1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X



Gambar F.2 Grafik $\ln (C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 1,5 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,0287x + 5,6641$
 $r^2 = 0,9223$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln \left(\frac{C_0}{C_t} - 1 \right) = \frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_0 \cdot t$$

Q

$$K_T \cdot C_0 = 0,0287$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,0287$$

$$K_T = 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$\frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} = 5,6641$$

$$Q(\text{L/jam})$$

$$\frac{2,87 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times q_0 \times 2,7627 \text{ gr}}{0,09 \text{ L/jam}} = 5,6641$$

$$0,09 \text{ L/jam}$$

$$7,928949 \cdot 10^{-4} \text{ L} \cdot \text{gr/mg} \cdot \text{jam} \times q_0 = 0,509769 \text{ L/jam}$$

$$q_0 = 642,9213 \text{ mg/gr}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln \left(\frac{C_0}{C_t} - 1 \right) = \frac{K_t \times q_0 \times W}{Q} - K_t \times C_0 \times t$$

$$\ln(10 - 1) = \frac{2,87 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times 642,9213 \text{ mg/gr} \times 2,7627 \text{ gr}}{0,09 \text{ L/jam}} - 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 5,6641 \text{ jam} - 0,0287 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 120,7979 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q =$$

$$V_B = 120,7979 \text{ jam} \times 0,09 \text{ L/jam} = 10,8718 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_o$$

$$C_t/C_o = 0,99$$

$$C_o/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_o/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_o \times W}{Q} - Kt \times C_o \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{2,87 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 642,9213 \text{ mg/gr} \times 2,7627 \text{ gr}}{0,09 \text{ L/jam}} - 2,87 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 5,6641 \text{ jam} - 0,0287 \text{ jam} \times t$$

$$t_E = 357,4669 \text{ jam}$$

❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 2 mL/menit

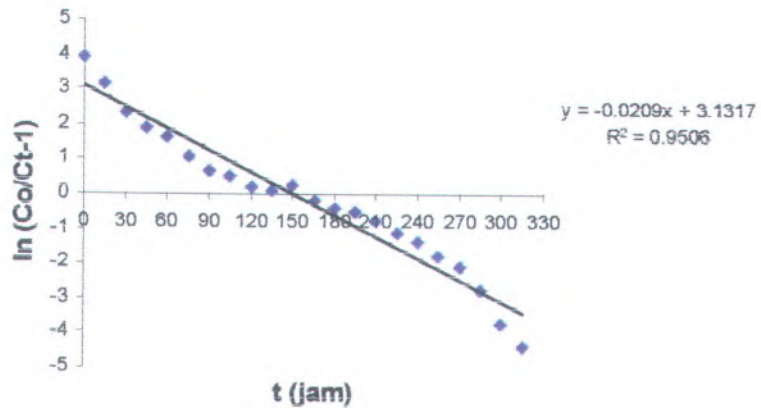
Berikut ini adalah tabel $\ln(C_o/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 2 mL/menit:

Tabel F.3 Tabel $\ln(C_o/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 2 mL/menit

t (jam)	$\ln(C_o/C_t-1)$ 2 ml/menit
0	3,9176
15	3,1677
30	2,3496
45	1,8678
60	1,6222
75	1,0864
90	0,6753
105	0,5078
120	0,2039
135	0,1258
150	0,2574

165	-0,2092
180	-0,3963
195	-0,5168
210	-0,7597
225	-1,1314
240	-1,3907
255	-1,7849
270	-2,0685
285	-2,7766
300	-3,7097
315	-4,4108

Berdasarkan tabel F.3, maka dapat dibuat grafik antara $\ln (C_0/C_t-1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X



Gambar F.3 Grafik $\ln (C_0/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 2 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,0209x + 3,1317$
 $r^2 = 0,9506$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln (C_0/C_t - 1) = \frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_0 \cdot t$$

$$K_T \cdot C_0 = 0,0209$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,0209$$

$$K_T = 2,09 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$\frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} = 3,1317$$

$$Q(\text{L/jam})$$

$$\frac{2,09 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times q_0 \times 2,76265 \text{ gr}}{0,12 \text{ L/jam}} = 3,1317$$

$$0,12 \text{ L/jam}$$

$$5,781985 \cdot 10^{-4} \text{ L.gr/mg.jam} \times q_0 = 0,375804 \text{ L/jam}$$

$$q_0 = 649,9567 \text{ mg/gr}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln (C_0/C_t - 1) = \frac{K_t \times q_0 \times W}{Q} - K_t \times C_0 \times t$$

$$\ln (10 - 1) = \frac{2,09 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 649,9567 \text{ mg/gr} \times 2,7665 \text{ gr}}{0,12 \text{ L/jam}}$$

$$2,1972 = 3,1317 \text{ jam} - 0,0209 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 44,7129 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q =$$

$$V_B = 44,7129 \text{ jam} \times 0,12 \text{ L/jam} = 5,3655 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_o$$

$$C_t/C_o = 0,99$$

$$C_o/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_o/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_o \times W}{Q} - Kt \times C_o \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{2,09 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 649,9567 \text{ mg/gr} \times 2,7665 \text{ gr}}{0,12 \text{ L/jam}}$$

$$- 2,09 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 3,1317 \text{ jam} - 0,0209 \text{ jam} \times t$$

$$t_E = 369,7081 \text{ jam}$$

❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 2,5 mL/menit

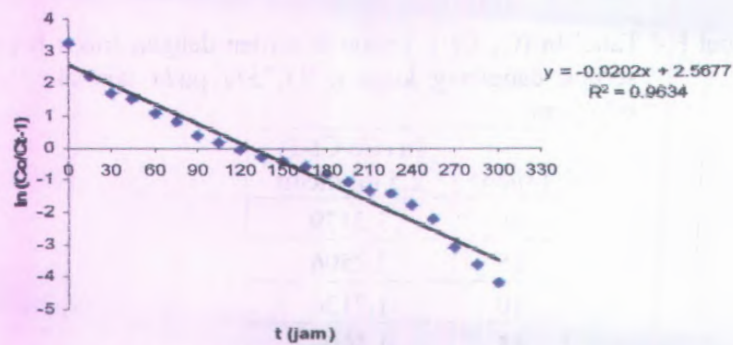
Berikut ini adalah tabel $\ln(C_o/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% dengan laju alir 2,5 mL/menit:

Tabel F.4 Tabel $\ln(C_o/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% pada laju alir 2,5 mL/menit

t (jam)	$\ln(C_o/C_t-1)$ 2,5 ml/menit
0	3,2479
15	2,2506
30	1,7136
45	1,5096
60	1,1007
75	0,8212
90	0,4005
105	0,1656

120	-0,0656
135	-0,2664
150	-0,3938
165	-0,5775
180	-0,7959
195	-1,0595
210	-1,3352
225	-1,4358
240	-1,7865
255	-2,2129
270	-3,1099
285	-3,6473
300	-4,1982

Berdasarkan tabel F.4, maka dapat dibuat grafik antara $\ln(C_0/C_t-1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X



Gambar F.4 Grafik $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% pada laju alir 2,5 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,0202x + 2,5677$
 $r^2 = 0,9634$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln (C_0/C_t - 1) = \frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_0 \cdot t$$

Q

$$K_T \cdot C_0 = 0,0202$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,0202$$

$$K_T = 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$\frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} = 2,5677$$

$$Q(\text{L/jam})$$

$$\frac{2,02 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times q_0 \times 2,7647 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}} = 2,5677$$

$$0,15 \text{ L/jam}$$

$$5,584694 \cdot 10^{-4} \text{ L} \cdot \text{gr/mg} \cdot \text{jam} \times q_0 = 0,385155 \text{ L/jam}$$

$$q_0 = 689,6618 \text{ mg/gr}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln (C_0/C_t - 1) = \frac{K_t \times q_0 \times W}{Q} - K_t \times C_0 \times t$$

$$\ln (10 - 1) = \frac{2,02 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times 689,6618 \text{ mg/gr} \times 2,7647 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}} - 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 2,5677 \text{ jam} - 0,0202 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 18,3416 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q$$

$$V_B = 18,3416 \text{ jam} \times 0,15 \text{ L/jam} = 2,7512 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_o$$

$$C_t/C_o = 0,99$$

$$C_o/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_o/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_o \times W}{Q} - Kt \times C_o \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{2,02 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 689,6618 \text{ mg/gr} \times 2,7647 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}}$$

$$- 2,02 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 2,5677 \text{ jam} - 0,0202 \text{ jam} \times t$$

$$t_E = 354,5990 \text{ jam}$$

❖ Perhitungan C_t/C_o Hitung

Berdasarkan persamaan regresi dari masing-masing komposisi adsorben maka dapat diperoleh C_t/C_o hitung berdasarkan model Thomas yang digunakan sebagai garis smooth line:

- Adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% pada laju alir 1,5 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,0287x + 5,6641$

$$r^2 = 0,9223$$

$$y = -0,0287x + 5,6641$$

$$y = -0,0287(0) + 5,6641$$

$$y = 5,6641$$

$$\ln(C_o/C_t - 1) = 5,6641$$

$$C_o/C_t = 289,3284$$

$$C_t/C_o = \frac{100}{289,3284} = 0,0035$$

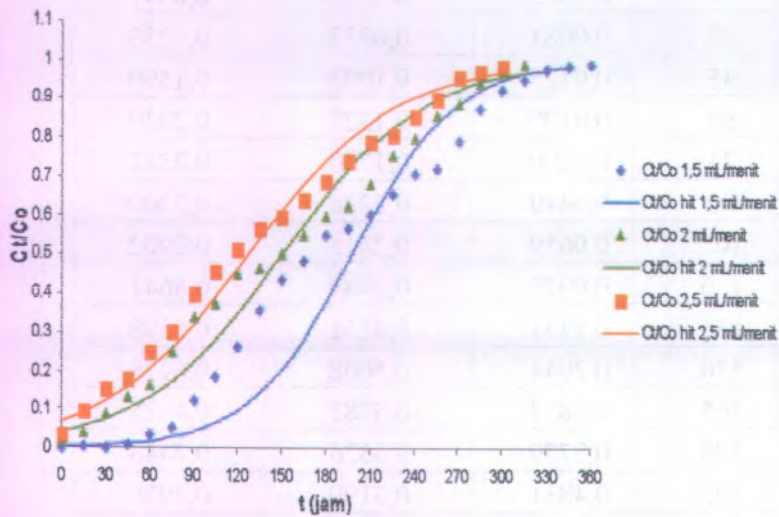
Dengan menggunakan cara yang sama maka dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel F.5 Tabel C_t/C_o hitung pada adsorben dengan laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

t (jam)	C_t/C_o hitung 1,5 mL/menit	C_t/C_o hitung 2 mL/menit	C_t/C_o hitung 2,5 mL/menit
0	0,0035	0,0418	0,0712
15	0,0053	0,0563	0,0941
30	0,0081	0,0755	0,1233
45	0,0125	0,1005	0,1599
60	0,0190	0,1327	0,2049
75	0,0290	0,1730	0,2587
90	0,0440	0,2226	0,3209
105	0,0659	0,2815	0,3902
120	0,0979	0,3489	0,4641
135	0,1431	0,4231	0,5398
150	0,2044	0,5008	0,6136
165	0,2832	0,5785	0,6825
180	0,3779	0,6526	0,7443
195	0,4831	0,7199	0,7976
210	0,5897	0,7786	0,8422
225	0,6886	0,8279	0,8784
240	0,7727	0,8681	0,9072
255	0,8395	0,9001	0,9298
270	0,8894	0,9249	0,9471
285	0,9252	0,9440	0,9604
300	0,9500	0,9584	0,9705
315	0,9669	0,9693	
330	0,9783		

345	0,9858		
360	0,9907		

Berdasarkan data di tabel F.5 maka dapat diperoleh grafik C_t/C_o sebagai sumbu Y dan waktu (jam) sebagai sumbu X dengan adanya smooth line sebagai C_t/C_o_{hitung} adalah sebagai berikut:



Gambar F.5 Perbandingan kurva "breakthrough" hasil "fitting" dengan model Thomas dan kurva "breakthrough" dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/ menit pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%

F.2 Kapasitas Adsorpsi Adsorben Dengan Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 95,24%

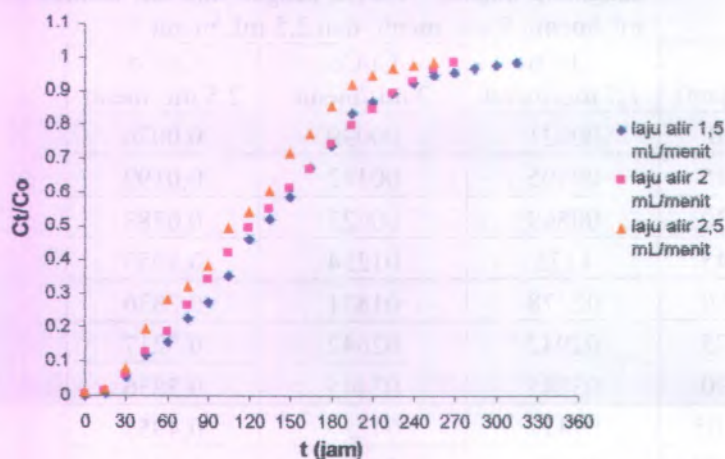
Tabel di bawah ini merupakan hasil adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%

Tabel F.6 Tabel Ct/Co pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% dengan laju alir influen 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

t (jam)	Ct/Co 1,5 mL/menit	Ct/Co 2 mL/menit	Ct/Co 2,5 mL/menit
0	00021	00039	0,0076
15	00105	00112	0,0192
30	00569	00623	0,0783
45	1175	01254	0,1953
60	02178	01871	0,2836
75	02942	02642	0,3217
90	03745	03445	0,3836
105	04417	04236	0,4952
120	05024	04976	0,5416
135	06721	05521	0,6024
150	07361	06147	0,7158
165	07754	06679	0,7746
180	08007	07428	0,8569
195	0.8353	08019	0,9234
210	08674	08467	0,9477
225	08967	08973	0,9717
240	0925	09322	0,9803
255	09468	09657	0,9885
270	09548	09887	
285	09716		

300	09798		
315	09856		

Dari tabel F.6 maka dapat dialurkan grafik antara waktu (jam) sebagai sumbu X dan C_t/C_o sebagai sumbu Y sebagai berikut:



Gambar F.6 Grafik C_t/C_o pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

Dari hasil adsorpsi di atas maka dapat diketahui konstanta adsorpsi dan kapasitas adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% menggunakan model perhitungan Thomas. Kapasitas dan konstanta adsorpsi ini dapat diperoleh dari persamaan regresi linier dari hasil $\ln(C_o/C_t - 1)$ VS waktu (jam).

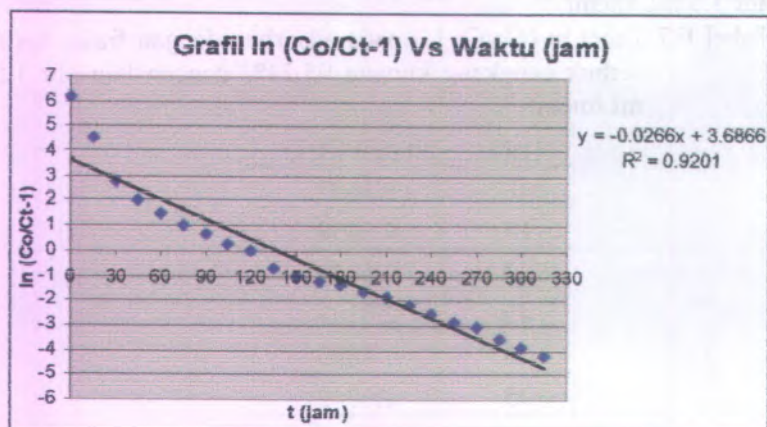
❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 1,5 mL/menit

Berikut ini adalah tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 1,5 mL/menit:

Tabel F.7 Tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% dengan laju alir 1,5 mL/menit

t (jam)	$\ln(C_0/C_t-1)$
0	6,1637
15	4,5458
30	2,8079
45	2,0163
60	1,4689
75	1,0242
90	0,6433
105	0,2343
120	-00096
135	-0,7177
150	-1,0258
165	-1,2391
180	-1,3907
195	-1,6237
210	-1,8782
225	-2,1611
240	-2,5123
255	-2,8790
270	-3,0504
285	-3,5325
300	-3,8817
315	-4,2260

Berdasarkan tabel F.7, maka dapat dibuat grafik antara $\ln (C_0/C_t - 1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X



Gambar F.7 Grafik $\ln (C_0/C_t - 1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 1,5 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,0266x + 3,6866$
 $r^2 = 0,9201$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln (C_0/C_t - 1) = \frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_0 \cdot t$$

$$K_T \cdot C_0 = 0,0266$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,0266$$

$$K_T = 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$K_T \cdot Q_0 \cdot W = 3,6866$$

$$\frac{Q(L/\text{jam})}{Q}$$

$$\underline{2,66 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times q_0 \times 2,7639 \text{ gr}} = 3,6866$$

$$0,12 \text{ L/jam}$$

$$7,351974 \cdot 10^{-4} \text{ L.gr/mg.jam} \times q_0 = 0,331794 \text{ L/jam}$$

$$q_0 = 451,2992 \text{ mg/gr}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(10 - 1) = \frac{2,66 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 451,2992 \text{ mg/gr} \times 2,7639 \text{ gr}}{0,09 \text{ L/jam}}$$

$$- 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 3,6866 \text{ jam} - 0,0266 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 55,9925 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q =$$

$$V_B = 55,9925 \text{ jam} \times 0,09 \text{ L/jam} = 5,0393 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,99$$

$$C_0/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{2,66 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 451,2992 \text{ mg/gr} \times 2,7639 \text{ gr}}{0,09 \text{ L/jam}}$$

$$- 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 3,6866 \text{ jam} - 0,0266 \text{ jam} \times t$$

$$t_E = 311,3459 \text{ jam}$$

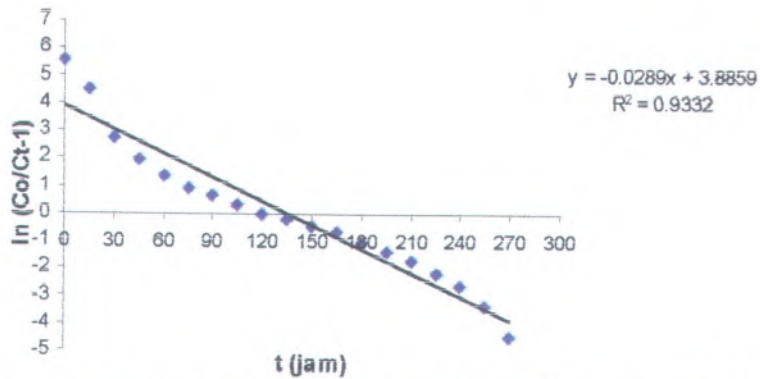
❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 2 mL/menit

Berikut ini adalah tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2 mL/menit:

Tabel F.8 Tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2 mL/menit

t (jam)	$\ln(C_0/C_t-1)$
0	5,5429
15	4,4806
30	2,7115
45	1,9422
60	1,3701
75	0,9095
90	0,6371
105	0,3080
120	0,0096
135	-0,2091
150	-0,4671
165	-0,6987
180	-1,0606
195	-1,3982
210	-1,7089
225	-2,1676
240	-2,6209
255	-3,3377
270	-4,4716

Berdasarkan tabel F.8, maka dapat dibuat grafik antara $\ln(C_0/C_t - 1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X



Gambar F.8 Grafik $\ln(C_0/C_t - 1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,0289x + 3,8859$
 $r^2 = 0,9332$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln(C_0/C_t - 1) = \frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_0 \cdot t$$

$$K_T \cdot C_0 = 0,0289$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,0289$$

$$K_T = 2,89 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$\frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} = 3,8859$$

$$Q(\text{L/jam})$$

$$\frac{2,89 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times q_0 \times 2,7625 \text{ gr}}{0,12 \text{ L/jam}} = 3,8859$$

$$0,12 \text{ L/jam}$$

$$7,983625 \cdot 10^{-4} \text{ L.gr/mg.jam} \times q_0 = 0,466308 \text{ L/jam}$$

$$q_0 = 584,0805 \text{ mg/g}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(10 - 1) = \frac{2,89 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times 584,0805 \text{ mg/gr} \times 2,7625 \text{ gr}}{0,012 \text{ L/jam}}$$

$$- 2,89 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 3,8859 \text{ jam} - 0,0289 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 58,4325 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q$$

$$V_B = 58,4325 \text{ jam} \times 0,12 \text{ L/jam} = 7,0119 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,99$$

$$C_0/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{2,89 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times 584,0805 \text{ mg/gr} \times 2,7625 \text{ gr}}{0,12 \text{ L/jam}}$$

$$- 2,89 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 3,8859 \text{ jam} - 0,0289 \text{ jam} \times t$$

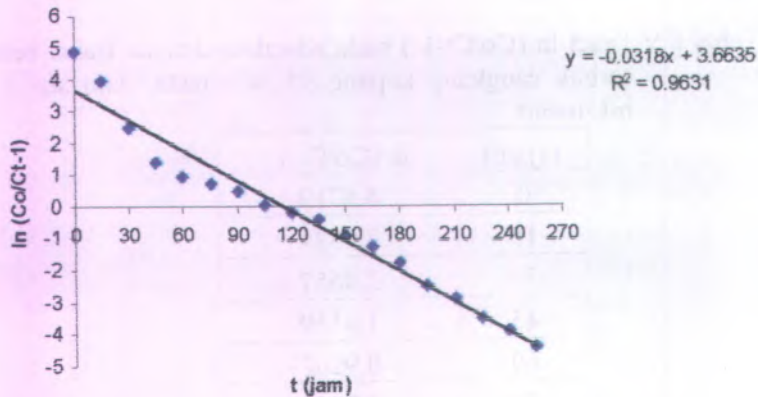
$$t_E = 293,4637 \text{ jam}$$

❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 2,5 mL/menit
Berikut ini adalah tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2,5 mL/menit:

Tabel F.9 Tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2,5 mL/menit

t (jam)	$\ln(C_0/C_t-1)$
0	4,8719
15	3,9334
30	2,4657
45	1,4159
60	0,9267
75	0,7459
90	0,4743
105	0,0192
120	-0,1668
135	-0,4155
150	-0,9237
165	-2,3450
180	-1,7898
195	-2,4895
210	-2,8970
225	-3,5362
240	-3,9072
255	-4,4538

Berdasarkan tabel F.9, maka dapat dibuat grafik antara $\ln (C_0/C_t - 1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X



Gambar F.9 Grafik $\ln (C_0/C_t - 1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 2,5 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,0318x + 3,6635$
 $r^2 = 0,9631$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln (C_0/C_t - 1) = \frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_0 \cdot t$$

$$K_T \cdot C_0 = 0,0318$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,0318$$

$$K_T = 3,18 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$\frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} = 3,6635$$

$$Q(\text{L/jam})$$

$$\frac{3,18 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times q_0 \times 2,7668 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}} = 3,6635$$

$$8,798424 \cdot 10^{-4} \text{ L.gr/mg.jam} \times q_0 = 0,549525 \text{ L/jam}$$

$$q_0 = 624,5721 \text{ mg}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(10 - 1) = \frac{3,18 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 624,5721 \text{ mg/gr} \times 2,7668 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}}$$

$$- 3,18 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 3,6635 \text{ jam} - 0,0318 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 46,1101 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q =$$

$$V_B = 46,1101 \text{ jam} \times 0,15 \text{ L/jam} = 6,9165 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,99$$

$$C_0/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{3,18 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 624,5721 \text{ mg/gr} \times 2,7668 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}}$$

$$- 3,18 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 3,6635 \text{ jam} - 0,0318 \text{ jam} \times t$$

$$t_E = 259,7075 \text{ jam}$$

❖ Pembuatan Garis Smooth Line Pada Kurva Ct/Co VS Waktu (jam)

Berdasarkan persamaan regresi dari masing-masing komposisi adsorben maka dapat diperoleh Ct/Co_{hitung} berdasarkan model Thomas yang digunakan sebagai garis smooth line:

- Adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 1,5 mL/menit

$$\text{Persamaan regresinya: } y = -0,0266x + 3,6866$$

$$r^2 = 0,9201$$

$$y = -0,0266x + 3,6866$$

$$y = -0,0266(0) + 3,6866$$

$$y = 3,6888$$

$$\ln (Co/Ct - 1) = 3,6866$$

$$Co/Ct = 40,9089$$

$$Ct/Co = \frac{100}{40,9089} = 0,0244$$

100

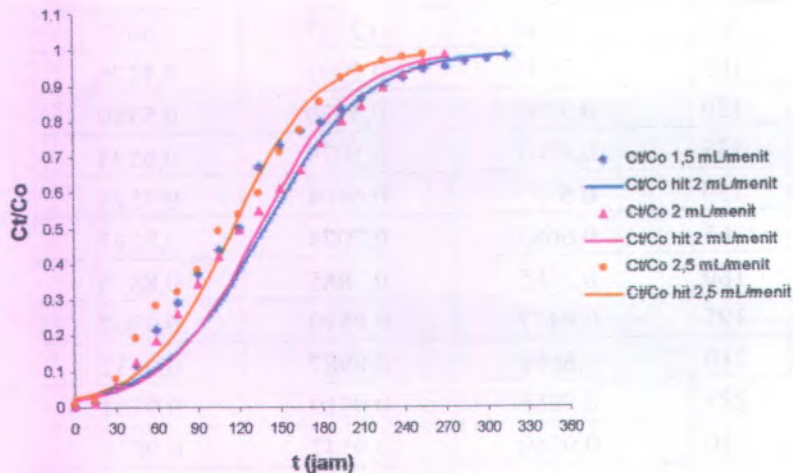
Dengan menggunakan cara yang sama maka dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel F.10 Tabel Ct/Co_{hitung} pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

t (jam)	Ct/Co _{hitung} 1,5 mL/menit	Ct/Co _{hitung} 2 mL/menit	Ct/Co _{hitung} 2,5 mL/menit
0	0,0244	0,0201	0,0250
15	0,0360	0,0307	0,0397
30	0,0527	0,0466	0,0624
45	0,0766	0,0701	0,0969
60	0,1100	0,1042	0,1474
75	0,1556	0,1521	0,2178

90	0,2154	0,2167	0,3097
105	0,2904	0,2991	0,4196
120	0,3788	0,3970	0,5380
135	0,4761	0,5039	0,6524
150	0,5753	0,6104	0,7515
165	0,6687	0,7074	0,8297
180	0,7505	0,7885	0,8870
195	0,8177	0,8519	0,9267
210	0,8698	0,8987	0,9532
225	0,9088	0,9319	0,9704
240	0,9369	0,9547	0,9815
255	0,9568	0,9702	0,9884
270	0,9706	0,9805	
285	0,9800		
300	0,9865		
315	0,9909		

Berdasarkan data tabel F.10 maka dapat diperoleh grafik Ct/Co sebagai sumbu Y dan waktu (jam) sebagai sumbu X dengan adanya smooth line sebagai Ct/Co_{hitung} adalah sebagai berikut:



Gambar F.10 Perbandingan kurva "breakthrough" hasil "fitting" dengan model Thomas dan kurva "breakthrough" dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/ menit pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%

F3. Kapasitas Adsorpsi Adsorben Dengan Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 96,15%

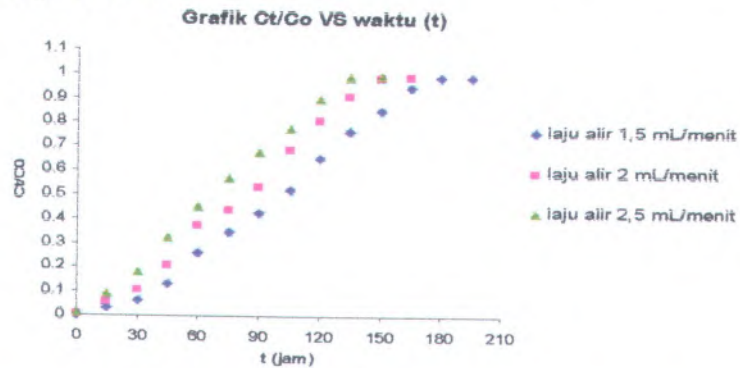
Tabel di bawah ini merupakan hasil adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%

Tabel F.11 Tabel Ct/Co pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir influen 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

t (jam)	Ct/Co 1,5 ml/menit	Ct/Co 2ml/menit	Ct/Co 2,5 ml/menit
0	0,0008	0,0052	0,0097
15	0,0312	0,0544	0,0927
30	0,0661	0,1037	0,1813

45	0,1334	0,2081	0,3245
60	0,2586	0,3711	0,4533
75	0,3442	0,4353	0,5684
90	0,4273	0,5296	0,6756
105	0,5197	0,6874	0,7782
120	0,6526	0,8068	0,9000
135	0,7645	0,9089	0,9859
150	0,8482	0,9823	0,9931
165	0,9434	0,9895	
180	0,9867		
195	0,9902		

Dari tabel di F.11 maka dapat dialurkan grafik antara waktu (jam) sebagai sumbu X dan C_t/C_o sebagai sumbu Y sebagai berikut:



Gambar F.11 Grafik C_t/C_o pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

Dari hasil adsorpsi di atas maka dapat diketahui konstanta adsorpsi dan kapasitas adsorpsi pada adsorben dengan komposisi dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada masing-masing kecepatan laju alirnya dengan menggunakan model perhitungan Thomas. Kapasitas dan konstanta adsorpsi ini dapat diperoleh dari persamaan regresi linier dari hasil $\ln(C_0/C_t - 1)$ VS waktu (jam).

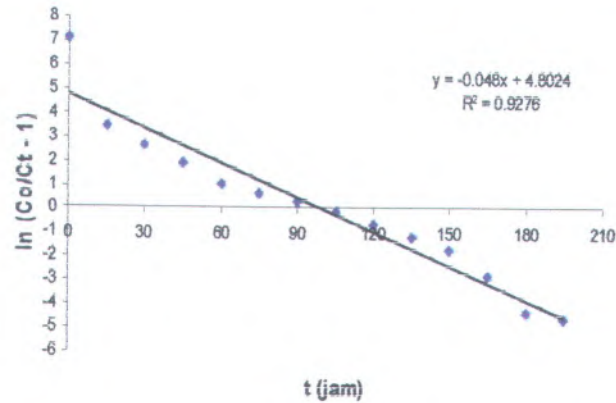
❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 1,5 mL/menit

Berikut ini adalah tabel $\ln(C_0/C_t - 1)$ pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 1,5 mL/menit:

Tabel F.12 Tabel $\ln(C_0/C_t - 1)$ adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2,5 mL/menit

t (jam)	$\ln(C_0/C_t - 1)$ 1,5 ml/menit
0	7,1301
15	3,4356
30	2,6482
45	1,8712
60	1,0532
75	0,6446
90	0,2929
105	-0,0788
120	-0,6305
135	-1,1775
150	-1,7205
165	-2,8135
180	-4,3066
195	-4,6155

Berdasarkan tabel F.12, maka dapat dibuat grafik antara $\ln (C_0/C_t - 1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X



Gambar F.12 Grafik $\ln (C_0/C_t - 1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 1,5 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,048x + 4,8024$
 $r^2 = 0,9276$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln (C_0/C_t - 1) = \frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_0 \cdot t$$

Q

$$K_T \cdot C_0 = 0,048$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,048$$

$$K_T = 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$K_T \cdot Q_0 \cdot W = 4,8024$$

$$Q(\text{L/jam})$$

$$\underline{4,8 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times q_0 \times 2,7643 \text{ gr} = 4,8024}$$

$$\begin{aligned} & 0,09 \text{ L/jam} \\ 1,326864 \cdot 10^{-3} \text{ L.gr/mg.jam} \times q_0 &= 0,432216 \text{ L/jam} \\ q_0 &= 325,7425 \text{ mg/gr} \end{aligned}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{K_t \times q_0 \times W}{Q} - K_t \times C_0 \times t$$

$$\ln(10 - 1) = \frac{4,8 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times 325,7425 \text{ mg/gr} \times 2,7643 \text{ gr}}{0,09 \text{ L/jam}}$$

$$- 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg.jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 4,8024 \text{ jam} - 0,048 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 54,275 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q =$$

$$V_B = 54,275 \text{ jam} \times 0,09 \text{ L/jam} = 4,88475 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,99$$

$$C_0/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{K_t \times q_0 \times W}{Q} - K_t \times C_0 \times t$$

$$Q$$

$$\ln(0,01010) = \frac{4,8 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 325,7425 \text{ mg/gr} \times 2,7643 \text{ gr}}{0,09 \text{ L/jam}} - 4,8 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 4,8024 \text{ jam} - 0,048 \text{ jam} \times t$$

$$t_E = 195,7833 \text{ jam}$$

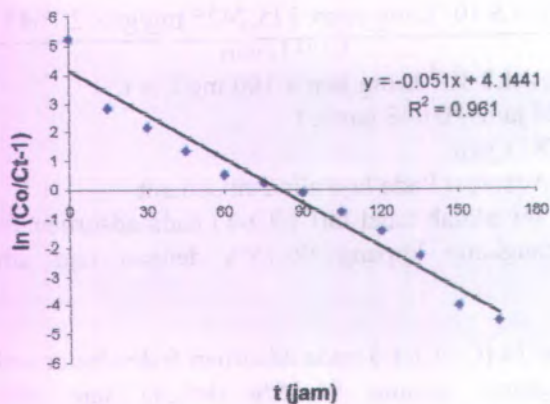
❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 2 mL/menit

Berikut ini adalah tabel $\ln(C_0/C_t - 1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2 mL/menit:

Tabel F.13 Tabel $\ln(C_0/C_t - 1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2 mL/menit

t (jam)	$\ln(C_0/C_t - 1)$ 2 ml/menit
0	5.2539
15	2.8554
30	2.1568
45	1.3364
60	0.5275
75	0.2602
90	-0.1185
105	-0.7879
120	-1.4293
135	-2.3003
150	-4.0163
165	-4.5458

Berdasarkan tabel F.13, maka dapat dibuat grafik antara $\ln(C_0/C_t - 1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X



Gambar F.13 Grafik $\ln (C_o/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,051x + 4,1441$
 $r^2 = 0,961$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln (C_o/C_t - 1) = \frac{K_T \cdot Q_o \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_o \cdot t$$

$$K_T \cdot C_o = 0,051$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,051$$

$$K_T = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$\frac{K_T \cdot Q_o \cdot W}{Q} = 4,1441$$

$$Q(\text{L/jam})$$

$$\frac{5,1 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times q_o \times 2,7629 \text{ gr}}{0,12 \text{ L/jam}} = 401441$$

$$0,12 \text{ L/jam}$$

$$1,409079 \cdot 10^{-3} \text{ L.gr/mg.jam} \times q_0 = 0,497292 \text{ L/jam}$$

$$q_0 = 352,9199 \text{ mg/gr}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(10 - 1) = \frac{5,1 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 352,9199 \text{ mg/gr} \times 2,7629 \text{ gr}}{0,12 \text{ L/jam}}$$

$$- 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 4,1441 \text{ jam} - 0,051 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 38,1745 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q =$$

$$V_B = 38,1745 \text{ jam} \times 0,12 \text{ L/jam} = 4,58094 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,99$$

$$C_0/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{5,1 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 352,9199 \text{ mg/gr} \times 2,7629 \text{ gr}}{0,12 \text{ L/jam}}$$

$$- 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 4,1441 \text{ jam} - 0,051 \text{ jam} \times t$$

$$t_E = 171,3588 \text{ jam}$$

- ❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 2,5 mL/menit
Berikut ini adalah tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben 1:5 dengan laju alir 2,5 mL/menit:

Tabel F.14 Tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2,5 mL/menit

t (jam)	$\ln(C_0/C_t - 1)$ 2,5 ml/menit
0	4,6259
15	2,2811
30	1,5076
45	0,7332
60	0,1873
75	-0,2753
90	-0,7336
105	-1,2552
120	-2,1972
135	-4,2474
150	-4,9693

Berdasarkan tabel F.14, maka dapat dibuat grafik antara $\ln(C_0/C_t-1)$ sebagai sumbu Y dan Waktu (jam) sebagai sumbu X

❖ Pembuatan Garis Smooth Line Pada Kurva Ct/Co VS Waktu (jam)

Berdasarkan persamaan regresi dari masing-masing komposisi adsorben maka dapat diperoleh Ct/Co_{hitung} berdasarkan model Thomas yang digunakan sebagai garis smooth line:

- Adsorben 1 : 5 laju alir 1,5 mL/menit

$$\text{Persamaan regresinya: } y = -0,048x + 4,8024$$

$$r^2 = 0,9276$$

$$y = -0,048x + 4,8024$$

$$y = -0,048(0) + 4,8024$$

$$y = 4,8024$$

$$\ln (Co/Ct - 1) = 4,8024$$

$$Co/Ct = 122,8024$$

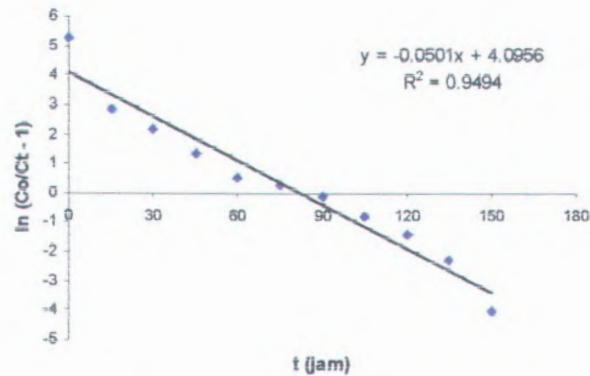
$$Ct/Co = \frac{100}{122,8024} = 0,0081$$

100

Dengan menggunakan cara yang sama maka dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel F.15 Tabel Ct/Co_{hitung} pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

t (jam)	Ct/Co _{hitung} 1,5 mL/menit	Ct/Co _{hitung} 2 mL/menit	Ct/Co _{hitung} 2,5 mL/menit
0	0,0081	0,1560	0,0164
15	0,0166	0,0329	0,0341
30	0,0335	0,0682	0,0696
45	0,0664	0,1360	0,1369
60	0,1276	0,2527	0,2517
75	0,2310	0,4209	0,4163



Gambar F.14 Grafik $\ln(Co/Ct-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2,5 mL/menit

Persamaan regresinya: $y = -0,0501x + 4,0956$
 $r^2 = 0,9494$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln(Co/Ct - 1) = \frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} - K_T \cdot Co \cdot t$$

$$K_T \cdot Co = 0,0501$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,0501$$

$$K_T = 5,01 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$\frac{K_T \cdot Q_0 \cdot W}{Q} = 4,0956$$

$$\frac{Q(\text{L/jam})}{5,01 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times q_0 \times 2,7627 \text{ gr}} = 4,0956$$

$$Q(\text{L/jam}) = 0,15 \text{ L/jam}$$

$$0,15 \text{ L/jam}$$

$$1,3838121 \cdot 10^{-3} \text{ L.gr/mg.jam} \times q_0 = 0,61434 \text{ L/jam}$$

$$q_0 = 443,9475 \text{ mg/gr}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,1$$

$$C_0/C_t = 10$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(10 - 1) = \frac{5,01 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 443,9475 \text{ mg/gr} \times 2,7621 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}}$$

$$- 5,01 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 4,0956 \text{ jam} - 0,0501 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 37,8922 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q =$$

$$V_B = 37,8922 \text{ jam} \times 0,15 \text{ L/jam} = 5,68383 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_0$$

$$C_t/C_0 = 0,99$$

$$C_0/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_0/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_0 \times W}{Q} - Kt \times C_0 \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{5,01 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 443,9475 \text{ mg/gr} \times 2,7621 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}}$$

$$- 5,01 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 4,0956 \text{ jam} - 0,0501 \text{ jam} \times t$$

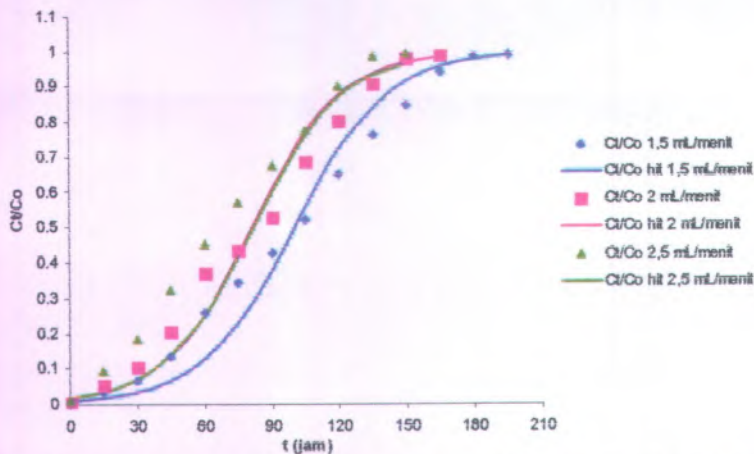
$$t_E = 173,4691 \text{ jam}$$

Halaman 125
TIDAK ADA / TIDAK ADA cetakan

Pelugas Scan  8/3 2022

90	0,3817	0,6097	0,6019
105	0,5591	0,7705	0,7623
120	0,7226	0,8783	0,8718
135	0,8426	0,9394	0,9351
150	0,9167	0,9709	0,9683
165	0,9576	0,9862	
180	0,9789		
195	0,9896		

Berdasarkan data di tabel F.15 maka dapat diperoleh grafik C_t/C_o sebagai sumbu Y dan waktu (jam) sebagai sumbu X dengan adanya smooth line sebagai $C_t/C_{o_{hitung}}$ adalah sebagai berikut:



Gambar F.15 Perbandingan kurva "breakthrough" hasil "fitting" dengan model Thomas dan kurva "breakthrough" dari data proses adsorpsi laju alir 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/ menit pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%

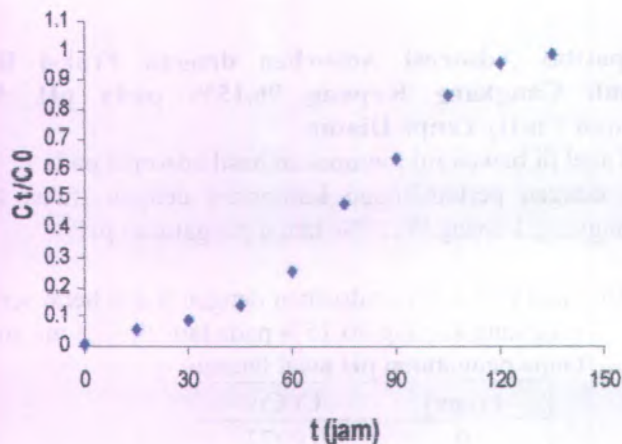
F4. Kapasitas Adsorpsi Adsorben dengan Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 96,15% pada pH Awal Larutan Cu(II) Tanpa Diatur

Tabel di bawah ini merupakan hasil adsorpsi pada adsorben dengan perbandingan komposisi dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% tanpa pengaturan pH:

Tabel F.16 Tabel Ct/Co pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2,5 mL/menit tanpa pengaturan pH awal larutan

t (jam)	Ct/Co
0	0,0072
15	0,0563
30	0,0902
45	0,1427
60	0,2569
75	0,4823
90	0,6386
105	0,8552
120	9,6190
135	0,9895

Dari tabel F.16 maka dapat dialurkan grafik antara waktu (jam) sebagai sumbu X dan Ct/Co sebagai sumbu Y sebagai berikut:



Gambar F.16 Grafik C_t/C_0 VS waktu pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 1,5 mL/menit tanpa pengaturan pH awal larutan

Dari hasil adsorpsi di atas maka dapat diketahui konstanta adsorpsi dan kapasitas adsorpsi pada adsorben dengan komposisi 1:5 pada kecepatan laju alir 2,5 mL/menit dengan menggunakan model perhitungan Thomas. Kapasitas dan konstanta adsorpsi ini dapat diperoleh dari persamaan regresi linier dari hasil $\ln (C_0/C_t - 1)$ VS waktu (jam).

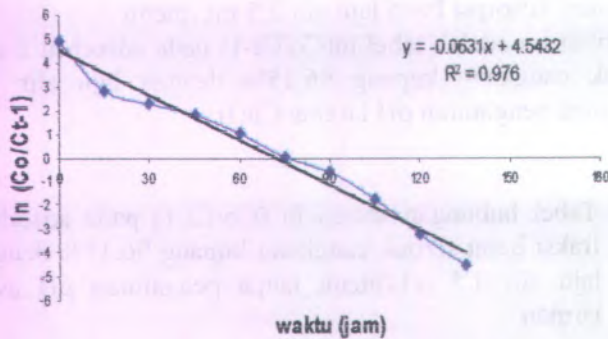
❖ Kapasitas Adsorpsi Pada laju alir 2,5 mL/menit

Berikut ini adalah tabel $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 2,5 mL/menit tanpa pengaturan pH larutan Cu(II):

Tabel F.17 Tabel hubungan antara $\ln(C_0/C_t-1)$ pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 1,5 mL/menit tanpa pengaturan pH awal larutan

t (jam)	$\ln(C_0/C_t-1)$
0	4.9264
15	2.8191
30	2.3112
45	1.793
60	1.0621
75	0.0672
90	-0.5693
105	-1.7759
120	-3.2287
135	-4.5458

Dari data pada tabel F.17 maka dapat dibuat grafik $\ln(C_0/C_t-1)$ sebagai sumbu Y VS Waktu sebagai sumbu X



Gambar F.17 Grafik antara $\ln (C_o/C_t-1)$ VS waktu pada adsorben adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% tanpa pengaturan pH awal larutan

Persamaan regresinya: $y = -0,0631x + 4,5432$
 $r^2 = 0,976$

maka berdasarkan persamaan Thomas:

$$y = \ln (C_o/C_t - 1) = \frac{K_T \cdot Q_o \cdot W}{Q} - K_T \cdot C_o \cdot t$$

$$K_T \cdot C_o = 0,0631$$

$$K_T \cdot 100 \text{ mg/L} = 0,0631$$

$$K_T = 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg}$$

$$\frac{K_T \cdot Q_o \cdot W}{Q} = 4,5432$$

$$Q(\text{L/jam})$$

$$\frac{6,31 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg} \cdot \text{jam} \times q_o \times 2,7688 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}} = 4,5432$$

$$\frac{1,7471128 \cdot 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{gr/mg} \cdot \text{jam} \times q_o}{0,15 \text{ L/jam}} = 4,5432$$

$$q_o = 390,0607 \text{ mg/gr}$$

- Perhitungan Waktu Penerobosan (t_B), Volume Air Bersih (V_B), dan Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

- Waktu Penerobosan (t_B):

$$C_t = 10\% C_o$$

$$C_t/C_o = 0,1$$

$$C_o/C_t = 10$$

$$\ln(C_o/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_o \times W}{Q} - Kt \times C_o \times t$$

$$\ln(10 - 1) = \frac{6,31 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 390,0607 \text{ mg/gr} \times 2,7688 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}} - 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$2,1972 = 4,5432 \text{ jam} - 0,0631 \text{ jam} \times t$$

$$t_B = 37,1791 \text{ jam}$$

- Volume Air Bersih (V_B):

$$V_B = t_B \times Q =$$

$$V_B = 37,1791 \text{ jam} \times 0,15 \text{ L/jam} = 5,5769 \text{ L}$$

- Waktu Exhausted/jenuh (t_E):

$$C_t = 99\% C_o$$

$$C_t/C_o = 0,99$$

$$C_o/C_t = 1,01010$$

$$\ln(C_o/C_t - 1) = \frac{Kt \times q_o \times W}{Q} - Kt \times C_o \times t$$

$$\ln(0,01010) = \frac{6,31 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 390,0607 \text{ mg/gr} \times 2,7688 \text{ gr}}{0,15 \text{ L/jam}} - 6,31 \cdot 10^{-4} \text{ L/mg jam} \times 100 \text{ mg/L} \times t$$

$$-4,5952 = 4,5432 \text{ jam} - 0,0631 \text{ jam} \times t$$

$$t_E = 144,8241 \text{ jam}$$

- ❖ Pembuatan Garis Smooth Line Pada Kurva C_t/C_o VS Waktu (jam)



Berdasarkan persamaan regresi dari masing-masing komposisi adsorben maka dapat diperoleh $C_t/C_{o\text{hitung}}$ berdasarkan model Thomas yang digunakan sebagai garis smooth line:

- Adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir 2,5 mL/menit pada pH larutan Cu (II) yang tidak diatur:

$$\text{Persamaan regresinya: } y = -0,0631x + 4,5432$$

$$r^2 = 0,976$$

$$y = -0,0631x + 4,5432$$

$$y = -0,0631(0) + 4,5432$$

$$y = 4,5432$$

$$\ln(C_o/C_t - 1) = 4,5432$$

$$C_o/C_t = 94,9911$$

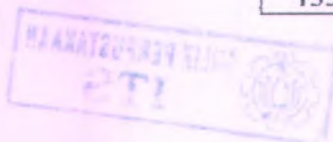
$$C_t/C_o = 100/94,9911 = 0,0105$$

100

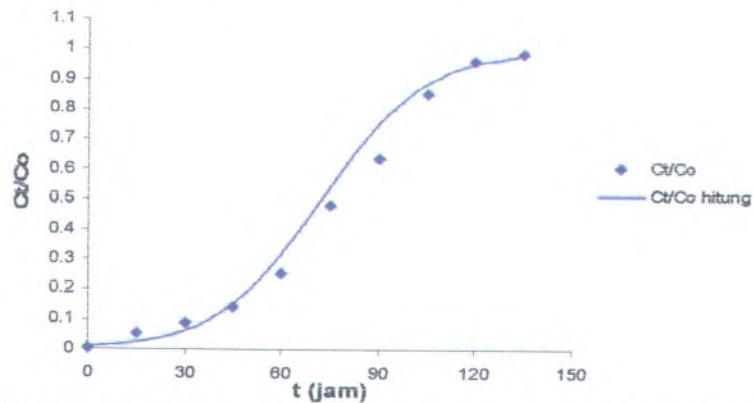
Dengan menggunakan cara yang sama maka dapat diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel F.18 Tabel C_t/C_o hitung pada adsorben fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan laju alir 1,5 mL/menit tanpa pengaturan pH awal Larutan

t (jam)	$C_t/C_{o\text{hitung}}$
0	0.0105
15	0.0267
30	0.066
45	0.154
60	0.3193
75	0.5472
90	0.7569
105	0.8892
120	0.9538
135	0.9815



Berdasarkan data tabel F.18 maka dapat diperoleh grafik C_t/C_o sebagai sumbu Y dan waktu (jam) sebagai sumbu X dengan adanya smooth line sebagai C_t/C_o hitung :



Tabel F.18 Grafik hasil Fitting antara C_t/C_o dengan C_t/C_o hitung pada adsorben

LAMPIRAN G

pH EFFLUEN LARUTAN

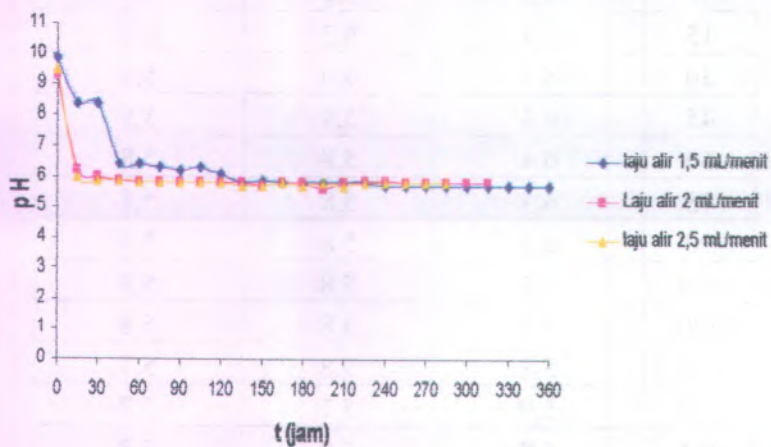
G1. pH Effluen Adsorben Dengan Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 93,75%

Tabel G.1 pH effluen larutan dengan pengaturan (pH=4) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% pada laju alir influen 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit

t (jam)	pH 1,5 mL/menit	pH 2 mL/menit	pH 2,5 ml/ menit
0	9,9	9,3	9,5
15	8,4	6,2	6,0
30	8,4	6,0	5,9
45	6,4	5,9	5,9
60	6,4	5,8	5,8
75	6,3	5,8	5,8
90	6,2	5,8	5,8
105	6,3	5,8	5,8
120	6,1	5,8	5,8
135	5,8	5,8	5,7
150	5,9	5,7	5,7
165	5,8	5,8	5,8
180	5,8	5,8	5,7
195	5,8	5,6	5,8
210	5,8	5,8	5,7
225	5,8	5,9	5,8
240	5,7	5,9	5,8
255	5,7	5,8	5,8
270	5,7	5,8	5,8

285	5,7	5,8	5,8
300	7,0	5,8	
315	5,7	5,8	
330	5,7		
345	5,7		
360	5,7		

Dari data di atas, maka dapat dialurkan grafik antara pH (sebagai sumbu Y) dan waktu (sebagai sumbu X)



Gambar G.1 Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75%

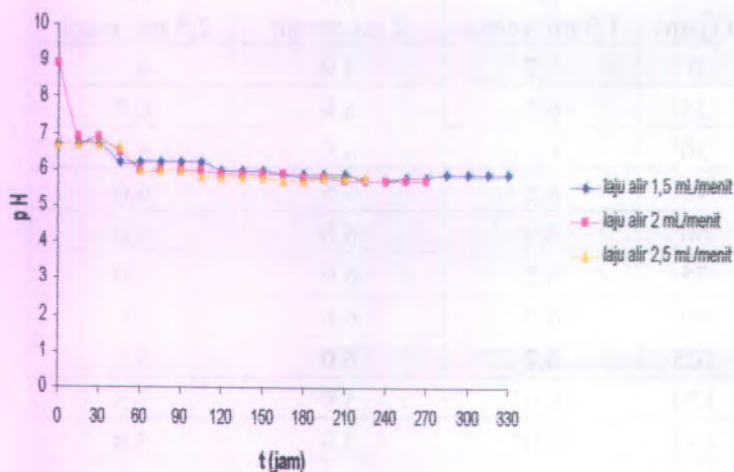
G2. pH Effluen Adsorben Dengan Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 95,24%

Tabel G.2 pH effluen larutan dengan pengaturan (pH=4) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 93,75% pada laju alir influen 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit

t (jam)	pH 1,5 mL/menit	pH 2 mL/menit	pH 2,5 mL/menit
0	6,7	8,9	6,7
15	6,7	6,9	6,7
30	6,7	6,9	6,7
45	6,2	6,5	6,6
60	6,2	6,0	6,0
75	6,2	6,0	6,0
90	6,2	6,0	6,0
105	6,2	6,0	5,8
120	6,0	5,9	5,8
135	6,0	5,9	5,8
150	6,0	5,9	5,8
165	5,9	5,9	5,7
180	5,9	5,8	5,7
195	5,9	5,8	5,8
210	5,9	5,7	5,8
225	5,7	5,7	5,8
240	5,7	5,7	
255	5,8	5,7	
270	5,8	5,7	
285	5,9		
300	5,9		

315	5,9		
330	5,9		

Dari data di atas, maka dapat dialurkan grafik antara pH (sebagai sumbu Y) dan waktu (sebagai sumbu X)



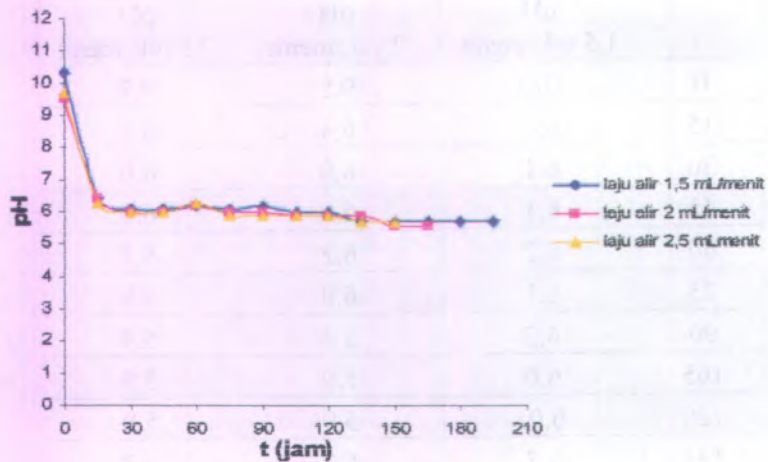
Gambar G.2 Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24%

G3. pH Effluen Adsorben Dengan Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 96,15%

Tabel G.3 pH effluen larutan dengan pengaturan (pH=4) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 95,24% pada laju alir influen 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit

	pH 1,5 mL/menit	pH 2 mL/menit	pH 2,5 mL/menit
0	10,3	9,5	9,7
15	6,4	6,4	6,3
30	6,1	6,0	6,0
45	6,1	6,0	6,0
60	6,2	6,2	6,3
75	6,1	6,0	5,9
90	6,2	6,0	5,9
105	6,0	5,9	5,9
120	6,0,	5,9	5,9
135	5,7	5,9	5,7
150	5,7	5,6	5,7
165	5,7	5,6	
180	5,7		
195	5,7		

Dari data di atas, maka dapat dialurkan grafik antara pH (sebagai sumbu Y) dan waktu (sebagai sumbu X)



Gambar G.3 Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15%

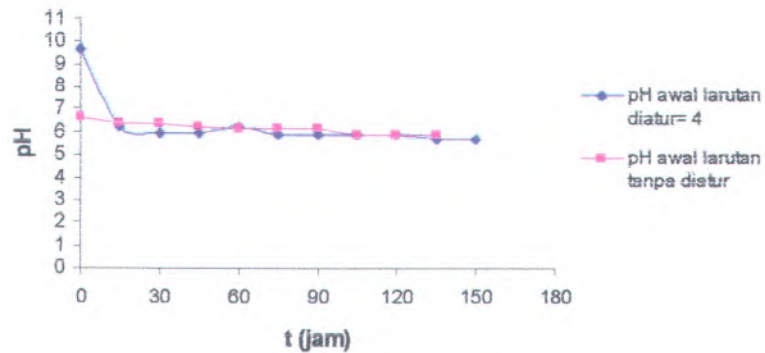
G4. pH Effluen Adsorben Dengan Fraksi Berat Serbuk Cangkang Kupang 96,15% (Dengan Pengaturan pH Awal Larutan= 4 dan Tanpa Pengaturan PH awal Larutan)

Tabel G.3 pH effluen larutan dengan pengaturan (pH=4) pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% pada laju alir influen 1,5 mL/menit; 2 mL/menit; dan 2,5 mL/menit

t (jam)	pH awal diatur (pH 4) 2,5 mL/menit	pH awal tanpa diatur (pH 5,9) 2,5 mL/menit
0	9,7	6,7
15	6,3	6,4
30	6,0	4,0
45	6,0	6,3
60	6,3	6,2

75	5,9	6,2
90	5,9	6,2
105	5,9	5,9
120	5,9	5,9
135	5,7	5,9
150	5,7	

Dari data di atas, maka dapat dialurkan grafik antara pH (sebagai sumbu Y) dan waktu (sebagai sumbu X)



Gambar G.4 Kurva pH larutan saat proses adsorpsi pada adsorben dengan fraksi berat serbuk cangkang kupang 96,15% dengan pengaturan pH awal larutan dan tanpa pengaturan pH larutan awal

LAMPIRAN H PERHITUNGAN FRAKSI BERAT KOMPOSIT

H1. Perhitungan fraksi berat serbuk cangkang kupang

$$f \text{ serbuk cangkang kupang} = \frac{m \text{ serbuk kupang}}{m \text{ serbuk kupang} + m \text{ khitosan}}$$

massa khitosan dalam 20 mL larutan khitosan 1 %

$$= \frac{1}{5} = 0,2 \text{ g}$$

$$\text{Komposisi adsorben 3 } f_{kp} = \frac{3 \text{ g}}{3 \text{ g} + 0,2 \text{ g}} = 0,9375$$

$$\text{Komposisi adsorben 4 } f_{kp} = \frac{4 \text{ g}}{4 \text{ g} + 0,2 \text{ g}} = 0,9524$$

$$\text{Komposisi adsorben 5 } f_{kp} = \frac{5 \text{ g}}{5 \text{ g} + 0,2 \text{ g}} = 0,9615$$

H1. Hukum Campuran (*Mixture Law*) Pada Kapasitas Adsorpsi

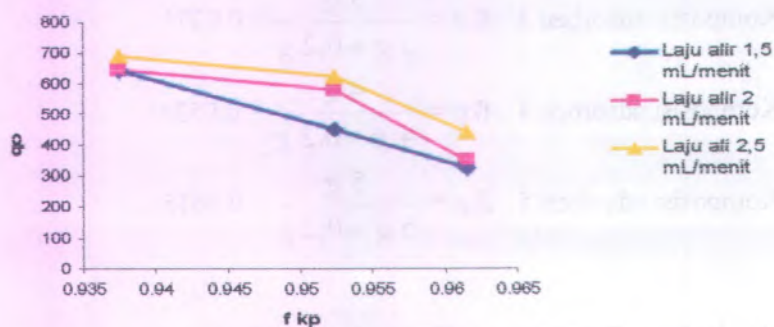
$$\begin{aligned} Q_{\text{komposit}} &= q_{kp} \cdot f_{kp} + q_{kh} \cdot f_{kh} \\ &= q_{kp} \cdot f_{kp} + q_{kh} (1 - f_{kp}) \\ &= q_{kh} + (q_{kp} - q_{kh}) f_{kp} \end{aligned}$$

fraksi serbuk cangkang kupang dibuat grafik terhadap kapasitas adsorpsi sehingga diperoleh persamaan regresi linier. Dari persamaan regresi dapat dihitung kapasitas adsorpsi khitosan dan serbuk cangkang kupang dalam komposit.

Tabel H.1 Tabel fraksi kupang dengan q_0 pada laju alir 1,5 mL/menit, 2 mL/menit, dan 2,5 mL/menit

f kp	q_0 1,5 mL/menit	q_0 2 mL/menit	q_0 2,5 mL/menit
0,9375	642,9213	649,9567	689,6618
0,9524	451,2992	584,0805	624,5721
0,9615	325,7425	352,9199	443,9475

Berdasarkan tabel H.1 maka dapat diplot kurva q_0 VS f kp sebagai berikut:



Gambar H.1 Grafik Fraksi kupang dalam komposit VS kapasitas adsorpsi

Tabel H2. Data persamaan regresi linier fraksi serbuk cangkang kupang

Laju alir (mL/menit)	Persamaan regresi	R^2
1,5	$y = -13181x + 13001$	0,9996
2	$y = -148,52x + 826,02$	0,9064
2,5	$y = -127,86x + 831,77$	0,9314

Koefisien korelasi (r^2) grafik kapasitas adsorpsi komposit (q_c) terhadap fraksi serbuk cangkang kupang (f_{kp}) diatas terletak antara $0,9 \leq r^2 \leq 1$. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi komposit memiliki korelasi linier dengan fraksi serbuk cangkang kupang.

1. Laju alir 1,5 mL/menit

$$y = a + bx$$

$$y = 13001 + (-13181)$$

$$R^2 = 0,9996$$

$$a = q \text{ khitosan} = 13001 \text{ mg/g}$$

$$b = q \text{ kupang} - q \text{ khitosan}$$

$$-13181 = q \text{ kupang} - 13001 \text{ mg/g}$$

$$q \text{ kupang} = -13181 + 13001 \text{ mg/g}$$

$$q \text{ kupang} = -180 \text{ mg/g}$$

2. Laju alir 2 mL/menit

$$y = bx + a$$

$$y = -148,52x + 826,02$$

$$R^2 = 0,9064$$

$$a = q \text{ khitosan} = 826,02 \text{ mg/g}$$

$$b = q \text{ kupang} - q \text{ khitosan}$$

$$-148,52 = q \text{ kupang} - 13001 \text{ mg/g}$$

$$q \text{ kupang} = -148,52 + 826,02 \text{ mg/g}$$

$$q \text{ kupang} = 677,5 \text{ mg/g}$$

3. Laju alir 2,5 mL/menit

$$y = bx + a$$

$$y = -127,86x + 831,77$$

$$R^2 = 0,9314$$

$$a = q \text{ khitosan} = 831,77 \text{ mg/g}$$

$$b = q \text{ kupang} - q \text{ khitosan}$$

$$-127,86 = q \text{ kupang} - 831,77 \text{ mg/g}$$



Penulis dilahirkan di Blitar pada tanggal 17 Oktober 1986, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis adalah alumnus dari TK Aisyiah Bustanul Athfal Blitar, SD Negeri 1 Banaran Babat, SLTP Negeri I Babat dan SMA Negeri 7 Surabaya. Setelah lulus menempuh Pendidikan Menengah Atas, penulis melanjutkan Pendidikan Tinggi di Jurusan Kimia Fakultas MIPA Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya melalui jalur Penelusuran Minat dan Bakat (PMDK) pada bulan Agustus 2005. Selama menempuh pendidikan tinggi di ITS, penulis pernah aktif dan berpartisipasi dalam organisasi dan kegiatan tingkat Jurusan yaitu Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) ITS. Di wadah HIMKA tersebut penulis aktif menjadi anggota KWU (kewirausahaan) selama 2 periode dan menjadi panitia dalam kegiatan Seminar K3 (kesehatan dan keselamatan kerja) dan kegiatan Olimpiade Kimia tahun 2008 tingkat SMA se Jawa-Bali. Penulis juga aktif mengikuti beberapa pelatihan dan seminar diantaranya pernah mengikuti seminar Menghadapi dunia kerja, fasih berbahasa Inggris, dan seminar-seminar tentang kewirausahaan. Penulis sempat menempuh Kerja Praktek di Petrokimia yaitu di Laboratorium Pabrik II. Penulis menamatkan studi di Jurusan Kimia MIPA dengan mengambil Tugas Akhir pada bidang Kimia Fisik dan berhasil lulus dengan predikat Sangat Memuaskan.