

**PENYISIHAN ION LOGAM KROM
DARI AIR LIMBAH MELALUI PROSES BIOSORPSI
MENGUNAKAN KULIT BATANG
TANAMAN JAMBU KLUTUK (*PSIDIUM GUAJAVA*)
SEBAGAI BIOSORBEN**

SKRIPSI

Oleh

**MUCHAMMAD ALI LUKMAN
040406039X**



**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

**PENYISIHAN ION LOGAM KROM
DARI AIR LIMBAH MELALUI PROSES BIOSORPSI
MENGUNAKAN KULIT BATANG TANAMAN
JAMBU KLUTUK (*PSIDIUM GUAJAVA*)
SEBAGAI BIOSORBEN**

SKRIPSI

Oleh

MUCHAMMAD ALI LUKMAN
040406039X



**SKRIPSI INI DIAJUKAN UNTUK MELENGKAPI SEBAGIAN
PERSYARATAN MENJADI SARJANA TEKNIK**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS INDONESIA
GENAP 2007/2008**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul,

PENYISIHAN ION LOGAM KROM DARI AIR LIMBAH MELALUI PROSES BIOSORPSI MENGGUNAKAN KULIT BATANG TANAMAN JAMBU KLUTUK (*PSIDIUM GUAJAVA*) SEBAGAI BIOSORBEN

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan Tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Depok, 26 Juni 2008

Muchammad Ali Lukman

040406039X

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul,

**PENYISIHAN ION LOGAM KROM DARI AIR LIMBAH MELALUI
PROSES BIOSORPSI MENGGUNAKAN KULIT BATANG TANAMAN
JAMBU KLUTUK (*PSIDIUM GUAJAVA*) SEBAGAI BIOSORBEN**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah diujikan pada sidang ujian skripsi pada tanggal 26 Juni 2008 dan dinyatakan memenuhi syarat/sah sebagai skripsi pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Depok, 26 Juni 2008

Dosen Pembimbing,

Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc. Ph.D.

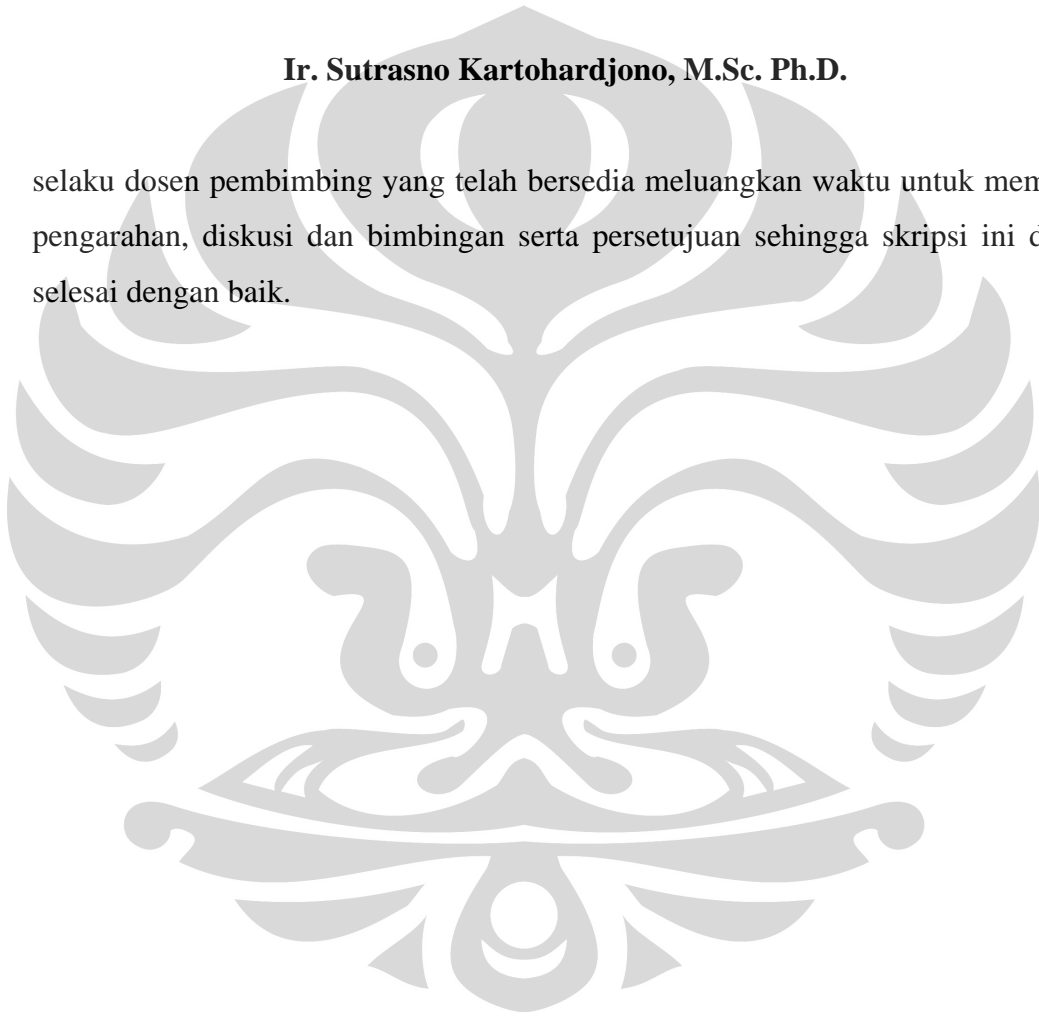
NIP 131 803 508

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc. Ph.D.

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.



Muchammad Ali Lukman
NPM : 040406039X
Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing:
Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc. Ph.D.

**PENYISIHAN ION LOGAM KROM DARI AIR LIMBAH MELALUI
PROSES BIOSORPSI MENGGUNAKAN KULIT BATANG TANAMAN
JAMBU KLUTUK (*PSIDIUM GUAJAVA*) SEBAGAI BIOSORBEN**

ABSTRAK

Biosorpsi adalah proses penyerapan logam berat oleh padatan yang berasal dari bahan alam. Cara ini merupakan metode yang sangat menjanjikan untuk mengolah buangan industri, terutama karena harganya yang murah dan memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi. Oleh karenanya perlu dilakukan pengembangan proses yang dapat mengadsorpsi ion logam berat yang berbiaya murah, dengan memanfaatkan material adsorben yang mudah diperoleh dari tanaman.

Studi ini bertujuan untuk mendapatkan proses penghilangan ion logam kromium melalui proses adsorpsi menggunakan biomaterial yang berasal dari kulit batang tanaman jambu klutuk (*Psidium guajava*). Hasilnya dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan biomaterial yang digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan ion krom dari dalam larutan air. Eksperimen yang akan dilakukan akan memvariasikan waktu kontak dan pH awal larutan untuk mengetahui kinetika adsorpsi dan pengaruh pH terhadap sifat adsorpsi. Selain itu juga digunakan variasi temperatur untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur dan parameter termodinamika. Eksperimen terakhir adalah memvariasikan konsentrasi awal ion logam krom pada temperatur yang sama untuk mendapatkan parameter adsorpsi isotermis yang dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas dan intensitas adsorpsi. Seluruh eksperimen dilakukan dengan sistem batch pada jumlah biosorben tertentu.

Berdasarkan hasil penelitian, pada temperatur ruang, kulit batang jambu klutuk dapat menyerap lebih dari 99% ion logam krom terlarut pada pH 2. Sistem adsorpsi tidak dapat bekerja pada pH 7 dan 10. Kemampuan adsorpsi ion logam krom oleh kulit batang jambu klutuk menurun seiring dengan peningkatan temperatur operasi. Dari uji adsorpsi isotermis diketahui bahwa kapasitas adsorpsi ion logam krom oleh kulit batang jambu klutuk adalah 1,17 mmol/g biosorben dan berdasarkan intensitasnya dapat dinyatakan bahwa penggunaan kulit batang jambu klutuk sebagai adsorben menguntungkan. Proses ini diharapkan dapat diaplikasikan pada unit pengolahan air limbah industri seperti pada industri pelapisan krom, automotif, baja dan penyamakan kulit. Logam kromium harus dihilangkan dari air limbah sebelum limbah tersebut dapat dibuang ke air permukaan terutama karena sifatnya yang sangat beracun, non-biodegradabel, karsinogenik dan beracun untuk kehidupan akuatik.

Kata kunci : Krom (VI), Biosorpsi, Jambu Klutuk

Muchammad Ali Lukman
NPM : 040406039X
Chemical Engineering Department

Counsellor :
Ir. Sutrasno Kartohardjono, M.Sc. Ph.D.

CHROM REMOVAL FROM WASTE WATER BY BIOSORPTION PROCESS USING *PSIDIUM GUAJAVA* S EPIDERM AS BIOSORBENT

ABSTRACT

Biosorption is a heavy metal removal process by solid which come from nature. This is a promising method for industrial waste water treatment, especially because of the cheap price and have high adsorption capacity. Because of that, development for cheap heavy metal ion adsorption process by using nature base adsorbent are needed.

Purpose of this study is to learn about heavy metal removal process by adsorption process using *Psidium guajava*'s epiderm. The result can be used for evaluate biomaterial performance which is use as adsorbent to remove chromium ions from water. In this experiment, contact time and pH of the solution will be varied to learn about adsorption kinetic and effect of pH to adsorption characteristic. Beside that, operation temperature will be varied too to learn about effect of temperature difference and thermodynamic parameter. In the last experiment, initial concentration will be varied at the constant temperature to learn about adsorption isotherm parameters which can be used to evaluate adsorption capacity and intensity. All of the experiment will be done by batch system with certain amount of biosorbent.

Based on the experiment results, at room temperature, *Psidium guajava*'s epiderm can adsorb more than 99% of chromium ions that dissolve at pH 2 solution. This system can't work at pH 7 and 10 solution. Performance of chromium ions adsorption by *Psidium guajava*'s epiderm is decreasing through operation temperature increasement. Due to adsorption isotherm experiment, known that chromium ions adsorption capacity by *Psidium guajava*'s epiderm is 1.17 mmol/g biosorbent and based on the intensity, can be pronounced that this biosorbent is favorable for remove chromium ions for water. This process is expected to be applied in industrial waste water treatment unit such as electroplating, automotive, and steel industry. Chromium ions must be removed from waste water before it can be disposed to the environment especially because of its poisonous, non-biodegradable, carcinogenic, and toxic behavior.

Key Word : Chromium (VI), Biosorption, *Psidium guajava*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	i
PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	4
1.3 TUJUAN PENELITIAN	4
1.4 BATASAN MASALAH	4
1.5 SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 LIMBAH	6
2.1.1 Limbah Industri	6
2.1.2 Logam Berat	8
2.2 PENGOLAHAN LIMBAH	10
2.3 KARAKTERISTIK JAMBU KLUTUK	12
2.4 ADSORPSI	13
2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi	15
2.4.2 Keseimbangan Adsorpsi	16
2.4.3 Adsorben	17
2.5 METODE ANALISA SPEKTROFOTOMETRI SINAR TAMPAK	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 VARIABEL BEBAS DAN VARIABEL TERIKAT PENELITIAN	20
3.2 ALAT DAN BAHAN	20
3.3 PROSEDUR PENELITIAN	21
3.3.1 Studi Literatur	22
3.3.2 Tahap Preparasi Biosorben	22

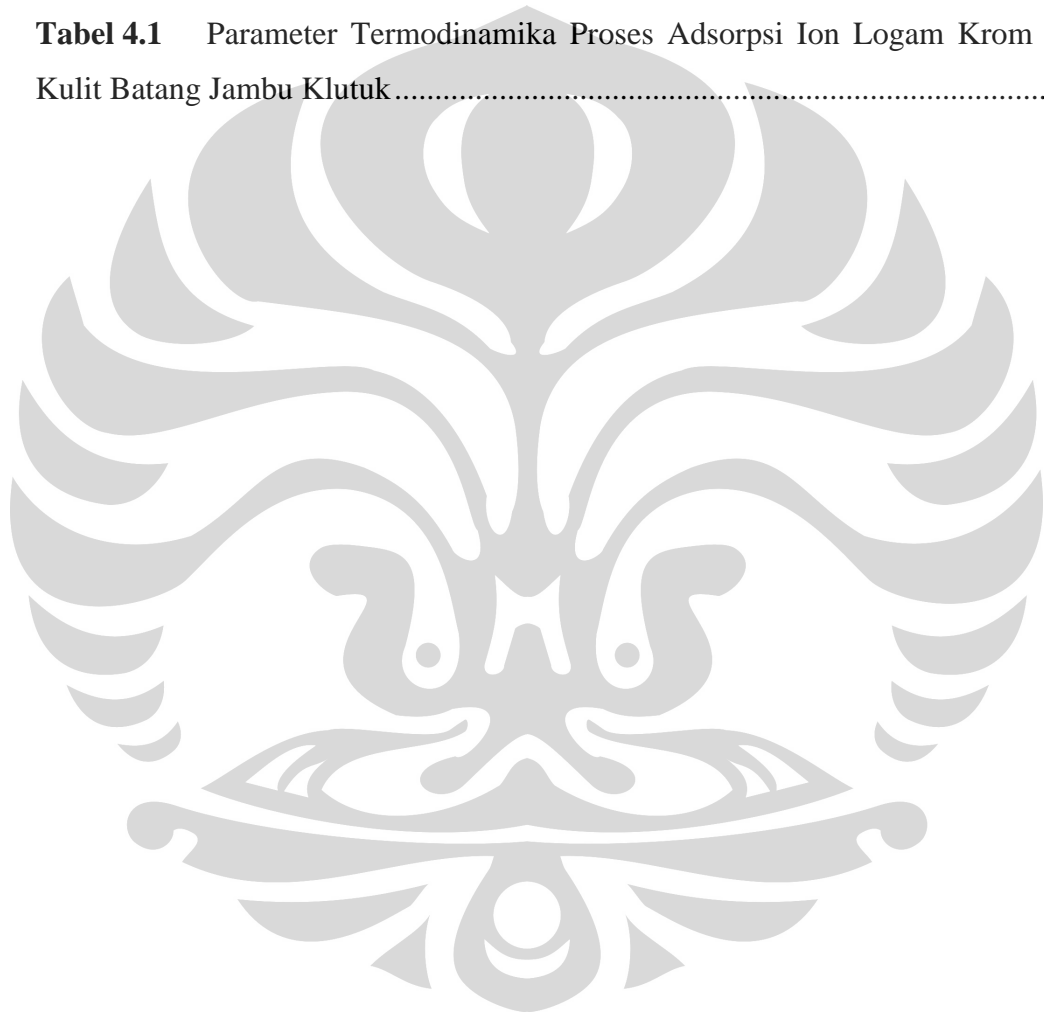
3.3.3 Pembuatan Kurva Kalibrasi pada Spektrofotometer	23
3.3.4 Uji Kinetika Adsorpsi.....	24
3.3.5 Uji Pengaruh Temperatur	25
3.3.6 Uji Adsorpsi Isotermis.....	26
3.3.7 Analisis Data Hasil Eksperimen.....	26
3.4 LOKASI PENELITIAN	27
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	28
4.1 UJI KINETIKA ADSORPSI PADA VARIASI pH LARUTAN.....	28
4.1.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Krom yang Teradsorpsi	28
4.1.2 Perbandingan Kulit Batang Jambu Klutuk dengan Adsorben Komersial	31
4.1.3 Pengaruh pH Terhadap Krom yang Teradsorpsi	32
4.2 UJI PENGARUH TEMPERATUR.....	33
4.3 UJI ADSORPSI ISOTERMIS.....	36
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 KESIMPULAN	40
5.2 SARAN	40
DAFTAR PUSTAKA.....	42
LAMPIRAN	46

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Pourbaix Krom	9
Gambar 2.2 Struktur Molekul Zat Tannin	13
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.2 Diagram Alir Preparasi Biosorben	23
Gambar 3.3 Diagram Alir Pembuatan Kurva Kalibrasi pada Spektrofotometer .	23
Gambar 3.4 Diagram Alir Uji Kinetika Adsorpsi	24
Gambar 3.5 Diagram Alir Uji Pengaruh Temperatur	25
Gambar 3.6 Diagram Alir Uji Adsorpsi Isotermis	26
Gambar 4.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Konsentrasi Akhir Krom	29
Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penyerapan Krom	29
Gambar 4.3 Perbandingan Warna Larutan Krom	30
Gambar 4.4 Pengaruh Temperatur Terhadap Konstanta Kesetimbangan.....	34
Gambar 4.5 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal terhadap Konsentrasi Akhir Ion Logam Krom pada Larutan	37
Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal terhadap % Penyerapan Ion Logam Krom oleh Biosorben	37
Gambar 4.7 Adsorpsi Isotermis dengan Pemodelan Freundlich.....	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Siat Fisika dan Kimia Krom.....	8
Tabel 2.2	Baku Mutu Limbah Cair Cr(VI)	10
Tabel 2.3	Kandungan Gizi Jambu Klutuk dalam 100 gram BDD	12
Tabel 2.4	Perbedaan Antara Adsorpsi Fisika dan Kimia (Herawati, 1995)	14
Tabel 4.1	Parameter Termodinamika Proses Adsorpsi Ion Logam Krom oleh Kulit Batang Jambu Klutuk.....	35



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Kesadaran manusia terhadap pentingnya kualitas lingkungan meningkat seiring dengan berjalannya waktu. Hal ini dipicu oleh suatu kenyataan bahwa kondisi lingkungan saat ini dalam keadaan yang memburuk. Limbah yang dihasilkan dari berbagai aktifitas manusia merupakan salah satu hal yang memberi kontribusi langsung terhadap penurunan kualitas lingkungan.

Limbah merupakan suatu hasil sampingan dari proses yang dianggap tidak dapat digunakan lagi. Dalam dunia industri pada khususnya, limbah merupakan suatu hal yang tidak dapat dikesampingkan keberadaannya. Limbah yang dihasilkan pada sebuah industri berpotensi besar untuk memiliki sifat beracun.

Dalam pelestarian limbah cair pada industri, umumnya limbah cair ditampung pada penampungan limbah dan kemudian diproses. Proses yang diberlakukan berbeda-beda untuk tiap jenis limbah cair. Dari diencerkan hingga diproses dengan perlakuan kimiawi.

Salah satu jenis limbah cair yang dihasilkan oleh industri adalah limbah cair yang mengandung logam berat. Biasanya logam berat merupakan unsur yang beracun dan dapat merusak lingkungan. Dan salah satu logam berat yang beracun itu adalah kromium. Ion krom dalam bentuk Cr(III) dan Cr(VI) merupakan bilangan oksidasi logam Cr yang banyak terdapat di lingkungan. Bentuk heksavalen mendapatkan perhatian yang lebih dikarenakan sifatnya yang lebih beracun. Cr(VI) bersifat labil, beracun dan bersifat karsinogenik untuk makhluk hidup (Madoni dkk., 1996). Cr(VI) merupakan logam yang sangat beracun yang dihubungkan dengan kanker pada manusia serta juga bersifat toksik untuk kehidupan akuatik pada konsentrasi yang relatif sangat rendah. Penggunaan senyawaan Cr, dalam hal ini asam kromat, banyak digunakan untuk pelapisan krom, penyamakan kulit, elektrolisa pengambilan tembaga, menetralkan kadmium, magnesium dan seng. Jalur pencemaran lingkungan oleh krom dapat melalui filtrasi dan transport polutan ke air tanah seperti yang berasal dari air limbah

buangan oleh industri logam, kebocoran tempat buangan yang tidak layak, serta pembuangan deposit beberapa bentuk logam ke tanah. Dan karena logam krom umumnya dibuang atau dihasilkan oleh sektor industri maka kromium ini sering terdeteksi pada tempat pengolahan air minum yang mengolah air dari gabungan air buangan industri dan rumah tangga.

Cr(VI) biasanya berada sebagai anion dan proses pengendapan langsung tidak lazim digunakan untuk memisahkan logam tersebut, melainkan spesies anionik biasanya direduksi terlebih dahulu ke bentuk trivalen dan kemudian diendapkan sebagai kromik hidroksida menggunakan air kapur. Akan tetapi metode ini hanya efektif pada konsentrasi krom yang tinggi dan juga memiliki beberapa kelemahan seperti banyaknya lumpur yang terbentuk, bertambahnya biaya untuk pemindahannya, dan yang terpenting adalah efeknya terhadap lingkungan dalam jangka panjang. Beberapa metode telah digunakan untuk memisahkan spesies kromium tersebut dari air limbah dimana ekstraksi menggunakan senyawa kompleks dan penukar ion adalah metode yang paling sering digunakan. Salah satu metode yang populer untuk pemisahan ion Cr(III) dan Cr(VI) adalah ekstraksi Cr(VI) menggunakan larutan penukar anion cair (LAES, Amberlite LA-2/MIBK) (Athanasios, 2003).

Beberapa metode lain juga pernah digunakan untuk memisahkan krom dari limbah industri. Ini termasuk reduksi, penukaran ion, adsorpsi menggunakan karbon aktif, elektrolisa, osmosa balik, dan membran filtrasi (Lu dkk.,2006). Sistem lain untuk mengolah air limbah yang mengandung ion logam beracun saat ini adalah dengan menggunakan mikro-organisme seperti bakteri, jamur dan ganggang, namun masih belum bisa diaplikasikan pada skala yang besar (Arslan dan Pehlivan, 2006). Beberapa peneliti juga telah melakukan penelitian menggunakan karbon aktif dan adsorben berbasis batubara (Dean dan Tobin, 1999; Gode dan Pehlivan, 2006), debu batu bara dan wollastonite serta surfaktan polimer berbasis chitosan (Sharma dan Foster, 1994).

Terdapat alternatif lain untuk memisahkan krom dari limbah industri yakni dengan menggunakan metode biosorpsi. Cara ini merupakan metode yang sangat menjanjikan untuk mengolah buangan industri, terutama karena harganya yang murah dan memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi (Arslan dan Pehlivan,

2006). Oleh karenanya perlu dilakukan pengembangan proses yang dapat mengadsorb ion logam berat khususnya kromium yang berbiaya murah, dengan memanfaatkan material adsorben yang mudah diperoleh dari tanaman. Beberapa penelitian telah dilakukan oleh para ilmuwan untuk memanfaatkan biomaterial sebagai adsorben ion logam krom seperti Bayramoğlu dkk. (2005) yang memanfaatkan *Lentinus sajor-caju mycelia*, Karthikeyan dkk. (2005) yang memanfaatkan *Hevea Brasilinesis*, Park dkk (2004) yang memanfaatkan kulit pisang dan *Ecklonia sp.*, serta Agarwal dkk. (2006) yang memanfaatkan biji buah asam (*Tamarindus Indica*).

Teknologi konvensional biasanya menggunakan material yang tidak terbarukan dan memiliki nilai beli yang tinggi. Pengelolaan limbah dengan teknologi yang mendukung penggunaan bahan yang terbarukan seperti biomaterial akan mempunyai nilai tambah tersendiri bagi industri tersebut.

Salah satu biomaterial yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan ini adalah jambu klutuk (*Psidium guajava*) yang sudah banyak terbukti digunakan sebagai obat. Pada daun, kulit batang, dan daging buah jambu klutuk dapat ditemukan zat tannin. Zat tannin inilah yang berperan dalam pemanfaatan jambu klutuk sebagai obat anti diare. Bakteri patogen penyebab diare pada usus diserap oleh zat tannin dari jambu klutuk sehingga akhirnya dapat menyembuhkan diare (Wisnu, 2005). Prinsip penyerapan inilah yang mendasari penggunaan kulit batang jambu klutuk sebagai biosorben dalam penyerapan logam berat dari limbah cair. Biomaterial ini diharapkan dapat memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi dimana padatan yang berasal dari bahan alam digunakan untuk mengikat logam berat. Penelitian yang mencari tahu kemampuan kulit batang jambu klutuk dalam mengadsorpsi limbah krom belum pernah dilakukan sebelumnya, namun penelitian ini mengacu pada prinsip kerja yang sama dengan karbon aktif. Dimana karbon aktif juga digunakan sebagai obat diare dan adsorpsi limbah krom sehingga diharapkan bahwa kulit batang memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi limbah krom. Cara ini merupakan metode yang sangat menjanjikan untuk mengolah buangan industri, terutama karena harganya yang murah dan memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang, ada beberapa hal yang menjadi permasalahan, yaitu seberapa besar kemampuan pemisahan krom pada limbah oleh kulit batang jambu klutuk dengan proses biosorpsi, dan menentukan kondisi operasi adsorpsi optimum sehingga didapat hasil pemisahan yang terbaik.

1.3 TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah, tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui apakah adsorpsi dengan kulit batang jambu klutuk dapat mengurangi kadar logam berat Cr(VI) pada limbah cair.
2. Mengetahui kondisi operasi adsorpsi optimum dengan memvariasikan pH, waktu kontak, dan temperatur.

1.4 BATASAN MASALAH

Pada penelitian ini, penulis membatasi masalah sebagai berikut:

1. Limbah yang akan dipelajari merupakan larutan yang mengandung Cr (VI) yang sengaja dibuat dengan konsentrasi tertentu.
2. Metode yang digunakan adalah adsorpsi logam berat dengan menggunakan kulit batang jambu klutuk secara batch.
3. Kulit batang jambu klutuk yang digunakan berasal dari tanaman *Psidium guajava*.
4. Hal yang akan diteliti adalah kemampuan adsorpsi optimum kulit batang jambu klutuk pada variasi kondisi operasi.

1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian dan batasan-batasannya serta sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Berisikan dasar teori tentang limbah, pengolahan limbah, adsorpsi, karakteristik jambu klutuk, dan teori tentang metode analisa Spektrofotometri Sinar Tampak.

BAB III : METODE PENELITIAN

Berisi tentang variabel penelitian, deskripsi dari peralatan dan bahan yang terlibat dalam penelitian, prosedur penelitian, dan lokasi penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang penyajian data penelitian yang diperoleh, analisis pada berbagai variasi variabel bebas, dan pembahasan mengenai fenomena yang terjadi dalam proses adsorpsi ion logam krom oleh kulit batang jambu klutuk.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan percobaan yang dilakukan terkait dengan tujuan dari penelitian ini dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 LIMBAH

Secara umum limbah dapat didefinisikan sebagai sisa hasil usaha atau kegiatan yang tidak dapat dimanfaatkan lagi. limbah dihasilkan dari setiap kegiatan manusia.

Sebagai hasil akhir dari suatu kegiatan, limbah memerlukan penanganan khusus. Hal ini dilakukan mengingat prinsip penanganan limbah, bahwa limbah tidak boleh terakumulasi di alam sehingga mengganggu siklus materi dan bahwa pembuangan limbah harus dibatasi pada tingkat yang tidak melebihi daya dukung lingkungan untuk menghindari pencemaran.

Berbagai jenis kegiatan yang dilakukan oleh manusia akan menghasilkan jenis-jenis limbah yang berbeda dan dapat dibedakan sebagai berikut (Soemantojo, 2002) :

1. Berdasarkan wujudnya :
 - Limbah cair
 - Limbah padat
 - Limbah gas
2. Jenis bahayanya :
 - Limbah bahan beracun dan berbahaya (B3)
 - Limbah bukan bahan beracun dan berbahaya (non-B3)
3. Jenis bahan kimia :
 - Limbah Organik
 - Limbah anorganik

2.1.1 Limbah Industri

Sektor perindustrian terutama industri kimia merupakan salah satu penghasil limbah utama. Sifat dari limbah yang dihasilkan tidak jarang adalah limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) yang tidak boleh dibuang langsung ke lingkungan. Sedangkan definisi dari limbah B3 menurut PP no.18 tahun 1999

tentang pengelolaan limbah Bahan Berbahaya dan Beracun adalah”*Limbah bahan berbahaya dan beracun, disingkat B3, adalah sisa suatu usaha dan/atau kegiatan yang mengandung bahan berbahaya dan/atau beracun yang karena sifat dan/atau jumlahnya, baik secara langsung maupun tidak langsung, dapat mencemarkan dan/atau merusakkan lingkungan hidup, dan/atau dapat membahayakan lingkungan hidup, kesehatan, kelangsungan hidup manusia serta makhluk hidup lain.*”

Limbah yang dihasilkan dari industri-industri kimia pada umumnya bersumber dari :

1. Bahan yang bersumber dari sisa reaksi
2. Bahan yang tidak diinginkan atau dipisahkan dari proses
3. Bahan yang telah rusak terpakai
4. Bahan yang terkontaminasi

Banyak bahan kimia berbahaya yang terakumulasi pada limbah yang dihasilkan oleh industri-industri kimia. Berikut ini adalah bahan-bahan kimia berbahaya yang pada umumnya berada pada limbah industri kimia :

1. Bahan kimia beracun (toksik)

Merupakan bahan kimia yang dapat menyebabkan bahaya terhadap kesehatan manusia atau menyebabkan kematian apabila terserap ke dalam tubuh karena tertelan, terhirup, atau terkena kulit. Contohnya adalah logam-logam berat seperti krom, tembaga, merkuri, timbal, dan seng.

2. Bahan kimia korosif

Merupakan bahan yang terkena reaksi kimia dapat mengakibatkan kerusakan apabila kontak dengan jaringan tubuh atau bahan lain. Beberapa jenis asam, basa, zat oksidasi, dan zat organik merupakan bahan kimia korosif.

3. Bahan kimia mudah terbakar

Merupakan bahan yang mudah bereaksi dengan oksigen dan menimbulkan api. Reaksi pembakaran yang sangat cepat dapat menimbulkan ledakan.

4. Bahan kimia mudah meledak

Merupakan bahan yang mudah terdekomposisi atau terbakar dengan sangat cepat ketika terkena guncangan atau pembakaran.

5. Bahan kimia oksidator

Merupakan bahan kimia yang tidak terlalu mudah terbakar tetapi dapat menghasilkan oksigen yang dapat menyebabkan kebakaran.

6. Bahan kimia reaktif terhadap air

Bahan kimia ini mudah bereaksi dengan air dan menghasilkan panas serta gas yang mudah terbakar.

7. Bahan kimia reaktif terhadap asam

Merupakan bahan kimia yang mudah bereaksi dengan asam, menghasilkan panas serta gas yang mudah terbakar atau gas yang mudah dilarutkan dalam pelarut dibawah tekanan.

8. Bahan radioaktif

Merupakan bahan kimia yang mempunyai kemampuan memancarkan sinar radioaktif.

2.1.2 Logam Berat

Definisi terhadap logam berat beragam, diantaranya adalah logam berat merupakan unsur-unsur logam yang memiliki densitas lebih besar atau sama dengan 5gr/mL. Unsur-unsur ini terletak di bagian tengah dari tabel periodik. Logam berat juga didefinisikan sebagai logam yang dapat membentuk ikatan garam dengan senyawa asam dan berat molekulnya 59-232 (www.ilpi.com, 2007).

Logam berat juga dapat bereaksi dengan senyawa ligan yaitu gugus atom atau ion dan molekul yang mempunyai kesanggupan untuk menjadi donor elektron dalam satu/lebih ikatan koordinat.

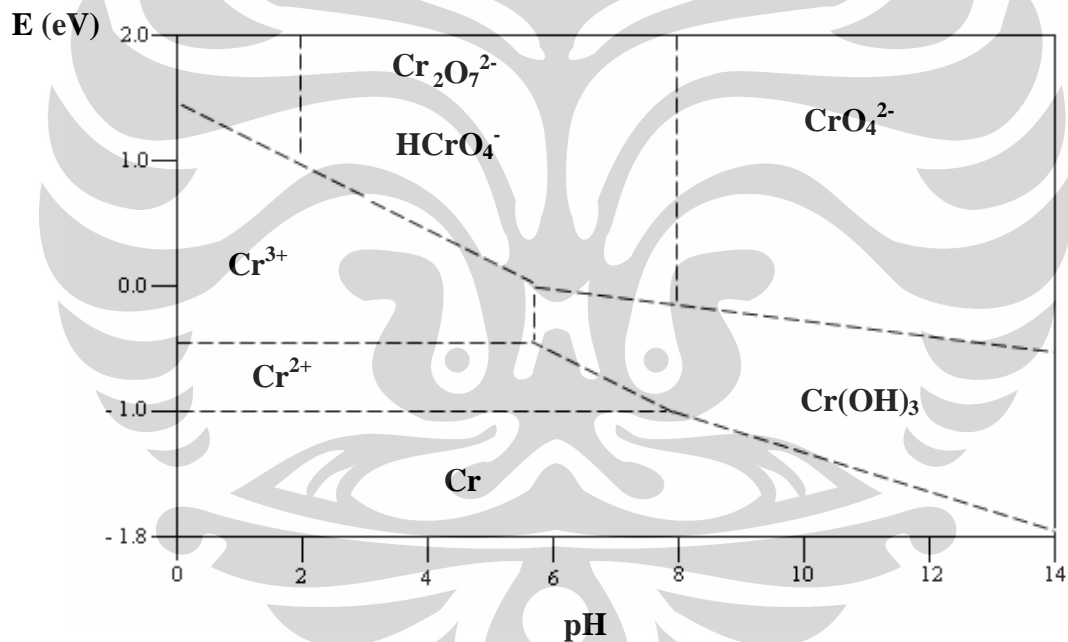
Salah satu logam berat yang saat ini mendapat banyak perhatian adalah krom. Dimana logam berat krom biasanya ditemukan sebagai limbah pada industri cat, pelapisan logam (*electroplating*) dan penyamakan kulit. Krom terdapat di alam dalam bentuk oksida, yaitu Cr(VI) (*chromium hexavalent*) dan Cr(III) (*chromium trivalent*). Bentuk oksida dari krom sangat dipengaruhi oleh pH larutan, konsentrasi oksida krom dan potensial redoksnya.

Beberapa sifat fisika dan kimia krom dapat dilihat pada Tabel 2.1 (<http://en.wikipedia.org/wiki/Chromium>) dibawah ini.

Tabel 2.1 Sifat Fisika dan Kimia Krom

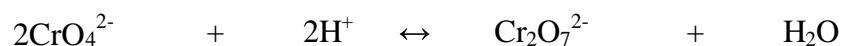
Massa atom relatif	51.996 g/mol
Densitas	7.19 g/cm ³ (20°C)
Titik didih	2672 °C
Titik lebur	1857 °C
Tekanan uap	10 ⁻⁶ Pa (844°C)
Kelarutan	Larut dalam HCl dan H ₂ SO ₄
Warna	Silver

Stabilitas krom dalam berbagai valensi dan bentuk oksidanya terhadap pH, dapat dilihat pada Gambar 2.1 (Weckhuysen dkk,1996).



Gambar 2.1 Diagram Pourbaix Krom

Pada gambar diatas ditunjukkan bahwa stabilitas dari bentuk krom sangat dipengaruhi kondisi lingkungan. Cr (VI), salah satu bentuk krom yang memiliki tingkat toksisitas sangat tinggi pada kondisi asam berada dalam bentuk *dichromate* sedangkan dalam kondisi netral akan berada dalam bentuk *chromate*. Didalam air, kedua bentuk oksida krom ini akan membentuk kesetimbangan ion seperti ditunjukkan oleh persamaan berikut.



Tingkat toksisitas Cr(VI) sangat tinggi sehingga bersifat racun terhadap semua organisme untuk konsentrasi diatas 50 ppm. Cr(VI) bersifat karsinogenik dan dapat menyebabkan iritasi pada kulit manusia. Toksisitas Cr(III) jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan Cr(VI), yaitu sekitar seperseratus kalinya. Bahkan Cr(III) sebenarnya merupakan suatu jenis nutrisi yang dibutuhkan tubuh manusia. Bagi orang dewasa, kadar yang dibutuhkan sekitar 50-200 µg/hari. Jadi Cr(III) tidak berbahaya dan tidak bersifat racun bagi tubuh manusia tetapi bentuk hexavalentnya yang terbukti menimbulkan resiko yang sangat berbahaya karena bersifat karsinogenik. Dengan demikian Cr(VI) harus diawasi kadarnya (Fleggal dan Jerold, 2001).

Terdapat berbagai ketentuan mengenai kandungan krom maksimal yang terkandung pada suatu larutan. WHO menetapkan kandungan krom maksimal untuk air minum adalah 0,05 ppm (50 µg/L) (www.dhs.cahwet.gov/ps/ddwem/chemicals/chromium6). Sedangkan di Indonesia, berdasarkan surat Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri tanggal 23 oktober 1995 dimana kandungan maksimum kandungan Cr(VI) dalam limbah cair untuk beberapa limbah industri seperti terlihat pada Tabel 2.2 (www.bapedal.go.id) berikut ini.

Tabel 2.2 Baku Mutu Limbah Cair Cr(VI)

Jenis Industri	Kadar Maksimum Cr(VI) (mg/L)	Beban Pencemaran Maksimum (gr/m ³)
Industri Pelapisan Logam	0,3	0,03
Industri Cat	0,25	0,2
Industri Minyak	0,5	0,6

2.2 PENGOLAHAN LIMBAH

Pengolahan limbah merupakan bagian dari konsep pengelolaan limbah yang bertujuan untuk meminimisasi limbah. Menurut *Environmental Protection Agency* (EPA), minimisasi limbah adalah reduksi secara luas dari limbah berbahaya yang dihasilkan atau kemudian diolah, disimpan atau dibuang.

Sementara definisi dari Bapedal menyatakan bahwa minimisasi limbah merupakan upaya untuk mengurangi volume, konsentrasi, toksisitas dan tingkat bahaya limbah yang berasal dari proses produksi, dengan jalan reduksi pada sumber dan/atau pemanfaatan limbah.

Upaya minimisasi tersebut dapat dilakukan dengan empat cara, yaitu :

1. Pengolahan untuk mengurangi tingkat bahaya.
2. Substitusi dengan bahan kimia yang lebih aman.
3. Perubahan prosedur untuk meminimisasi limbah.
4. Peningkatan manajemen laboratorium.

Pengolahan limbah dapat dilakukan ketika limbah yang dihasilkan belum memenuhi standar baku mutu lingkungan sehingga belum dapat dibuang ke lingkungan. Limbah yang masih berbahaya bagi lingkungan ini harus diolah dengan metode tertentu sehingga memenuhi baku mutu dan aman bagi lingkungan.

Pemilihan metode pengolahan terhadap limbah bergantung kepada komposisi limbah dan jenisnya. Limbah dengan kandungan dan karakteristik tertentu memerlukan pengolahan limbah yang berbeda dengan limbah lainnya. Beberapa pertimbangan lain dalam pemilihan metode pengolahan limbah adalah aspek ekonomi, teknologi, dan aspek lainnya.

Pemilihan terhadap berbagai cara pengolahan limbah bergantung pada (Soemantojo, 2002) :

1. Laju alir, komposisi, dan kondisi limbah
2. Baku mutu atau pembatasan lainnya
3. Teknologi pengolahan yang tersedia
4. Pertimbangan ekonomi
5. Sumber daya manusia yang ada
6. Kemungkinan pengembangan kegiatan/proses/produksi

Pengolahan limbah dapat meliputi berbagai perlakuan :

1. Fisika
2. Kimia
3. Hayati
4. Kimia-Fisika

2.3 KARAKTERISTIK JAMBU KLUTUK

Jambu klutuk (*Guava, psidium guajava* linn) berasal dari Amerika Tengah. Tanaman ini dapat tumbuh baik di dataran rendah maupun di dataran tinggi. Umumnya ditanam di pekarangan dan di ladang-ladang. Pohon jambu klutuk merupakan tanaman perdu yang banyak bercabang, tingginya dapat mencapai 12 m.

Diantara berbagai jenis buah, jambu klutuk mengandung vitamin C yang paling tinggi dan cukup mengandung vitamin A. Dibanding buah-buahan lainnya seperti jeruk manis yang mempunyai kandungan vitamin C 49 mg/100 gram bahan, kandungan vitamin C jambu biji 2 kali lipat. Vitamin C ini sangat baik sebagai zat antioksidan. Sebagian besar vitamin C jambu klutuk terkonsentrasi pada kulit dan daging bagian luarnya yang lunak dan tebal. Kandungan vitamin C jambu klutuk mencapai puncaknya menjelang matang. Selain pemasok andal vitamin C, jambu klutuk juga kaya serat, khususnya pectin (serat larut air), yang dapat digunakan untuk bahan pembuat gel atau jeli. Manfaat pectin lainnya adalah untuk menurunkan kolesterol yaitu mengikat kolesterol dan asam empedu dalam tubuh dan membantu pengeluarannya. Penelitian yang dilakukan *Singh Medical Hospital and Research center Morrabad, India* menunjukkan jambu klutuk dapat menurunkan kadar kolesterol total dan trigliserida darah serta tekanan darah penderita hipertensi essensial.

Kandungan gizi dalam 100 gram jambu klutuk disajikan pada Tabel 2.3 (<http://agribisnis.deptan.go.id/web/teknopro/Leaflet%20Teknopro%20No.2025.htm>) sbb :

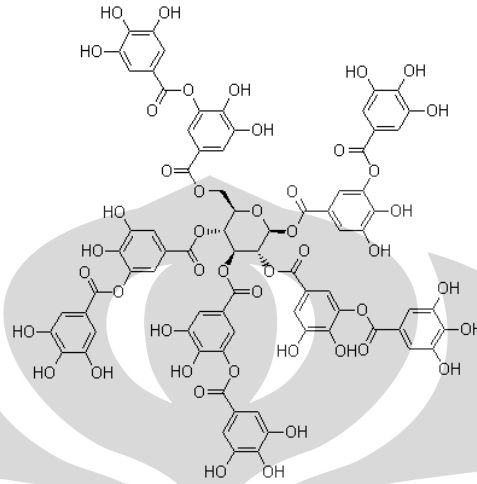
Tabel 2.3 Kandungan Gizi Jambu Klutuk dalam 100 gram BDD

Kandungan	Jumlah	Kandungan	Jumlah
Energi	49,00 kal	Vitamin A	25 SI
Protein	0,90 gr	Vitamin B1	0,05 mg
Lemak	0,30 gr	Vitamin B2	0,04 mg
Karbohidrat	12,20 gr	Vitamin C	87,00 mg
Kalsium	14,00 mg	Niacin	1,10 mg
Fosfor	28,00 mg	Serat	5,60 gr
Besi	1,10 mg	Air	86 gram
		Bagian yg dapat dimakan	82 %

Sumber:

- 1.Dra. Emma S. Wirakusumah, MSc (Buah dan sayur untuk terapi)
2. Ditjen Tanaman Pangan dan Hortikultura, 1996

Jambu klutuk juga mengandung tannin, yang menimbulkan rasa sepat pada buah tetapi juga berfungsi memperlancar sistem pencernaan, sirkulasi darah, dan berguna untuk menyerang virus. Zat tannin ini merupakan zat yang menyebabkan jambu klutuk memiliki kemampuan penyerapan.



Gambar 2.2 Struktur Molekul Zat Tannin

Diketahui bahwa adanya ikatan karbonil pada zat tannin menjadikannya molekul yang mudah terprotonasi atau bermuatan positif sehingga dapat menarik atau menyerap anion krom yang bermuatan negatif.

Dalam mengobati diare, jambu klutuk menyerap bakteri patogen penyebab diare pada usus dengan mekanisme adsorpsi seperti layaknya obat diare lainnya yang terbuat dari karbon aktif.

2.4 ADSORPSI

Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat atau zat cair karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat atau cair. Hal ini bisa terjadi karena molekul-molekul pada permukaan zat padat atau zat cair mempunyai gaya dalam keadaan tidak seimbang yang cenderung tertarik ke arah dalam ($\text{gaya kohesi} > \text{gaya adhesi}$). Ketidakseimbangan gaya-gaya tersebut menyebabkan zat padat atau zat cair tersebut cenderung menarik zat atau gas lainnya yang bersentuhan pada permukaannya. Fenomena konsentrasi zat pada permukaan atau cairan disebut fasa adsorpsi. Zat-zat yang diserap pada permukaan padatan atau cairan disebut fasa teradsorpsi. Zat-zat yang diserap pada

permukaan padatan atau cairan disebut fasa teradsorpsi atau adsorbat, sedangkan zat yang menyerap atau menariknya disebut adsorben.

Berdasarkan interaksi molekular antar permukaan permukaan adsorben dengan adsorbat dibagi menjadi dua, yaitu (Oscik, 1982) :

1. Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika terjadi akibat adanya gaya tarik menarik yang relatif lemah antara adsorbat dengan permukaan adsorben, gaya ini disebut gaya *van Der Waals* sehingga adsorbat dapat bergerak dari suatu bagian permukaan ke bagian permukaan lain dari adsorben. Adsorpsi ini berlangsung cepat, bersifat reversible, dan dapat membentuk banyak lapisan (multilayer). Adsorpsi jenis ini dapat berlangsung dibawah suhu kritis adsorbat yang relatif rendah sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga rendah. Karena ikatannya lemah maka ikatan ini akan mudah terputus.

2. Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi akibat adanya reaksi antara molekul-molekul adsorbat dengan adsorben, dimana terbentuk ikatan kovalen dan ion. Gaya ikat adsorpsi ini bervariasi tergantung pada zat yang bereaksi. Adsorpsi ini bersifat irreversible, hanya dapat membentuk lapisan tunggal (monolayer), dan umumnya terjadi pada temperatur diatas suhu kritis adsorbat sehingga panas adsorpsi yang dibebaskan tinggi.

Pada adsorpsi kimia ini terdapat jenis adsorpsi dimana proses pertukaran ion berlangsung diantara permukaan padatan dengan larutan elektrolit dikategorikan sebagai adsorpsi pertukaran ion.

Proses adsorpsi tergantung pada sifat adsorben dan ion yang dipertukarkan. Kemampuan pertukaran ion terutama tergantung pada muatan listrik ion, jari-jari atom dan tingkat hidrasi . Makin besar muatan ion maka makin besar pula gaya tarik adsorben terhadap ion tersebut akibatnya kemampuan untuk pertukaran ionnya juga semakin besar. Tingkat hidrasi ion tergantung kepada konsentrasi larutan, suhu, dan kontaminan.

Hal-hal yang membedakan antara adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Perbedaan Antara Adsorpsi Fisika dan Kimia (Herawati, 1995)

Parameter	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
Adsorben	Semua Jenis	Terbatas
Adsorbat	Semua Larutan/Gas	Kecuali Gas Mulia
Jenis Ikatan	Fisik	Kimiawi
Suhu Operasi	Rendah, dibawah suhu kritis	Lebih tinggi, diatas suhu kritis
Energi Aktivasi	Kecil, mendekati nol	Besar
Reversibilitas	Reversible	Tidak semuanya Reversible
Tebal Lapisan	Multilayer	Monolayer
Kecepatan Adsorpsi	Besar	Kecil
Jumlah Zat Teradsorp	Sebanding dengan kenaikan konsentrasi atau tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat

2.4.1 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi jalannya proses adsorpsi, yaitu (Mc Cabe dkk, 1993) :

1. Jenis adsorbat, dapat ditinjau dari :
 - Ukuran molekul adsorbat
Rongga tempat terjadinya adsorpsi dapat dicapai melalui ukuran yang sesuai sehingga molekul-molekul yang dapat teradsorpsi adalah molekul-molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dari diameter pori adsorben.
 - Polaritas molekul adsorbat
Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat teradsorpsi dari pada molekul-molekul yang kurang polar sehingga

molekul-molekul yang lebih polar bisa menggantikan molekul-molekul yang kurang polar yang telah diserap.

2. Sifat adsorben, dapat ditinjau dari :

- Kemurnian adsorben

Adsorben yang lebih murni memiliki daya adsorpsi yang lebih baik.

- Luas permukaan adsorben

Semakin luas permukaan adsorben maka jumlah adsorbat yang dapat terserap akan semakin banyak.

3. Temperatur Operasi

4. Derajat keasaman (pH)

5. Konsentrasi Adsorbat

Dengan semakin tingginya konsentrasi adsorbat maka molekul-molekul yang dapat diadsorpsi akan semakin banyak. Hal ini berkaitan erat dengan kapasitas adsorben dalam melakukan penyerapan.

6. Waktu kontak

Semakin lama adsorben melakukan kontak dengan adsorbat maka kemungkinan untuk adanya proses adsorpsi akan semakin besar sehingga jumlah adsorbat yang terserap akan semakin banyak.

2.4.2 Keseimbangan Adsorpsi

Pada saat larutan yang mengandung adsorbat dikontakkan dengan padatan adsorben, molekul-molekul adsorbat akan berpindah dari larutan ke padatan hingga konsentrasi adsorbat pada larutan berada dalam keadaan keseimbangan dengan adsorbat yang telah terserap pada padatan adsorben. Data keseimbangan adsorpsi yang terjadi pada temperatur konstan biasanya disebut adsorpsi isothermal. Konsentrasi larutan biasanya dinyatakan dalam satuan massa, seperti bagian per sejuta (ppm). Sedangkan konsentrasi adsorbat pada zat padat dinyatakan sebagai massa yang teradsorpsi per satuan massa adsorben semula (Mc.Cabe dkk, 1993).

2.4.3 Adsorben

Adsorben didefinisikan sebagai zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu larutan. Biasanya partikel-partikel kecil dari zat penyerap ditempatkan didalam suatu wadah dan kemudian dikontakkan dengan larutan hingga zat penyerap mengalami kejenuhan dimana proses penyerapan sudah tidak berlangsung lagi.

Secara alamiah semua zat padat dapat mengadsorpsi larutan, namun kadang-kadang tidak terdeteksi karena sedemikian kecilnya adsorbat yang terserap. Sampai saat ini telah tersedia banyak adsorben dengan berbagai sifat kimia dan struktur permukaan.

Untuk dapat digunakan sebagai adsorben komersial, zat padat tersebut harus memenuhi kriteria sebagai berikut (Oscik, 1982) :

- Memiliki luas permukaan yang besar sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi
- Secara alamiah dapat berinteraksi dengan adsorbat
- Ketahanan struktur fisik yang tinggi
- Laju perpindahan massa yang tinggi
- Mudah diperoleh, murah, tidak korosif, tidak beracun, dan memiliki densitas bulk yang tinggi
- Tidak ada perubahan volume yang berarti selama proses adsorpsi dan harus tetap kuat ketika basah
- Mudah dan ekonomis untuk diregenerasi

Berdasarkan struktur dan unsur pembangunnya, adsorben dapat digolongkan menjadi dua, yaitu adsorben tidak berpori (*non porous adsorbent*) dan adsorben berpori (*porous adsorbent*) (Oscik, 1982) :

- Adsorben tidak berpori

Adsorben tidak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti $BaSO_4$ atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya yang kecil, tidak lebih dari $10 \text{ m}^2/\text{g}$, umumnya antara $0,1-1 \text{ m}^2/\text{g}$. Bahan tidak berpori seperti filter karet dan karbon hitam bergrafit adalah jenis adsorben tidak berpori yang telah mengalami

perlakuan khusus sehingga luas permukaannya dapat mencapai ratusan m^2/g .

▪ Adsorben berpori

Luas permukaan spesifik adsorben berpori berkisar antara 100-1000 m^2/g . Biasanya dipergunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator, dan penyeleksi komponen. Adsorben ini umumnya berbentuk granular.

Klasifikasi pori yang sering digunakan adalah klasifikasi pori yang diusulkan oleh Dominin, yaitu :

- Mikropori : $D < 2 \text{ nm}$
- Mesopori : $2 \text{ nm} < D < 200 \text{ nm}$
- Makropori : $D > 200 \text{ nm}$

Beberapa adsorben berpori yang telah banyak digunakan adalah silica gel, alumina, karbon aktif, molecular sieves, dan porous glasses.

2.5 METODE ANALISA SPEKTROFOTOMETRI SINAR TAMPAK

Untuk mengetahui konsentrasi logam dalam suatu larutan sering digunakan metode spektrofotometer sinar tampak. Metode ini dikembangkan berdasarkan pada absorbansi suatu larutan yang dikenai gelombang elektromagnetik oleh atom yang berada pada larutan tersebut. Atom-atom akan menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu, tergantung pada jenis & sifat unsurnya (*Buku Panduan Praktikum Kimia Analitik*).

Spektrofotometer yang akan digunakan merupakan *Model 220-20 Double Beam Spectrofotometer* yang dapat digunakan untuk mengukur absorbansi pada cairan, padatan, dan gas dalam daerah sinar UV, tampak, dan dekat IR. Prinsip kerja alat ini adalah membuat sebuah cahaya monokromatis dari sumber cahaya tertentu dengan *Grating Monokhromator* dan kemudian dipisahkan menjadi 2 berkas sinar oleh cermin perak yang berputar. Setelah melewati sample, dua berkas sinar tersebut mengikuti suatu jalur optik bergabung menjadi satu berkas sinar lagi dan jatuh pada detektor. Detektor akan mengubah sinyal-sinyal optik menjadi elektrik.

Hasil pembacaan pada detektor merupakan nilai absorbansi suatu larutan. Dengan nilai absorbansi tersebut maka dapat diketahui konsentrasi suatu larutan. Hubungan antara konsentrasi larutan dengan nilai absorbansinya dapat dilihat pada *Hukum Lambert-Beer* :

$$A = \varepsilon_{\lambda} \cdot b \cdot C \quad (2.1)$$

dengan :

A = Absorbansi

ε_{λ} = absorptivitas molar pada panjang gelombang λ

b = tebal kuvet (tempat meletakkan sampel)

C = konsentrasi larutan

Metode spektrofotometer menjadi suatu metode yang canggih dalam analisis karena kecepatan analisisnya, ketelitian, dan kemudahan dalam penggunaan. Kelebihan yang lainnya adalah kemungkinan untuk menentukan suatu unsur meskipun dengan kehadiran unsur lainnya.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 VARIABEL BEBAS DAN VARIABEL TERIKAT PENELITIAN

Kondisi operasi yang diubah-ubah sebagai parameter atau variabel bebas dalam percobaan ini adalah sebagai berikut,

- Temperatur operasi.
- pH larutan yang divariasikan pada tiga kondisi, yakni kondisi asam, basa, dan netral.
- Waktu kontak. Variasi waktu kontak dihasilkan dari perbedaan waktu pengambilan sampel.
- Konsentrasi awal larutan.

Sedangkan parameter yang akan diamati sebagai hasil dari penelitian atau variabel terikat adalah sebagai berikut,

- Konsentrasi akhir larutan dengan rentang waktu tertentu (uji kinetika)
- Konsentrasi akhir larutan dengan temperatur tertentu (uji pengaruh temperatur).
- Konsentrasi akhir larutan pada konsentrasi awal yang berbeda (uji adsorpsi isoteremis).

3.2 ALAT DAN BAHAN

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut,

- Pengaduk
- Pemanas/*Heater*
- *Blender*
- Spektrofotometer Sinar Tampak
- *Stopwatch*
- Pyrex Erlenmeyer
- Pyrex *Beaker Glass*
- Gelas Ukur
- pH meter digital

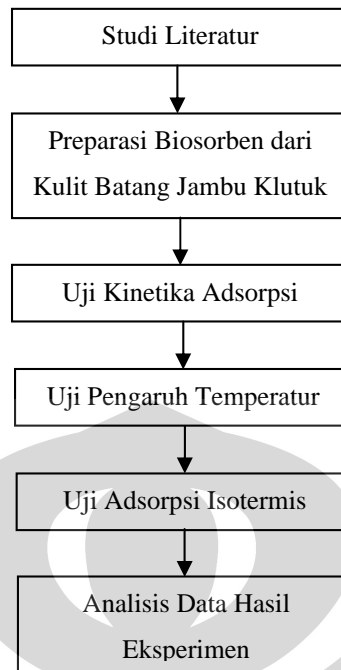
Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- Kulit Batang Jambu Klutuk
- $K_2Cr_2O_7$
- Air Murni (*Aquadest*)
- Larutan HCl 1 M
- Larutan NaOH 0, 1 M
- Kertas Saring

3.3 PROSEDUR PENELITIAN

Pada riset ini, proses adsorpsi ion logam krom akan dilakukan melalui proses biosorpsi, yaitu proses dimana padatan yang berasal dari bahan alam digunakan untuk mengikat logam berat krom. Bahan alam yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari tanaman jambu klutuk (*Psidium guajava*) terutama kulit batangnya.

Riset yang akan dilakukan dibagi menjadi empat bagian besar, yaitu studi literatur, uji kinetika adsorpsi, uji pengaruh temperatur, dan uji adsorpsi isotermis logam krom oleh biosorben dari larutan krom dan dilengkapi dengan analisis data hasil eksperimen.

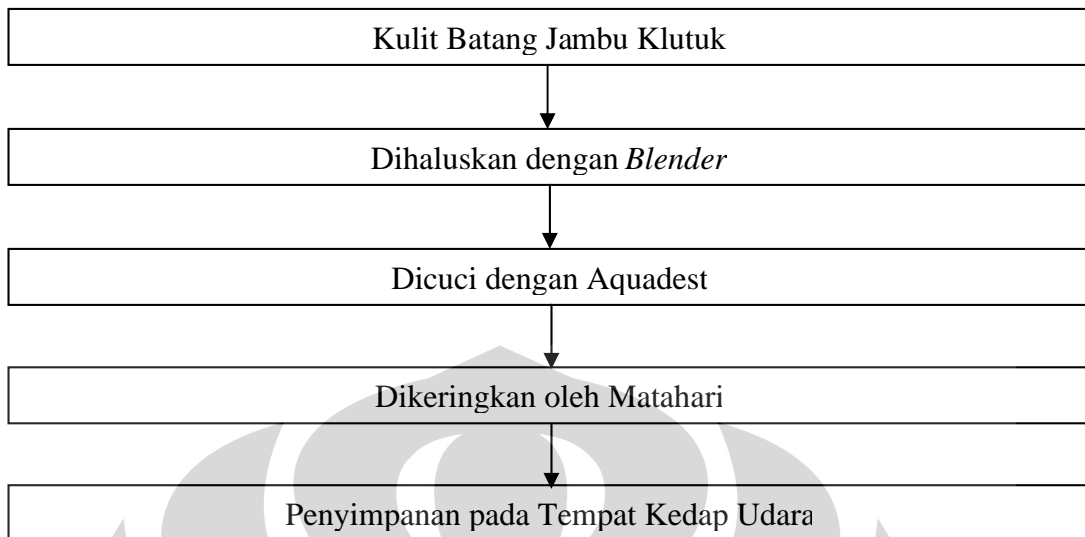


Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Studi Literatur

Pada studi literatur akan dikumpulkan literatur mengenai proses penghilangan ion logam krom dari air serta merangkum semua penelitian yang telah dilakukan untuk tujuan tersebut khususnya yang melalui proses biosorpsi. Sumber yang utama adalah dari jurnal, khususnya jurnal internasional untuk teknologi separasi dan pemurnian. Dari hasil studi literatur ini diharapkan diperoleh data yang dapat digunakan sebagai pembanding keberhasilan penelitian yang akan dilakukan terutama dalam hal perpindahan massa yang terjadi di dalam proses biosorpsi yang akan diteliti.

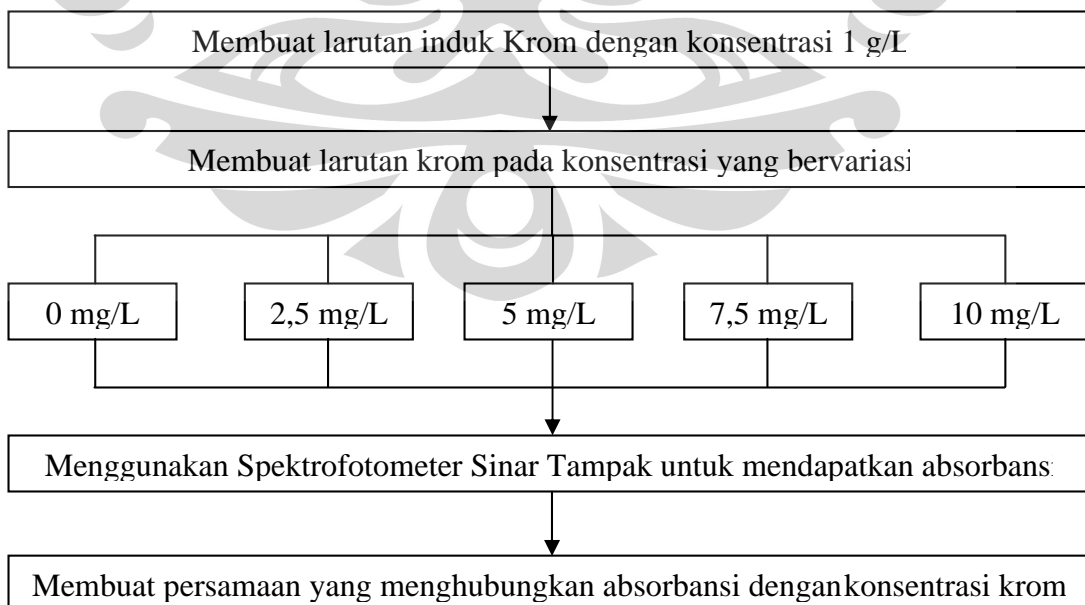
3.3.2 Tahap Preparasi Biosorben



Gambar 3.2 Diagram alir preparasi biosorben

Biosorben yang akan dibuat berasal dari kulit batang jambu klutuk. Pertama-tama biomaterial dari kulit batang dihaluskan menggunakan *blender*. Biomaterial ini kemudian dicuci, dikeringkan oleh matahari selama 5 hari. Setelah kering, material akan dimasukkan kedalam kotak kedap udara yang tertutup rapat. Semua material ini akan digunakan langsung untuk proses biosorpsi tanpa adanya perlakuan awal.

3.3.3 Pembuatan Kurva Kalibrasi pada Spektrofotometer

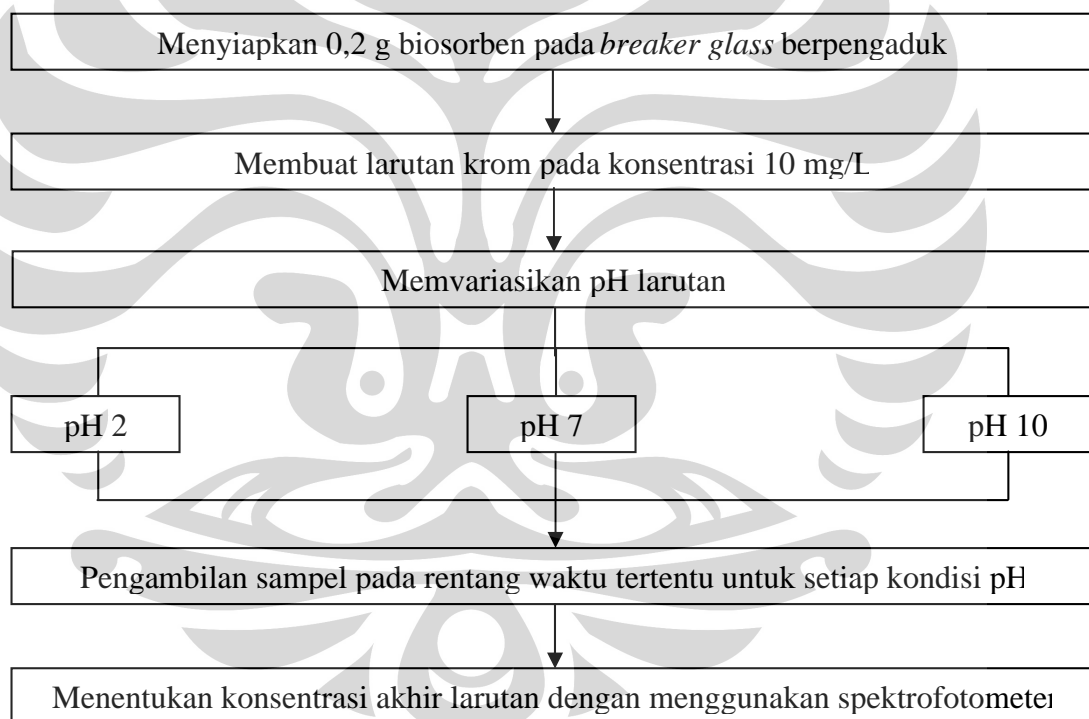


Gambar 3.3 Diagram alir pembuatan kurva kalibrasi pada spektrofotometer

Pertama-tama akan dibuat larutan induk krom 1000 mg/liter dengan cara melarutkan $K_2Cr_2O_7$ sebanyak yang mengandung Cr 1 gram ke dalam air menggunakan labu ukur 1000 ml. Sampel yang akan digunakan untuk eksperimen konsentrasi ion logam kromnya 10 mg/liter dan dibuat dengan cara melarutkan 10 ml larutan induk menjadi 1000 ml.

Untuk mengkalibrasi alat digunakan sampel larutan yang konsentrasi ion logam kromnya 0; 2,5; 5; 7,5; dan 10 mg/liter. Larutan ini dibuat dengan cara melarutkan 0; 2,5; 5; 7,5; dan 10 ml larutan induk menjadi 1000 ml. Kemudian larutan ini akan digunakan untuk membuat kurva kalibrasi berdasarkan hasil pengukuran Spektrofotometer.

3.3.4 Uji Kinetika Adsorpsi

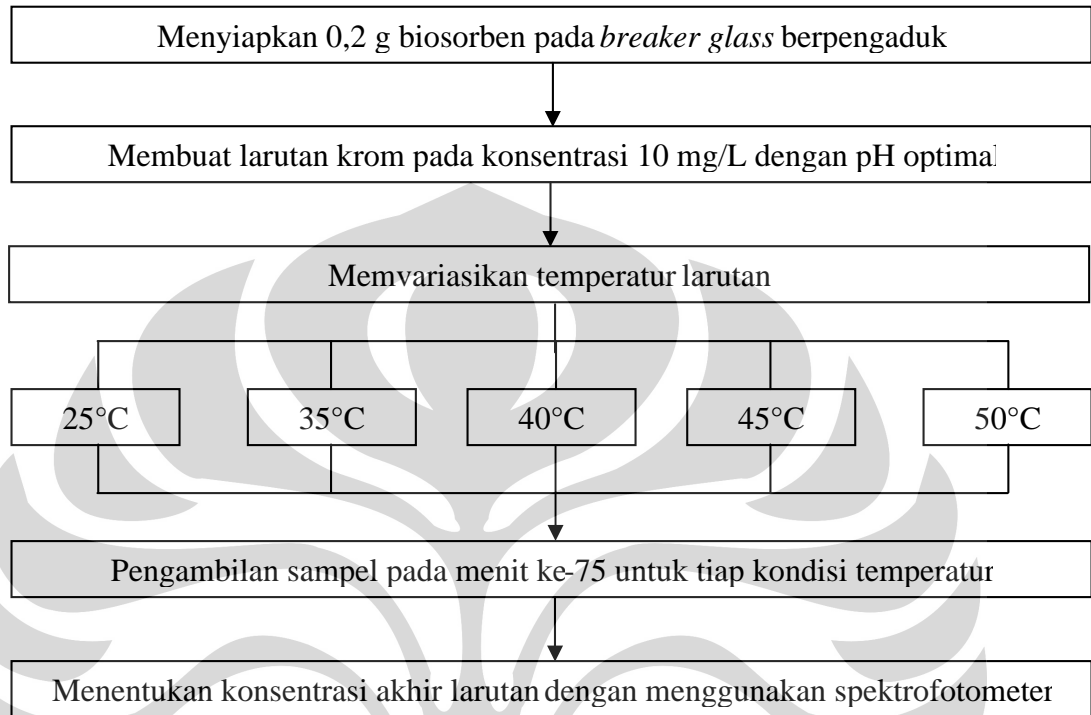


Gambar 3.4 Diagram alir uji kinetika adsorpsi

Uji kinetika adsorpsi ion logam krom oleh biosorben dilakukan di dalam *beaker glass* pada temperatur ruang ($25^{\circ}C$) menggunakan pengaduk pada 70 rpm. Eksperimen ini akan dilakukan pada pH 2, 7 dan 10 dan konsentrasi awal ion krom 10 mg/liter sebanyak 100 ml dan dosis biosorbennya 2 gram/liter. Sampel dari dalam *beaker glass* diambil pada interval waktu yang berbeda kemudian disaring dimana filtratnya akan diukur absorbansinya dengan spektrofotometer

untuk mengetahui konsentrasi ion krom yang masih tertinggal di dalam larutan tersebut.

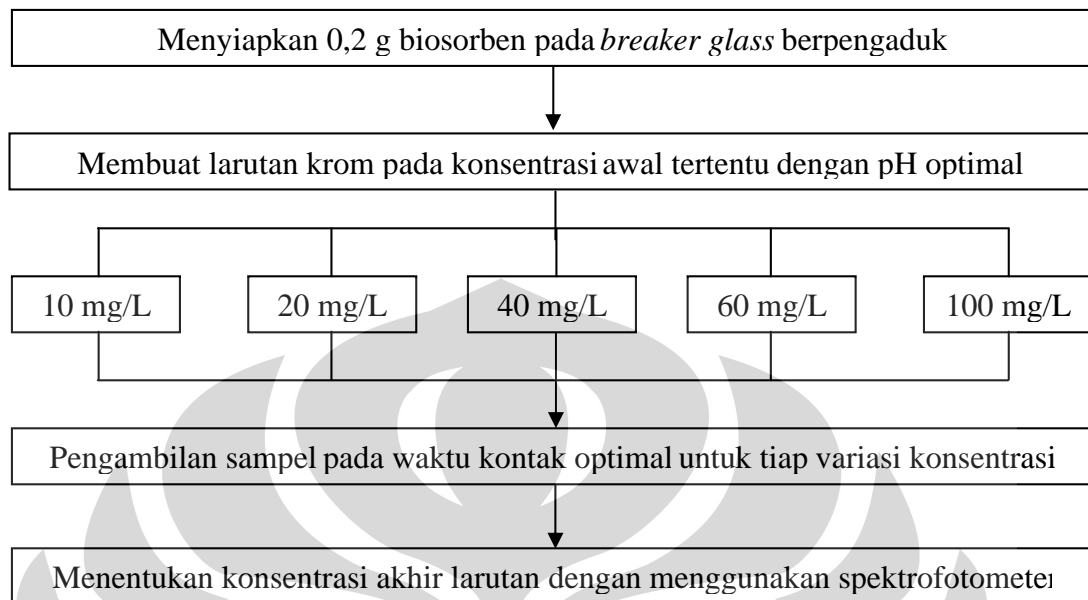
3.3.5 Uji Pengaruh Temperatur



Gambar 3.5 Diagram alir uji pengaruh temperatur

Uji pengaruh temperatur dilakukan di dalam *beaker glass* pada variasi temperatur (25; 35; 40; 45; 50°C) menggunakan pengaduk pada 70 rpm. Eksperimen ini hanya dilakukan pada pH optimum dengan konsentrasi awal ion logam krom 10mg/liter sebanyak 100 ml dan dosis biosorbennya 2 gram/liter. Setelah sampel dicampur selama 75 menit, sampel disaring menggunakan kertas saring, dan filtratnya dianalisa untuk diukur konsentrasi ion krom yang tersisa dalam larutan.

3.3.6 Uji Adsorpsi Isotermis



Gambar 3.6 Diagram alir uji adsorpsi isotermis

Uji adsorpsi isotermis dilakukan di dalam *beaker glass* pada temperatur ruang (25°C) menggunakan pengaduk pada 70 rpm. Eksperimen hanya akan dilakukan pada pH optimum dengan variasi konsentrasi awal ion logam krom (10; 20; 40; 60; 100 mg/liter) sebanyak 100 ml dan dosis biosorbennya 2 gram/liter. Setelah sampel dicampur selama waktu kontak optimal, sampel disaring menggunakan kertas saring, dan filtratnya dianalisa untuk diukur konsentrasi ion krom yang tersisa dalam larutan.

3.3.7 Analisis Data Hasil Eksperimen

Banyaknya ion logam yang diserap oleh biosorben pada selang waktu tertentu dapat dihitung dari perubahan konsentrasi ion logam di dalam larutan air sebelum dan sesudah eksperimen penyerapan. Dari data hasil uji kinetika dan pengaruh temperatur akan dianalisa pengaruh pH dan temperatur terhadap prosentase penyerapan ion logam krom oleh biosorben selama selang waktu eksperimen tertentu. Data ini sangat berguna untuk mengevaluasi efektivitas penyerapan biosorben yang digunakan.

Kapasitas biosorben untuk pengambilan sorbat pada kondisi setimbang diperoleh dari eksperimen uji kinetika dimana dari pengolahan datanya akan diperoleh konsentrasi kesetimbangan ion logam di dalam larutan dan di dalam biosorben. Sementara dari uji kinetika akan diperoleh konsentrasi ion logam yang tersisa di dalam larutan air sebagai fungsi waktu proses penyerapan.

Untuk mengetahui sifat adsorpsi yang dimiliki oleh biosorben digunakan uji adsorpsi isotermis. Pada uji adsorpsi isotermis ini akan didapatkan data mengenai kemampuan adsorpsi dari biosorben pada variasi konsentrasi. Kemudian dari data yang diperoleh diatas akan dibuat persamaan sederhana yang mengkorelasikan konsentrasi ion logam di fasa cair dan fasa padat dengan kapasitas dan intensitas penyerapan yang terjadi yang dikenal dengan persamaan Freundlich.

Kedua data di atas yang merupakan 2 aspek fisiko-kimia proses yaitu kinetika dan kesetimbangan penyerapan sangat diperlukan untuk mengevaluasi proses penyerapan sebagai suatu unit operasi yang dapat diaplikasikan di lapangan. Kinetika penyerapan akan menggambarkan laju pengambilan zat terlarut, yang pada gilirannya akan dipengaruhi oleh waktu kontak, yang merupakan karakteristik penting dalam mendefinisikan efisiensi penyerapan. Studi mengenai kesetimbangan konsentrasi ion logam dalam sistem cair-padat pada proses penyerapan sangat penting dalam menentukan distribusi zat terlarut tadi di dalam fasa cair dan fasa padat serta untuk menentukan kelayakan dan kapasitas biosorben untuk proses penyerapan.

3.4 LOKASI PENELITIAN

Sebagian besar penelitian akan dilakukan di Laboratorium Proses Intensifikasi di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Sedangkan khusus untuk analisis spektrofotometer sinar tampak, penelitian akan dilakukan di Laboratorium Bioproses, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Analisis pada penelitian ini menggunakan alat bantu berupa spektrofotometer sinar tampak untuk mengetahui konsentrasi ion logam krom di dalam larutan sampel. Pada bab ini akan ditampilkan hasil-hasil yang didapat dari karakterisasi hasil adsorpsi serta pembahasannya.

4.1 UJI KINETIKA ADSORPSI PADA VARIASI pH LARUTAN

Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi secara *batch* pada *beaker glass* yang diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet. Data yang diambil pada penelitian ini adalah konsentrasi akhir ion logam krom pada rentang waktu kontak tertentu. Rentang waktu kontak yang dijadikan patokan pengambilan data konsentrasi akhir ion logam krom adalah setiap 15 menit sekali.

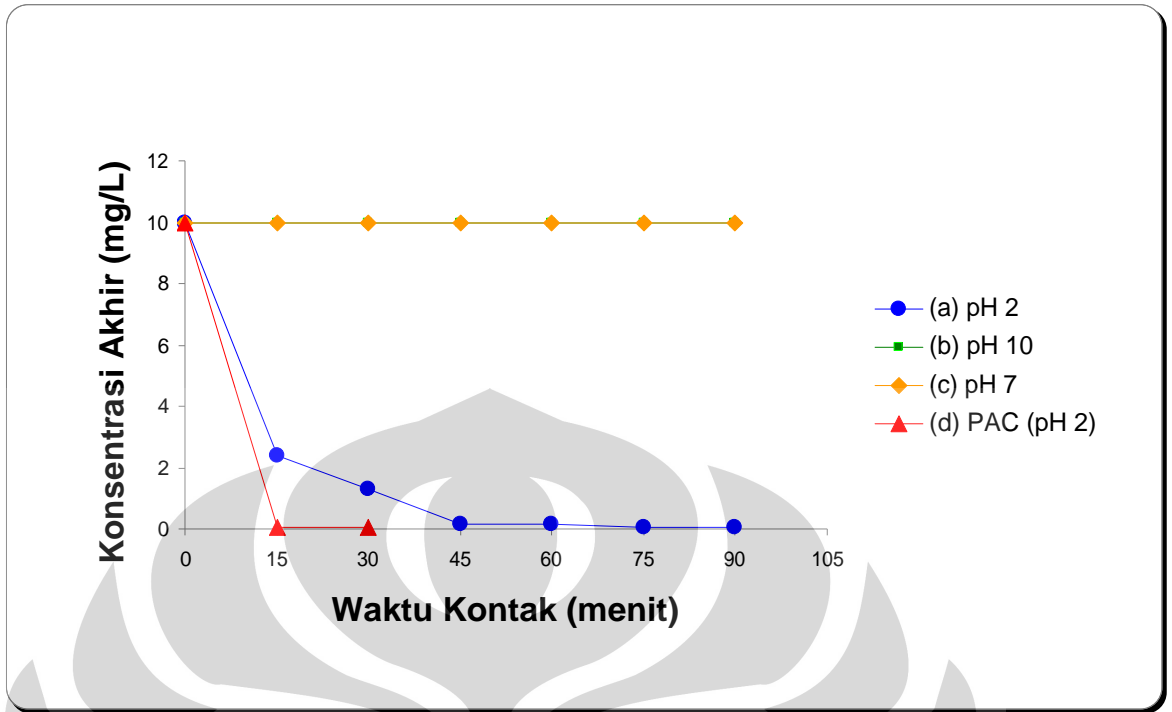
Variasi pH yang dipilih berdasarkan tiga kondisi utama larutan, yakni asam, netral, dan basa, dimana variasi yang biasa digunakan adalah pada pH 2, 7, dan 10 (Arslan dan Pehlivan, 2006).

4.1.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Krom yang Teradsorpsi

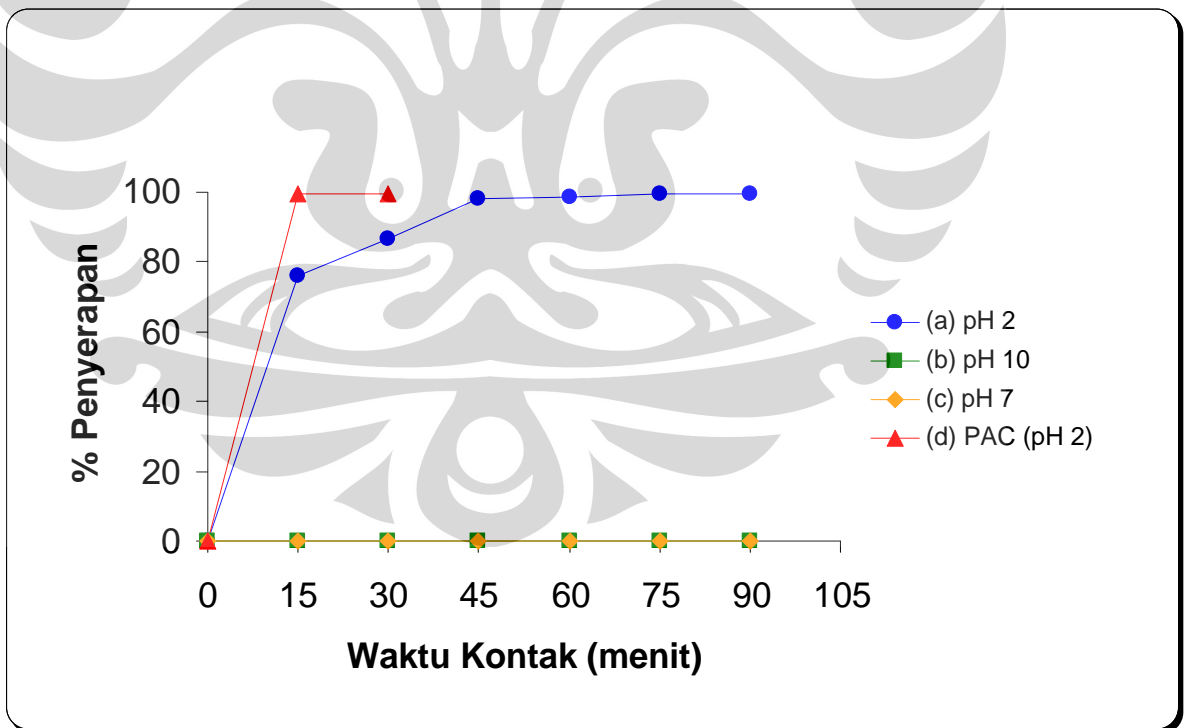
Dari pengujian yang dilakukan dengan waktu kontak yang berbeda dapat diketahui pengaruh waktu kontak terhadap krom yang teradsorpsi seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.

Kurva (a), (b), dan (c) adalah perubahan konsentrasi akhir ion logam krom yang dilakukan pada beaker glass berpengaduk dengan kondisi operasi :

- Dosis biosorben : 2 gr/L
- Volume larutan : 100 mL
- Suhu operasi : Temperatur ruang (25°C)
- Tekanan operasi : Tekanan ruang
- Konsentrasi awal ion logam krom : 10 mg/L



Gambar 4.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Konsentrasi Akhir Krom



Gambar 4.2 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Penyerapan Krom

Limbah logam krom dibuat dengan melarutkan $K_2Cr_2O_7$ ke dalam aquadest dan disesuaikan pHnya dengan bantuan HCl (untuk kondisi asam) dan NaOH (untuk kondisi netral dan basa). Jumlah $K_2Cr_2O_7$ telah diperhitungkan sehingga konsentrasi ion logam krom yang terdapat pada larutan tepat 10 mg/L.

Larutan limbah berwarna kuning bening, hal ini menunjukkan kandungan krom yang terlarut didalamnya. Setelah melalui proses kontak dengan biosorben secara batch, warna larutan terlihat semakin pudar yang menunjukkan pengurangan kandungan krom karena terserap oleh biosorben. Fenomena ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Perbandingan Warna Larutan Krom

Kurva (a) pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 merupakan penggambaran dari proses adsorpsi yang berlangsung pada pH 2. Dari kurva terlihat bahwa pada 15 menit pertama sudah terjadi pengurangan ion logam krom secara signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa kulit batang jambu klutuk mempunyai kecepatan penyerapan yang baik. Untuk rentang waktu kontak 15 menit hingga 45 menit masih terjadi penurunan konsentrasi ion logam krom yang signifikan, namun dari rentang waktu 45 menit hingga 90 menit pengurangan ion logam krom dapat dinyatakan sudah tidak signifikan lagi.

Pada kurva (a) dapat terlihat bahwa proses adsorpsi mencapai titik kesetimbangan pada rentang waktu kontak antara 75 menit dan 90 menit. Titik kesetimbangan tercapai bilamana pengurangan konsentrasi ion logam krom mencapai titik maksimalnya sehingga penambahan waktu kontak tidak akan memberikan pengaruh apapun pada pengurangan konsentrasi ion logam krom.

Titik kesetimbangan atau dapat disebut juga konsentrasi kesetimbangan yang dicapai pada uji kinetika ini adalah 0,03 mg/L ion logam krom terlarut.

Konsentrasi kesetimbangan yang diperoleh dapat dikatakan sangat optimal untuk proses adsorpsi karena konsentrasinya mendekati air murni (digambarkan dengan larutan yang sangat bening setelah proses kontak). Hal ini menyatakan bahwa kemampuan penyerapan kulit batang jambu klutuk sangat maksimal.

Kurva (b) merupakan penggambaran dari proses adsorpsi yang berlangsung pada pH 10, sedangkan kurva (c) pada pH 7. Kurva (b) dan (c) tidak menunjukkan adanya perubahan konsentrasi ion logam krom. Penyebab dari hal ini akan dibahas pada bagian pengaruh pH terhadap krom yang teradsorpsi.

Dari uji ini dapat diambil kesimpulan bahwa semakin lama waktu kontak larutan krom dengan biosorben maka akan semakin banyak ion logam krom yang terserap. Hal ini dikarenakan semakin lama larutan krom mengalami kontak dengan biosorben maka akan semakin banyak pula ion logam krom yang masuk kedalam pori-pori biosorben. Namun pada uji ini juga diketahui bahwa terdapat konsentrasi kesetimbangan yang dicapai dimana hal ini diakibatkan oleh sudah samanya jumlah ion logam krom yang diserap dan dilepaskan kembali oleh biosorben.

4.1.2 Perbandingan Kulit Batang Jambu Klutuk dengan Adsorben Komersial

Untuk mengetahui kemampuan sebenarnya dari kulit batang jambu klutuk sebagai sebuah adsorben maka pada penelitian ini kemampuannya dapat dibandingkan dengan *Powder Activated Carbon* (PAC) atau yang dikenal dengan karbon aktif. Parameter yang dibandingkan pada penelitian ini adalah waktu kesetimbangan masing-masing adsorben pada tiap kondisi pH.

Telah diketahui sebelumnya bahwa proses adsorpsi ion logam krom, untuk konsentrasi 10 mg/L sebanyak 100 mL pada tekanan dan temperatur ruang dengan dosis kulit batang jambu klutuk sebagai biosorben sebanyak 2 g/L, memiliki waktu kesetimbangan 75 menit. Selain itu, proses adsorpsi krom hanya bekerja pada pH 2. Sedangkan untuk proses adsorpsi ion logam krom, untuk konsentrasi 10 mg/L sebanyak 100 mL pada tekanan dan temperatur ruang dengan dosis karbon aktif sebagai biosorben sebanyak 2 gr/L, memiliki waktu kesetimbangan

15 menit (Gambar 4.1). Dari perbandingan waktu kesetimbangan dapat diambil kesimpulan bahwa kemampuan kulit batang jambu klutuk sebagai adsorben masih di bawah karbon aktif.

Karbon aktif memiliki kemampuan yang lebih baik karena beberapa alasan. Yang pertama adalah karbon aktif memiliki ukuran partikel (adsorben) yang lebih kecil. Ukuran partikel karbon aktif dapat diklasifikasikan sebagai serbuk sedangkan kulit batang jambu klutuk dapat diklasifikasikan sebagai butiran. Yang kedua adalah karbon aktif memiliki luas permukaan pori yang sangat besar sehingga digunakan pada proses-proses adsorpsi fisika pada umumnya. Yang selanjutnya adalah tingkat kelembaban karbon aktif yang sangat rendah (dapat dipanaskan dengan temperatur tinggi) dimana kandungan airnya sangat kecil sehingga mampu lebih cepat dalam menyerap ion logam krom dalam larutannya. Sedangkan kulit batang jambu klutuk hanya dapat dipanaskan hingga 50 °C karena bila dikeringkan dengan temperatur diatas itu dapat menyebabkan kerusakan adsorben. Yang terakhir adalah jumlah bagian aktif pada karbon aktif jelas lebih banyak dibandingkan dengan kulit batang jambu klutuk yang hanya melalui proses preparasi sederhana.

4.1.3 Pengaruh pH Terhadap Krom yang Teradsorpsi

Proses pengkontakkan ion logam krom dengan kulit batang jambu klutuk sebagai biosorben dilakukan pada tiga nilai pH yang berbeda. Hubungan antara nilai pH larutan dengan dan konsentrasi akhir ion logam krom dapat dilihat pada Gambar 4.1. Penelitian dilakukan pada rentang waktu tertentu dengan konsentrasi awal ion logam krom yang telah ditentukan, yakni 10 mg/L. Menggunakan temperatur ruang dan metode yang sama untuk tiap nilai pH. Dapat dilihat bahwa proses penyerapan ion logam krom hanya bekerja pada pH 2, dimana pada kedua nilai pH lainnya (pH 7 dan pH 10) tidak terjadi penyerapan ion logam krom sedikitpun yang ditandai dengan tidak berubahnya konsentrasi akhir ion logam krom.

Mekanisme adsorpsi ion logam krom oleh kulit batang jambu klutuk sebagai biosorben belumlah diketahui sebelumnya. Variasi dalam perlakuan awal, persiapan bahan, metodologi, dan perilaku logam dapat menjadi pertimbangan

dalam mengetahui mekanismenya, namun hal ini dirasa sulit. Teori-teori yang dapat dipertimbangkan untuk menjelaskan mekanisme adsorpsi ion logam krom adalah pertukaran ion, adsorpsi permukaan, adsorpsi kimia, kompleksasi, dan adsorpsi-kompleksasi (Arslan dan Pehlivan, 2006).

Mekanisme seperti gaya elektrostatis, pertukaran ion, dan kompleksasi kimia harus diperhitungkan bila menganalisis pengaruh pH terhadap adsorpsi ion logam krom. Salah satu mekanisme yang paling umum yang diajukan adalah gaya elektrostatis secara tarik-menarik atau tolak-menolak antara adsorben dan adsorbat (Arslan dan Pehlivan, 2006). Dengan demikian, seharusnya pola adsorpsi ion logam krom pada kondisi asam adalah akibat dari gaya elektrostatis tarik-menarik antara bagian positif dari permukaan biosorben dan anion HCrO_4^- yang merupakan jenis paling dominan pada pH rendah (Weckhuysen dkk, 1996). Selain itu, ketidakmampuan kulit batang jambu klutuk untuk menyerap ion logam krom pada pH netral dan basa diakibatkan oleh tidak adanya gaya elektrostatis tarik-menarik antara biosorben dan adsorbat. Hal ini dapat dimungkinkan dengan kalah bersaingnya anion-anion krom (HCrO_4^- dan CrO_4^{2-}) dengan ion OH^- dalam penyerapannya oleh daerah aktif dari biosorben. Dari analisis ini, dapat diambil kesimpulan bahwa penghilangan ion logam krom terjadi secara adsorpsi fisik.

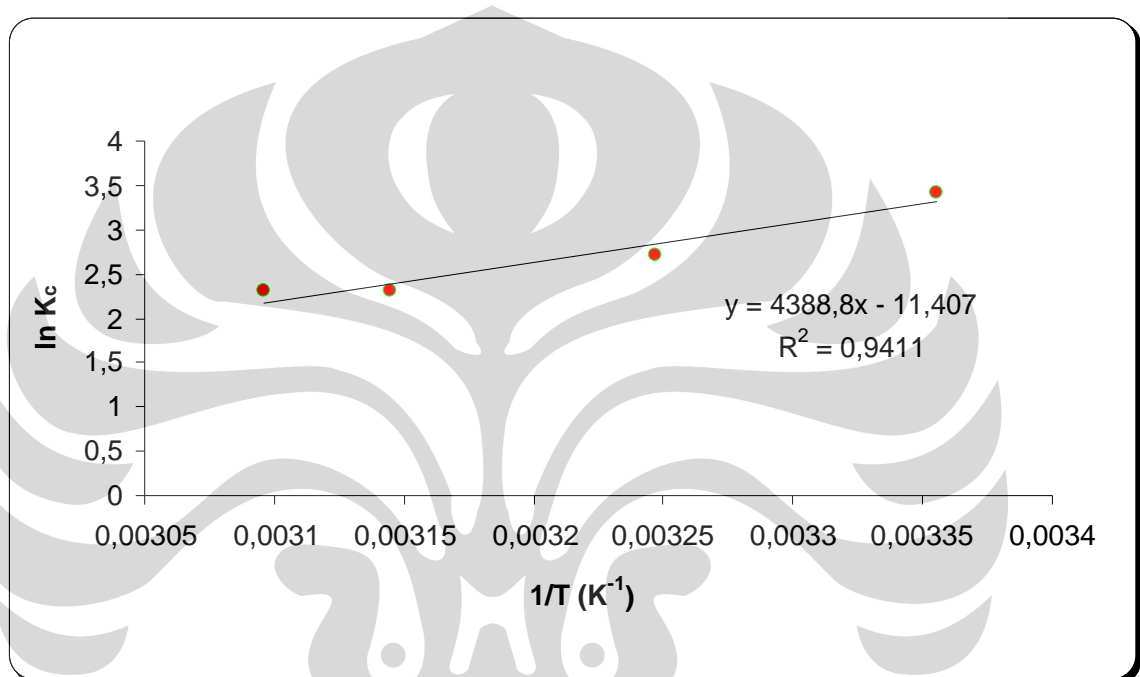
4.2 UJI PENGARUH TEMPERATUR

Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi secara *batch* pada *beaker glass* yang diaduk dengan menggunakan pengaduk bermotor dan diletakkan pada sebuah *water bath* berpemanas. Data yang diambil pada penelitian ini adalah konsentrasi akhir ion logam krom pada waktu kontak optimum dengan variasi temperatur operasi. Waktu kontak optimum adalah waktu kontak yang dibutuhkan untuk mencapai konsentrasi kesetimbangan. Waktu kontak optimum pada penelitian ini adalah 75 menit.

Pada penelitian ini variasi temperatur operasi yang dipilih adalah 25; 35; 45; 50 °C. Selain penentuan waktu kontak dan variasi temperatur, terdapat sebuah kondisi yang harus ditentukan, yakni pH larutan. pH larutan yang digunakan adalah 2 karena didasari oleh uji sebelumnya dimana pH 2 merupakan satu-

satunya kondisi dimana kulit batang jambu klutuk dapat melakukan proses penyerapan. Kondisi operasi yang digunakan pada penelitian ini adalah :

- Dosis biosorben : 2 gr/L
- Volume larutan : 100 mL
- Konsentrasi awal ion logam krom : 10 mg/L
- Tekanan operasi : Tekanan ruang



Gambar 4.4 Pengaruh Temperatur Terhadap Konstanta Kesetimbangan

Pengaruh temperatur (25; 35; 45; 50 °C) pada proses adsorpsi ion logam krom pada pH 2 untuk kulit batang jambu klutuk dapat terlihat di Gambar 4.4. Pengaruh temperatur pada konstanta kesetimbangan (K_c) adsorpsi ion logam krom oleh kulit batang jambu klutuk dapat diamati dari kondisi ini. Konstanta kesetimbangan untuk ion logam krom berkurang seiring dengan kenaikan temperatur dan proses adsorpsi juga berkurang seiring dengan kenaikan temperatur. Hal ini disebabkan oleh sifat adsorpsi eksotermis dari ion logam krom ke kulit batang jambu klutuk dan melemahnya dorongan penyerapan antara bagian aktif biosorben dengan ion logam krom serta antara molekul yang berdekatan dari bagian yang diserap. Karena adsorpsi berlangsung eksotermis, maka jumlah ion

logam krom yang teradsorpsi pada kondisi setimbang pasti berkurang dengan adanya peningkatan temperatur, dikarenakan ΔG° berkurang dengan pengaruh dari peningkatan temperatur larutan. Hal ini menjelaskan mengapa nilai ΔG° (Tabel 4.1) menjadi kurang negatif dengan kenaikan temperatur.

Tabel 4.1 Parameter Termodinamika Proses Adsorpsi Ion Logam Krom oleh Kulit Batang Jambu Klutuk

$$\Delta H^\circ = -527,88 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \quad \Delta S^\circ = -1,372 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$$

T (K)	ΔG° (J mol ⁻¹)
298	-119,024
308	-105,304
318	-91,584
323	-84,724

Apabila dilihat dari segi perubahan konsentrasi kesetimbangan ion logam krom, dapat dinyatakan bahwa pengaruh temperatur tidaklah signifikan karena pengaruhnya sangat kecil. Selain itu, perubahan temperatur lebih memberikan pengaruh terhadap entalpi proses adsorpsi dibandingkan dengan entropi proses adsorpsi ini.

Dengan mengasumsikan koefisien aktivitas seragam pada konsentrasi rendah (Hukum Henry), parameter termodinamika dapat dihitung dengan persamaan berikut (Maron dan Lando, 1974):

$$K_c = \frac{q}{C} \tag{4.1}$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \tag{4.2}$$

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \tag{4.3}$$

dengan

K_c = konstanta kesetimbangan

C = konsentrasi ion logam krom saat setimbang (mmol/L)

q = jumlah ion logam krom yang teradsorpsi (mmol)

ΔS° & ΔH°	= perubahan nilai entropi dan entalpi ($\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$)
ΔG°	= perubahan nilai energi bebas <i>Gibbs</i> (J mol^{-1})
R	= konstanta gas
T	= temperatur operasi (K)

Nilai ΔH° yang negatif mengindikasikan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksotermis, sementara nilai ΔS° yang negatif dapat disamakan dengan berkurangnya derajat kebebasan dari spesi yang teradsorpsi.

4.3 UJI ADSORPSI ISOTERMIS

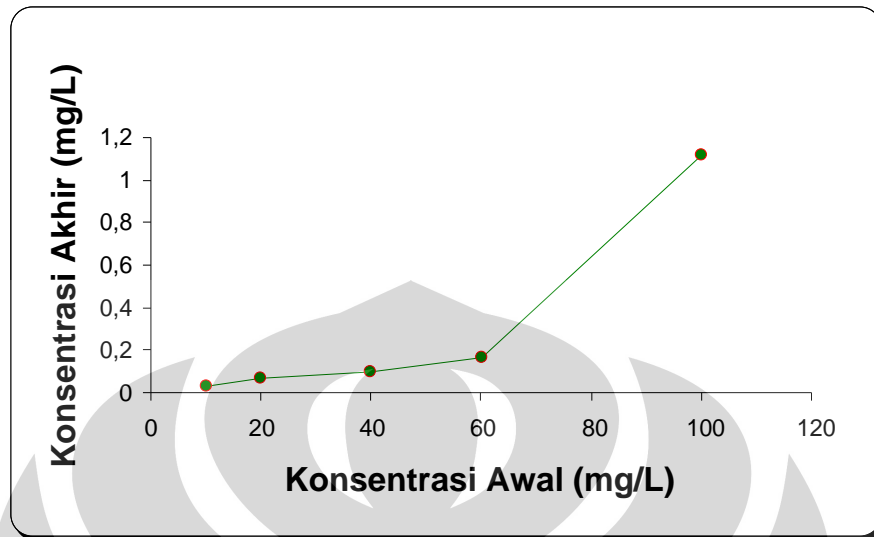
Pada penelitian ini dilakukan adsorpsi secara *batch* pada *beaker glass* yang diaduk dengan menggunakan pengaduk magnet. Data yang diambil pada penelitian ini adalah konsentrasi akhir ion logam krom pada waktu kontak optimum dengan variasi konsentrasi awal ion logam krom. Waktu kontak optimum pada penelitian ini adalah 75 menit.

Pada penelitian ini variasi konsentrasi awal ion logam krom yang dipilih adalah 10; 20; 40; 60; 100mg/L. Selain penentuan waktu kontak dan variasi konsentrasi awal ion logam krom, terdapat sebuah kondisi yang harus ditentukan, yakni pH larutan. pH larutan yang digunakan adalah 2 karena didasari oleh uji sebelumnya dimana pH 2 merupakan satu-satunya kondisi dimana kulit batang jambu klutuk dapat melakukan proses penyerapan. Kondisi operasi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

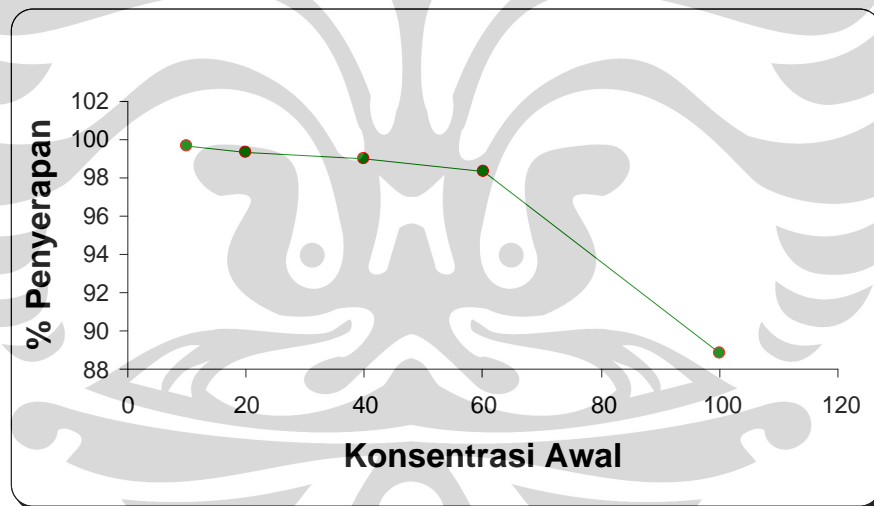
- Dosis biosorben : 2 gr/L
- Volume larutan : 100 mL
- Suhu operasi : Temperatur ruang (25°C)
- Tekanan operasi : Tekanan ruang

Didapatkan hubungan antara pengaruh konsentrasi awal ion logam krom terhadap konsentrasi akhir ion logam krom pada larutan atau dapat disebut juga konsentrasi kesetimbangan adalah semakin tinggi konsentrasi awal maka semakin tinggi pula konsentrasi kesetimbangan. Peningkatan konsentrasi awal juga akan

mengakibatkan persentase penyerapan ion logam krom oleh biosorben berkurang. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.



Gambar 4.5 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal terhadap Konsentrasi Akhir Ion Logam Krom pada Larutan



Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Konsentrasi Awal terhadap % Penyerapan Ion Logam Krom oleh Biosorben

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan konstanta kesetimbangan adsorpsi krom. Untuk menentukan konstanta kesetimbangan adsorpsi krom dapat digunakan pemodelan Freundlich. Persamaan yang digunakan adalah (Maron dan Lando, 1974)

$$y = kC^{1/n} \quad (4.4)$$

dengan

y = jumlah mol krom yang teradsorpsi per massa biosorben (mmol/g biosorben)

C = konsentrasi ion logam krom saat setimbang (mg/L)

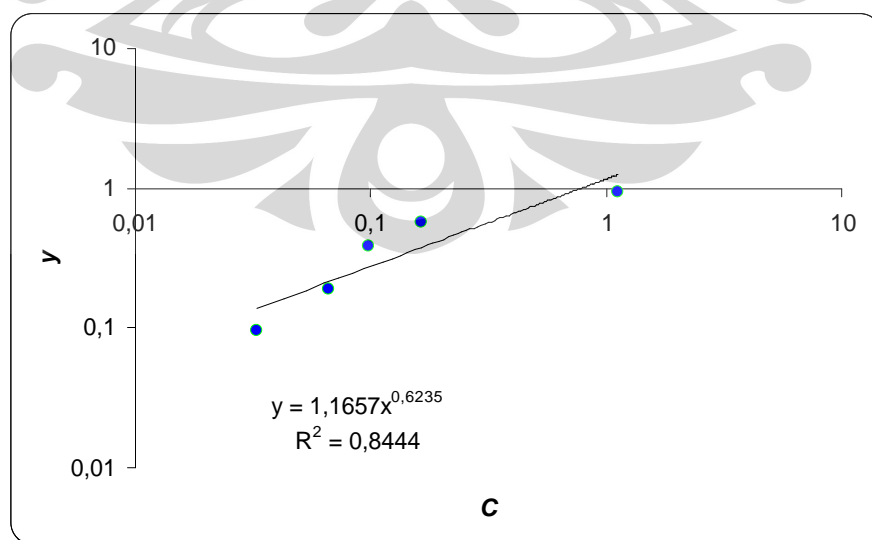
k = konstanta yang menggambarkan kapasitas adsorpsi (mmol/g biosorben)

n = konstanta yang mewakili intensitas adsorpsi

Untuk memudahkan perhitungan dan pengolahan data maka pada penelitian ini persamaan diatas dapat dikalikan dengan logaritma sehingga persamaannya menjadi :

$$\log y = \log k + \frac{1}{n} \log C \quad (4.5)$$

Dengan pemodelan seperti ini maka dapat diplotkan antara log konsentrasi akhir ion logam krom pada larutan sebagai sumbu x dengan log jumlah mol krom yang teradsorpsi sebagai sumbu y. Bentuk grafik (Gambar 4.7) yang dihasilkan pada kondisi isotermis ini dapat memperkirakan sistem adsorpsi ini berjalan secara menguntungkan atau tidak. Teori Isotermis Freundlich berkata bahwa perbandingan antara jumlah padatan yang terserap pada jumlah massa biosorben tertentu dengan konsentrasi padatan akhir pada larutan tidaklah konstan pada konsentrasi awal larutan yang berbeda.



Gambar 4.7 Adsorpsi Isotermis dengan Pemodelan Freundlich

Dapat dilihat pada Gambar 4.7 bahwa plot antara $\log y$ dengan $\log C$ untuk variasi konsentrasi awal dinyatakan linear, menunjukkan bahwa pemodelan yang digunakan cukup sesuai dengan hasil yang diperoleh (nilai $R^2 = 0,8444$) dan sistem adsorpsi ini. Didapatkan dari grafik pada Gambar 4.7 persamaan:

$$y = 1,1657 C^{1/1,6} \quad (4.4)$$

dengan ini maka nilai kapasitas adsorpsi (k) untuk sistem ini adalah 1,1657 mmol/g biosorben dan intensitas adsorpsi (n) adalah 1,6. Nilai k yang lebih tinggi akan menunjukkan lebih besarnya gaya tarik menarik antara biosorben dengan krom dan nilai n antara 1 hingga 10 menunjukkan sistem adsorpsi yang menguntungkan (Brown dkk, 2000).

Jumlah ion logam krom yang teradsorpsi per satuan massa kulit batang sebagai biosorben (kapasitas adsorpsi) meningkat seiring dengan konsentrasi awal ion logam krom seperti yang diharapkan. Apabila konsentrasi awal ion logam krom terus dinaikkan maka akan tercapai kondisi puncak yang mewakili kejenuhan sistem yang berkaitan dengan proses interaksi ion logam krom dengan biosorben. Pada penelitian ini tidak didapatkan kondisi puncak karena keterbatasan alat analisis dimana ketelitian alat analisis pada konsentrasi tinggi dinilai tidak akurat (lebih besar dari 10 mg/L).

Kesetimbangan isoterms, yakni hubungan antara jumlah ion logam krom yang teradsorpsi per satuan massa biosorben dengan konsentrasi akhir ion logam krom, adalah suatu hal penting untuk menjelaskan bagaimana padatan terlarut berinteraksi dengan kulit batang jambu klutuk sebagai biosorben dan merupakan faktor penting dalam mengoptimalkan penggunaan biosorben.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1. Penghilangan ion logam krom dari air limbah dapat dilakukan melalui proses biosorpsi menggunakan kulit batang jambu klutuk (*psidium guajava*) sebagai biosorben.
2. Kulit batang jambu klutuk dapat menyerap hingga lebih dari 99% ion logam krom pada pH 2. Kulit batang jambu klutuk tidak dapat menyerap ion logam krom pada pH 7 dan 10.
3. Kulit batang jambu klutuk memiliki waktu kesetimbangan 75 menit untuk konsentrasi awal ion logam krom 10 mg/L dengan dosis biosorben 2 g/L pada temperatur ruang, sedangkan pada kondisi yang sama karbon aktif memiliki waktu kesetimbangan 15 menit.
4. Kemampuan adsorpsi ion logam krom oleh kulit batang jambu klutuk akan menurun seiring dengan peningkatan temperatur operasi. Hal ini dikarenakan adsorpsi berjalan secara eksotermis.
5. Dari uji adsorpsi isotermis diketahui bahwa kapasitas adsorpsi ion logam krom oleh kulit batang jambu klutuk adalah 1,17 mmol/g biosorben dan berdasarkan intensitasnya dapat dinyatakan bahwa penggunaan kulit batang jambu klutuk sebagai adsorben menguntungkan.

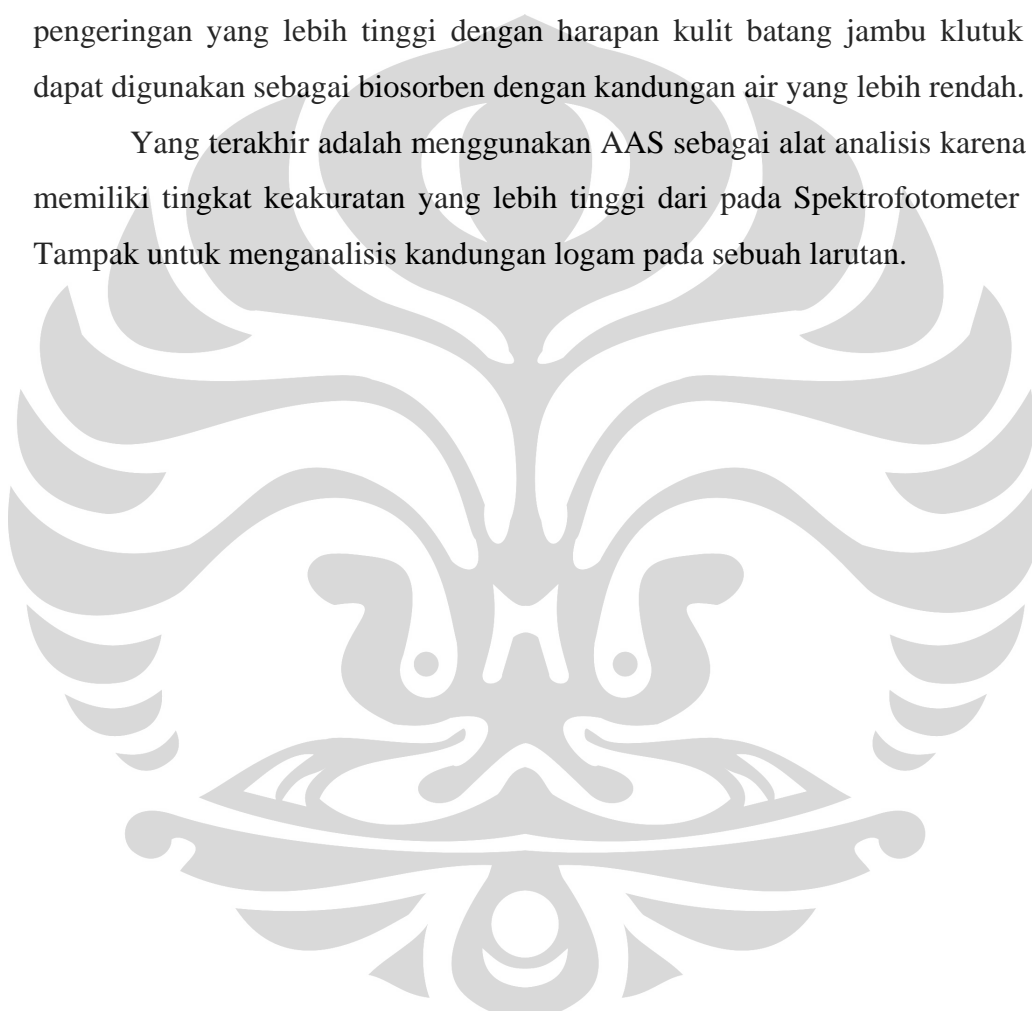
5.2 SARAN

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian ini antara lain menggunakan limbah nyata (terdiri dari campuran berbagai senyawa) sebagai larutan yang akan diadsorpsi karena pada aplikasinya kulit batang jambu klutuk harus dapat bekerja optimal pada kondisi nyata dengan limbah campuran. Selain itu, pada penelitian berikutnya sebaiknya menggunakan sistem kontinu, dalam hal ini dapat digunakan sebuah kolom adsorpsi untuk memisahkan logam berat dari larutannya dengan pertimbangan keekonomian proses adsorpsi mengingat kapasitas yang lebih besar

bila digunakan sistem kontinu. Dengan pertimbangan ekonomi juga maka sebaiknya pada penelitian selanjutnya disarankan menguji kemampuan regenerasi kulit batang jambu klutuk. Hal ini berkaitan dengan efisiensi penggunaan kulit batang jambu klutuk sebagai biosorben.

Pada penelitian ini temperatur pengeringan biosorben dijaga pada suhu maksimum 50°C atau pengeringan dengan bantuan cahaya matahari. Disarankan untuk penelitian berikutnya agar mencoba untuk menggunakan temperatur pengeringan yang lebih tinggi dengan harapan kulit batang jambu klutuk tetap dapat digunakan sebagai biosorben dengan kandungan air yang lebih rendah.

Yang terakhir adalah menggunakan AAS sebagai alat analisis karena AAS memiliki tingkat keakuratan yang lebih tinggi dari pada Spektrofotometer Sinar Tampak untuk menganalisis kandungan logam pada sebuah larutan.



DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, G.S., Hitendra Kumar Bhuptawat and Sanjeev Chaudhari. (2006). *Biosorption of aqueous chromium(VI) by Tamarindus indica seeds*, Bioresource Technology 97, 949-956.
- Alberty, A., Robert. (1979). *Kimia Fisika*, Edisi Kelima, Cambridge, Massachusets
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation. (1985). *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, 16th Edition, APHA, Washington DC
- Athanasios S. Stasinakis, Nikolas S. Thomaidis, Themistokles D. Lekkas. (2003). *Speciation of chromium liquid anion exchanger Amberlite LA-2 and electrothermal atomic absorption spectrometry*, Analytica Chimica Acta, 478, 119-127.
- Bayramoğlu, G., G. Çelik, E. Yalçın, M. Yılmaz and M.Y. Arıca. (2005). *Modification of surface properties of *Lentinus sajor-caju* mycelia by physical and chemical methods: evaluation of their Cr^{6+} removal efficiencies from aqueous medium*, J. Hazard. Mater. 119, pp. 219–229.
- Brown, P.A., Gill, S.A., Allen, S.J. (2000). *Metal removal from wastewater using peat*. Water Res. 34 (16), 3907-3916.
- Buku Panduan Praktikum Kimia Analitik*, Lab Dasar Proses Kimia, Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia
- Dean, S.A., Tobin, J.M. (1999). *Uptake of chromium cation and anions by milled peat*. Resour. Conserv. Recycl., 27, 151–156.

Fleggal, R., Jerold, L. (2001). *Scientific Review of Toxicological and Human Health Issues Related to the Development of a Public Health, Chromate Toxicity Review Report*

Gode,F., Pehlivan,E. (2006). *Chromium(VI) adsorption by brown coals*, EnergySources, PartA 28, 447–457.

Gulsin Arslan, Erol Pehlivan. (2006). *Batch removal of chromium(VI) from aqueous solution by Turkish brown coals*, Bioresource Technology xxx, xxx–xxx.

<http://en.wikipedia.org/wiki/Chromium>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Guava>

[http://taylorandfrancis.metapress.com/\(fosu3nb4rqbp0qu4oeqx5v45\)/app/home/contribution.asp?referrer=parent&backto=issue,6,7;journal,2,29;linkingpublicationresults,1:101994,1](http://taylorandfrancis.metapress.com/(fosu3nb4rqbp0qu4oeqx5v45)/app/home/contribution.asp?referrer=parent&backto=issue,6,7;journal,2,29;linkingpublicationresults,1:101994,1)

<http://www.blackwell-synergy.com/action/doSearch?action=searchAuthor&dbname=synergy&dbname=crossref&keycbx=guava&keycbx=sorption%20isotherm&checkboxNum=4&result=true&type=simple&cookieSet=1>

http://www.pu.go.id/balitbang/sni/list_kategori_sni_rekap.asp?kd_subpatek=03&kd_bagian=09&kd_jenis=&kd_status=01

Karthikeyan, T., S. Rajgopal and L.R. Miranda. (2005). *Chromium(VI) adsorption from aqueous solution by Hevea Brasilinesis sawdust activated carbon*, J. Hazard. Mater. 124, pp. 192–199.

Khezami, L., and R. Capart. (2005). *Removal of chromium(VI) from aqueous solution by activated carbons: kinetic and equilibrium studies*, J. Hazard. Mater. 123, pp. 223–231.

Lu, A., Zhong, S., Chen, J., Shi, J., Tang, J., Lu, X.. (2006). *Removal of Cr(VI) and Cr(III) from aqueous solutions and industrial wastewaters by natural clino-pymhotite*. Environmental Science Technology, 40(9), 3064-3069.

Madoni,P.,Davoli,D.,Gorbi,G.,Vescovi,L. (1996). *Toxic effect to heavy metals on the activated sludge, protozoan community*, WaterRes. 30,135–142.

Maron, Samuel H., and Jerome B. Lando. (1974). *Fundamentals of Physical Chemistry*, Macmillan Publishing Co. Inc., New York.

Mc. Cabe, L. Waren, E. Jasifi. (1993). *Operasi Teknik Kimia jilid 2*, Edisi Keempat, Erlangga

Oscik, J. (1982). *Adsorption*, Ellis Horwood Limited, England

Park, D., Y.-S. Yun, H.Y. Cho and J.M. Park. (2004). *Chromium biosorption by thermally treated biomass of the brown seaweed, Ecklonia sp.*, Ind. Eng. Chem. Res. 43, pp. 8226–8232.

Soemantojo, Roekmiyati W. (2002). *Diktat Kuliah Pengolahan Limbah*, Teknik Gas dan Petrokimia, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

Sharma,D.C., Foster,C.F. (1994). *A preliminary examination into the adsorption of hexavalent chromium using low-cost adsorbents*. Bioresource Technology, 48, 257–264.

Weckhuysen, B. M., Wachs, I. E., Schoonheydt, R. A. (1996). *Surface Chemistry and Spectroscopy of Chromium in Inorganic Oxides*, Chem. Rev., 96, 3327-3349.

www.bapedal.go.id

www.dhs.cahwet.gov/ps/ddwem/chemicals/chromium6

www.ilpi.com/heavy metal, 2007

www.intisari-online.com, 2007

www.pikiran-rakyat.com



LAMPIRAN

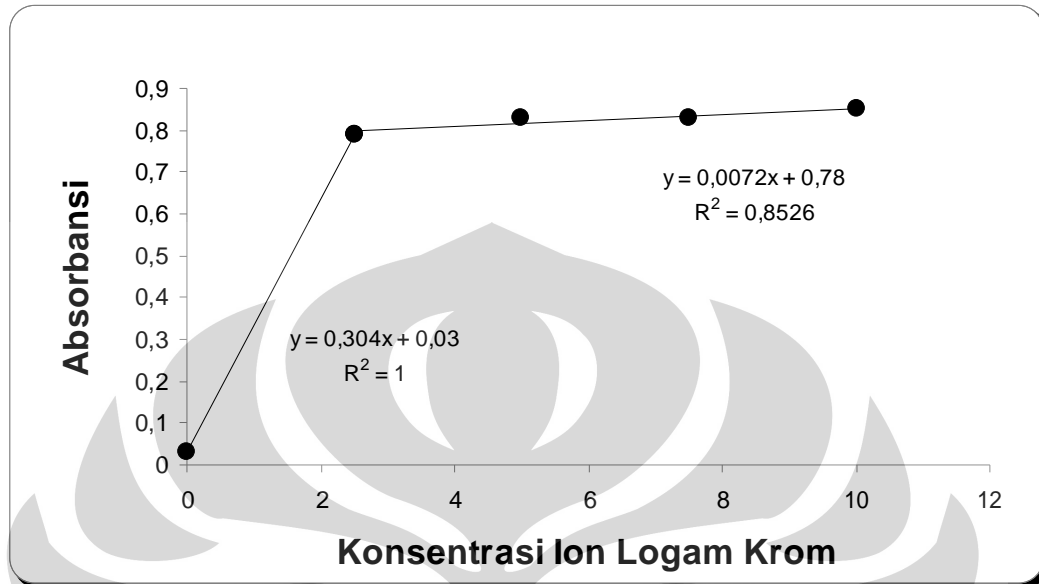
Lampiran 1 Foto kulit batang jambu klutuk yang telah siap digunakan sebagai biosorben



Lampiran 2 Foto Susunan Alat Penelitian



Lampiran 3 Kurva Kalibrasi Spektrofotometer untuk Konsentrasi Ion Logam Krom



Lampiran 4 Pengolahan Data Uji Kinetika (pH 2)

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Penyerapan
0	0,85	10	0
15	0,76	2,401315789	75,98684211
30	0,43	1,315789474	86,84210526
45	0,08	0,164473684	98,35526316
60	0,07	0,131578947	98,68421053
75	0,04	0,032894737	99,67105263
90	0,04	0,032894737	99,67105263

Untuk mendapatkan nilai konsentrasi dapat digunakan persamaan :

$$y = 0,304x + 0,03 \quad (\text{Lampiran 3 untuk absorbansi} < 0,79)$$

Dengan y adalah nilai absorbansi dan x adalah konsentrasi ion logam krom pada larutan yang dianalisis.

Untuk mendapatkan nilai % penyerapan dapat digunakan persamaan :

$$\% \text{ penyerapan} = \frac{(\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir})}{\text{konsentrasi awal}} \times 100\%$$

Lampiran 5 Pengolahan Data Uji Pengaruh Temperatur

T (K)	1/T	Abs	C (mg/L)	C (mmol/L)	q (mmol)	Kc (q/C)	ln Kc
298	0,003355	0,04	0,032895	0,00063	0,019168	30,3	3,41
308	0,003246	0,05	0,065789	0,00126	0,019104	15,1	2,71
318	0,003145	0,06	0,098684	0,00189	0,019041	10,03	2,31
323	0,003096	0,06	0,098684	0,00189	0,019041	10,03	2,31

Untuk mendapatkan nilai konsentrasi akhir (C) dapat digunakan persamaan :

$$y = 0,304x + 0,03 \quad (\text{Lampiran 3 untuk absorbansi} < 0,79)$$

Dengan y adalah nilai absorbansi dan x adalah konsentrasi ion logam krom pada larutan yang dianalisis.

Sedangkan untuk C dalam mmol/L, hasil dari perhitungan sebelumnya dapat dibagi dengan berat molekul krom yakni 52 mg/mmol.

Untuk mendapatkan nilai jumlah mol ion krom teradsorp dapat digunakan persamaan :

$$q = \frac{(\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}) \times V \text{ larutan}}{BM \text{ krom}}$$

Lampiran 6 Pengolahan Data Uji Adsorpsi Isotermis

Konsentrasi Awal (mg/L)	Absorbansi	C (mg/L)	y (mmol/g biosorben)
10	0,04	0,032894737	0,095837551
20	0,05	0,065789474	0,191675101
40	0,06	0,098684211	0,383666498
60	0,08	0,164473684	0,575341599
100	0,37	1,118421053	0,950784413

Untuk mendapatkan nilai konsentrasi akhir (C) dapat digunakan persamaan :

$$y = 0,304x + 0,03 \quad (\text{Lampiran 3 untuk absorbansi} < 0,79)$$

Dengan y adalah nilai absorbansi dan x adalah konsentrasi ion logam krom pada larutan yang dianalisis.

Untuk mendapatkan nilai jumlah ion krom teradsorpsi per massa biosorben dapat digunakan persamaan :

$$y = \frac{(\text{konsentrasi awal} - \text{konsentrasi akhir}) \div \text{BM krom} \times V \text{ larutan}}{\text{Massa biosorben yang digunakan}}$$

