

**PENYISIHAN ION LOGAM KROM DARI AIR
LIMBAH MELALUI PROSES BIOSORPSI
MENGUNAKAN DAGING BUAH TANAMAN
JAMBU BIJI (*PSIDIUM GUAJAVA*) SEBAGAI
BIOSORBEN**

SKRIPSI

Oleh

GIYOT PARTOHAP MANIK

04 04 06 701 7



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

**PENYISIHAN ION LOGAM KROM DARI AIR
LIMBAH MELALUI PROSES BIOSORPSI
MENGUNAKAN DAGING BUAH TANAMAN
JAMBU BIJI (*PSIDIUM GUAJAVA*) SEBAGAI
BIOSORBEN**

SKRIPSI

Oleh

GIYOT PARTOHAP MANIK
04 04 06 701 7



**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 DAGING BUAH TANAMAN
JAMBU BIJI (*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, 15 Juli 2008

Giyot Partohap Manik

NPM 04 04 06 701 7

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul,

**PENYISIHAN ION LOGAM KROM DARI AIR LIMBAH MELALUI
PROSES BIOSORPSI MENGGUNAKAN DAGING BUAH TANAMAN
JAMBU BIJI (*PSIDIUM GUAJAVA*) SEBAGAI BIOSORBEN**

Dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Skripsi ini telah disetujui dan akan diujikan pada sidang ujian skripsi.

Depok, 15 Juli 2008

Dosen Pembimbing,

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

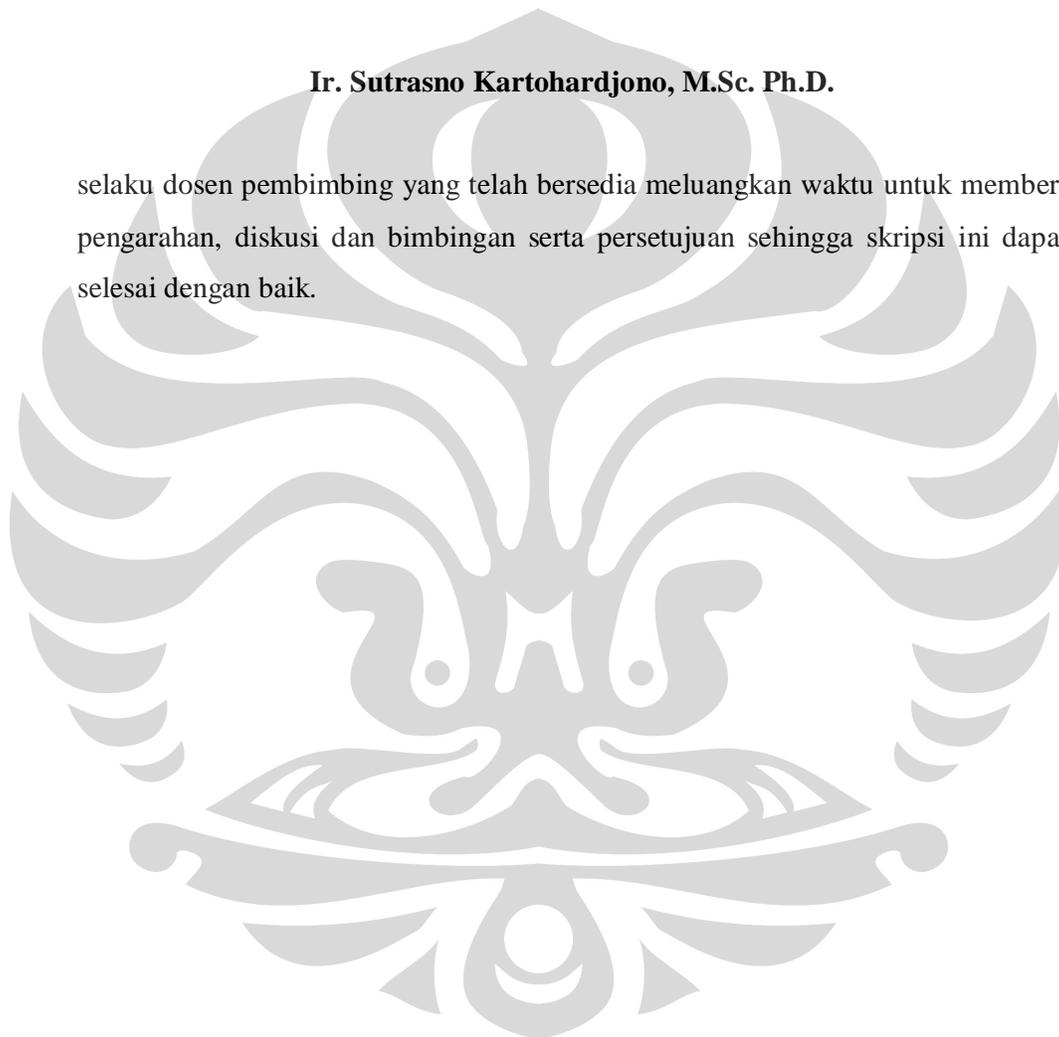
NIP 131 803 508

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.



Giyot Partohap Manik

NPM : 0404067017

Departemen Teknik Kimia

Dosen Pembimbing:

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

**PENYISIHAN ION LOGAM KROM DARI AIR LIMBAH MELALUI
PROSES BIOSORPSI MENGGUNAKAN DAGING BUAH TANAMAN
JAMBU BIJI (*PSIDIUM GUAJAVA*) SEBAGAI BIOSORBEN**

ABSTRAK

Tujuan dari percobaan ini yaitu untuk mendapatkan proses penyisihan ion logam krom melalui proses adsorpsi menggunakan biomaterial yang berasal dari daging buah tanaman jambu biji (*Psidium guajava*). Hasilnya dapat digunakan untuk mengevaluasi kemampuan biomaterial yang digunakan sebagai adsorben untuk menghilangkan ion krom dari air limbah.

Percobaan dilakukan dengan sistem batch dengan dosis biosorben sebesar 2 gr/L. Percobaan yang dilakukan akan memvariasikan waktu kontak dan pH awal larutan untuk mengetahui kinetika adsorpsi dan pengaruh pH terhadap sifat adsorpsi. Sedangkan variasi temperatur digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan temperatur dan parameter termodinamika. Selain itu, variasi konsentrasi awal ion logam krom dalam larutan dilakukan untuk mendapatkan parameter adsorpsi isothermis yang dapat digunakan untuk mengetahui kapasitas dan intensitas adsorpsi.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa daging buah tanaman jambu biji dapat menyerap lebih dari 99% ion logam krom terlarut pada pH 2. Proses adsorpsi tidak dapat bekerja pada pH 7 dan 10. Konstanta kesetimbangan adsorpsi ion logam krom dapat dihitung menggunakan persamaan isothermis Freundlich dan titik kesetimbangan dicapai pada 240 menit. Berdasarkan uji adsorpsi isothermis diketahui bahwa kapasitas adsorpsi ion logam krom oleh daging buah tanaman jambu biji sebesar 0,349 mmol/g biosorben terjadi pada pH 2. Dengan kenaikan temperatur maka konstanta kesetimbangan adsorpsi ion logam krom akan cenderung berkurang.

Kata kunci : Cr (VI), Jambu Biji, Adsorpsi

Giyot Partohap Manik
NPM : 0404067017
Chemical Engineering Department

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

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

ABSTRACT

Purpose of this study is to learn about chromium ions removal by adsorption process using *Psidium guajava*'s fruits. The result can be used for evaluate biomaterial performance as adsorbent to remove chromium ions from waste water.

The experiment will be done by batch system with dosage of the biosorbent is 2 gr/L. 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. The temperature of solution will be varied to learn about effect of temperature difference and thermodynamic parameter. Beside that, initial concentration will be varied to learn about adsorption isotherm parameters which can be used to evaluate adsorption capacity and intensity.

The experiment results show that, *Psidium guajava*'s fruits can adsorb more than 99% of chromium ions that dissolve at pH 2 solution. The adsorption process can't work at pH 7 and 10 of solution. Batch equilibrium tests showed that the chromium ions removal was fitted with Freundlich isotherm and the adsorption reached equilibrium in 240 min. Due to adsorption isotherm experiment, known that chromium ions adsorption capacity by *Psidium guajava*'s fruits is 0,349 mmol/g biosorbent was achieved at pH of 2.0. The rise in temperature caused a slight decrease in the value of the equilibrium constant (K_c) for the sorption of chromium ions.

Key Word : Cr(VI), *Psidium guajava*, Adsorption

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
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG MASALAH.....	1
1.2 RUMUSAN MASALAH.....	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	4
1.5 SISTEMATIKA PENELITIAN.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 KROMIUM.....	5
2.1.1 Toksisitas Kromium.....	5
2.1.2 Paparan Kromium.....	6
2.1.3 Dampak Sifat Karsinogenik Cr terhadap Manusia.....	7
2.1.4 Peraturan tentang Kadar Maksimum Kromium.....	8
2.2 ADSORPSI.....	8
2.2.1 Adsorpsi Fisika.....	9
2.2.2 Adsorpsi Kimia.....	9
2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi.....	10
2.2.4 Operasi Adsorpsi.....	11
2.2.5 Kurva Terobosan (Breakthrough Kurve).....	13
2.2.6 Keseimbangan Adsorpsi.....	14
2.3 JAMBU BIJI SEBAGAI ADSORBEN.....	16
2.3.1 Adsorben.....	16

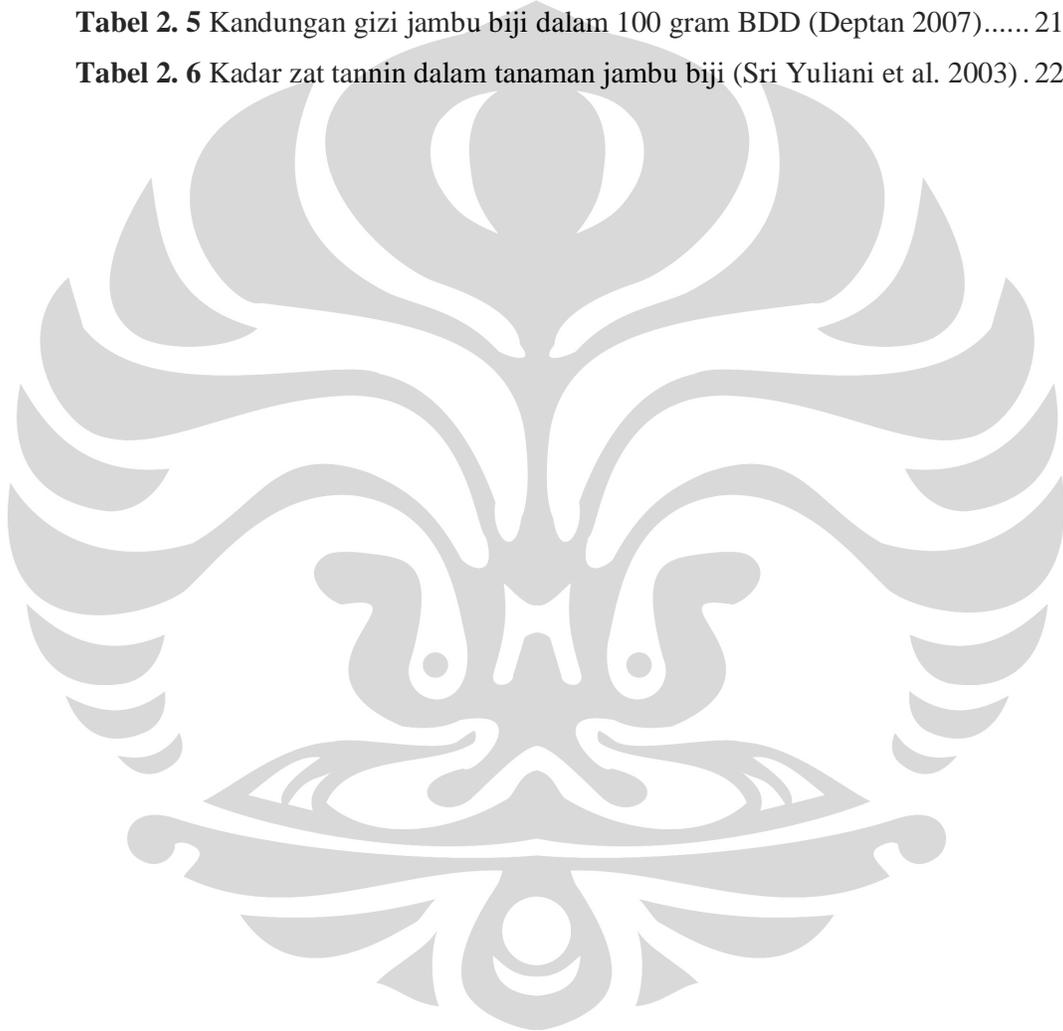
2.3.2 Biosorpsi	18
2.3.3 Jambu Biji	20
2.4 SPEKTROFOTOMETER SINAR TAMPAK.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN	25
3.2 BAHAN DAN PERALATAN PENELITIAN	26
3.2.1 Bahan Penelitian.....	26
3.2.2 Peralatan Penelitian	26
3.3 PROSEDUR PENELITIAN	27
3.3.1 Studi Literatur	27
3.3.2 Preparasi Biosorben.....	27
3.3.3 Pembuatan Kurva Kalibrasi	28
3.3.4 Uji Kinetika Adsorpsi.....	29
3.3.5 Uji Pengaruh Temperatur.....	30
3.3.6 Uji Adsorpsi Isotermis.....	31
3.3.7 Analisis	31
3.4 LOKASI PENELITIAN	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 KALIBRASI SPEKTROFOTOMETER SINAR TAMPAK	33
4.2 UJI KINETIKA ADSORPSI.....	34
4.2.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Ion Logam Krom yang Terserap..	34
4.2.2 Pengaruh pH Terhadap Ion Logam Krom yang Terserap.....	36
4.2.3 Perbandingan Daging Buah Tanaman Buah Jambu Biji dengan Karbon Aktif.....	37
4.3 UJI PENGARUH TEMPERATUR.....	38
4.4 UJI ADSORPSI ISOTERMIS	40
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	43
5.1 KESIMPULAN.....	43
5.2 SARAN.....	43
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gelombang adsorpsi (Schweitzer, Philip A. 1997)	13
Gambar 2. 2 Kurva terobosan (Sontheimer, Crittenden, Summers 1988).....	14
Gambar 2. 3 Perhitungan dari konstanta adsorpsi isothermis Freundlich	15
Gambar 2. 4 Perhitungan dari konstanta adsorpsi isothermis Langmuir	16
Gambar 2. 5 Daging buah tanaman jambu biji	21
Gambar 2. 6 Struktur molekul zat tannin	22
Gambar 2. 7 Susunan alat optik pada spektrofotometer (Mulia et al. 2004).....	23
Gambar 2. 8 Ketelitian dan kepekaan	24
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian	25
Gambar 3. 2 Diagram alir preparasi biosorben	27
Gambar 3. 3 Diagram alir pembuatan kurva kalibrasi pada spektrofotometer....	28
Gambar 3. 4 Diagram alir uji kinetika adsorpsi	29
Gambar 3. 5 Diagram alir uji pengaruh temperatur	30
Gambar 3. 6 Diagram alir uji adsorpsi isothermis	31
Gambar 4. 1 Kurva kalibrasi ion logam krom	33
Gambar 4. 2 Pengaruh waktu kontak terhadap ion logam krom yang terserap ..	35
Gambar 4. 3 Pengaruh pH terhadap ion logam krom yang terserap	36
Gambar 4. 4 Perbandingan kemampuan adsorpsi daging buah tanaman jambu biji dengan karbon aktif	37
Gambar 4. 5 Pengaruh temperatur terhadap ion logam krom yang terserap	39
Gambar 4. 6 Perhitungan konstanta adsorpsi isothermis Freundlich	42

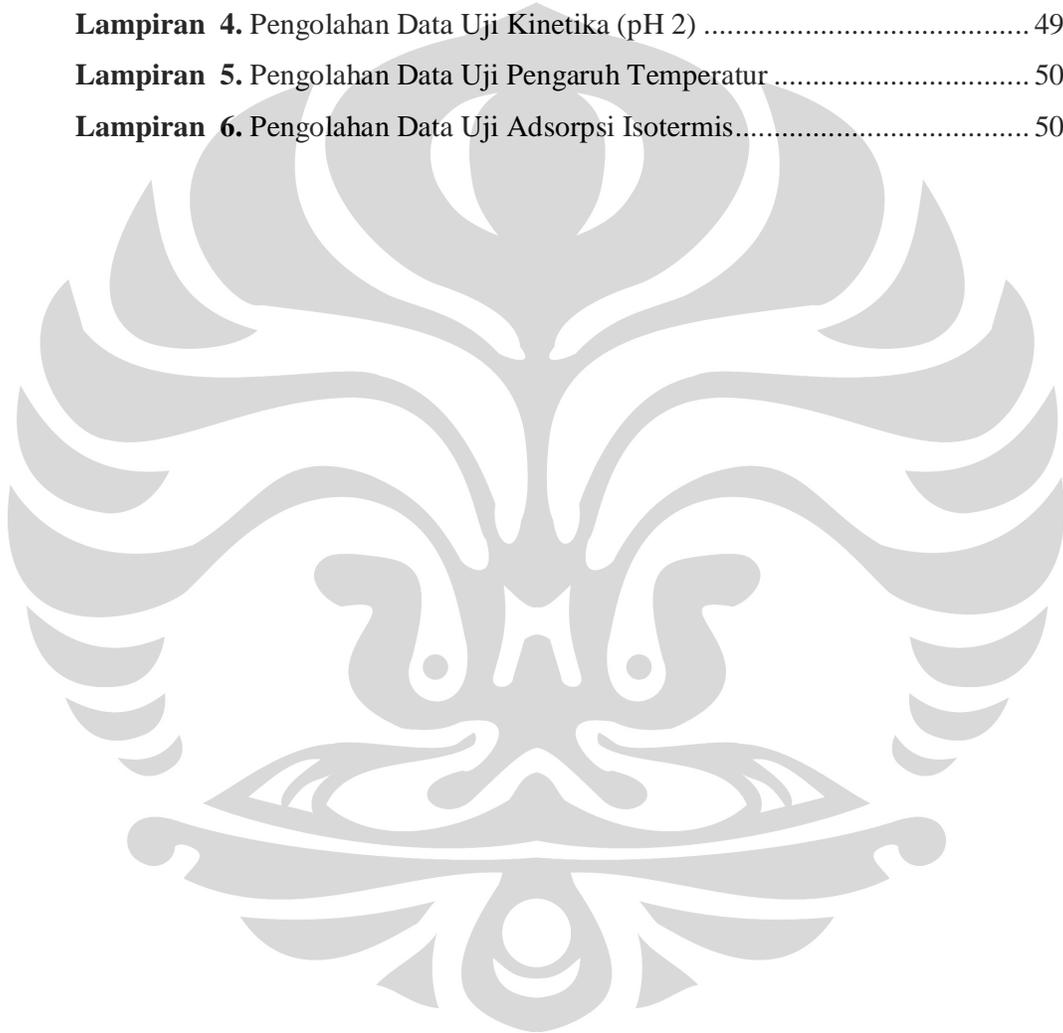
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data fisik dan kimia krom (Wikipedia 2007).....	5
Tabel 2. 2 Baku mutu limbah cair Cr(VI) (Bapedal 1995).....	8
Tabel 2. 3 Ambang batas limbah cair Cr(III) (http://law.nus.edu.sg).....	8
Tabel 2. 4 Perbedaan antara adsorpsi fisika dengan kimia (Kirk Othmer 1994)..	10
Tabel 2. 5 Kandungan gizi jambu biji dalam 100 gram BDD (Deptan 2007).....	21
Tabel 2. 6 Kadar zat tannin dalam tanaman jambu biji (Sri Yuliani et al. 2003) .	22



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar daging buah tanaman jambu biji yang digunakan sebagai biosorben	48
Lampiran 2. Gambar Susunan Alat Penelitian	48
Lampiran 3. Perbandingan Warna Larutan Krom.....	49
Lampiran 4. Pengolahan Data Uji Kinetika (pH 2)	49
Lampiran 5. Pengolahan Data Uji Pengaruh Temperatur	50
Lampiran 6. Pengolahan Data Uji Adsorpsi Isotermis.....	50



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG MASALAH

Seiring dengan berjalannya waktu, maka kesadaran manusia terhadap pentingnya kualitas lingkungan makin meningkat. Hal ini dipicu oleh suatu kenyataan bahwa kondisi lingkungan saat ini dalam keadaan yang memburuk. Perkembangan sektor industri tidak saja membawa dampak baik seperti meningkatnya pertumbuhan ekonomi tetapi juga memberi dampak lingkungan yang cukup mengkhawatirkan. Limbah yang dihasilkan dari berbagai aktivitas manusia merupakan suatu hal yang memberi kontribusi terhadap proses perusakan lingkungan. Semakin ketatnya peraturan mengenai limbah industri serta tuntutan untuk mewujudkan pembangunan yang berwawasan lingkungan, maka teknologi pengolahan limbah yang efektif dan efisien menjadi suatu kebutuhan penting dan tak terelakan lagi. Standar akan baku mutu lingkungan menjadi suatu tuntutan yang harus dipenuhi oleh sebuah industri pengolahan terhadap jenis pencemar tertentu.

Salah satu limbah yang mendapat perhatian adalah limbah logam berat *kromium* (Cr). Kromium terdapat dalam 2 bentuk oksida yaitu Cr (III) dan Cr (VI). Cr (VI) merupakan polutan yang berbahaya karena pada konsentrasi lebih dari 0,05 ppm bersifat racun, karsinogenik (penyebab kanker) serta dapat menyebabkan iritasi dan korosi pada kulit manusia. Cr (VI) mudah larut dalam air dan membentuk *divalent oxyanion* yaitu *chromate* (CrO_4^{2-}) dan *dichromate* (CrO_7^{2-}). Sedangkan Cr (III) mudah diendapkan atau diabsorpsi oleh senyawa-senyawa organik dan anorganik pada pH netral dan alkalin. Tercemarnya 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. Karena banyak terdapat pada buangan industri baja, pelapisan krom dan penyamakan kulit, kromium sering terdeteksi pada tempat pengolahan

air minum yang mengolah air dari gabungan air buangan industri dan rumah tangga (Wikipedia 2007).

Beberapa metode pernah digunakan untuk memisahkan kromium dari limbah industri. Ini termasuk reduksi, penukaran ion, adsorpsi menggunakan karbon aktif, elektrolisa, osmosa balik, dan membran filtrasi (Lu, A. et al 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 kromium dari limbah industri yakni dengan menggunakan metode biosorpsi. Biosorpsi adalah proses dimana padatan yang berasal dari bahan alam digunakan untuk mengikat logam berat. 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*).

Salah satu tumbuhan yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan ini adalah jambu biji (*Psidium guajava*). Sudah sejak lama jambu biji dapat digunakan sebagai obat. Mulai obat penyembuh radang usus besar, menghilangkan infeksi, penyembuh diare, disentri, sampai obat untuk menghentikan perdarahan. Bahkan di pedesaan, tumbukan daun jambu biji lazim juga digunakan sebagai obat luka

karena cidera, luka karena perdarahan, serta bisul-bisul. Jambu biji diketahui memiliki sejumlah zat aktif yang banyak mengandung minyak atsiri, asam ursolat, asam psidiolat, asam kratogolat, asam oleanolat, asam guaja vermin, dan beberapa vitamin, terutama vitamin A, B, C berikut beberapa mineral (Deptan 2007). Zat aktif dalam jambu biji yang dapat mengobati diare adalah tannin. Dalam penelitian terhadap jambu biji yang digiling halus diketahui, kandungan tanninnya sampai 17,4%. Senyawa itu bekerja sebagai *astrengent*, yaitu melapisi mukosa usus, khususnya usus besar (Indomedia 1998). Tannin juga menjadi penyerap racun penyebab diare pada usus dengan mekanisme adsorpsi seperti layaknya obat diare lainnya yang terbuat dari karbon aktif.

Penelitian ini akan memanfaatkan daging buah tanaman jambu biji untuk digunakan sebagai biosorben pada proses penyisihan ion logam kromium melalui proses biosorpsi. Cara ini merupakan metode yang sangat menjanjikan untuk mengolah buangan industri, terutama karena harganya yang murah dan memiliki kapasitas penyerapan yang tinggi. Proses ini diharapkan dapat diaplikasikan pada unit pengolahan air limbah industri seperti pada industri pelapisan kromium, automotif, baja dan penyamakan kulit.

1.2 RUMUSAN MASALAH

Setelah melihat latar belakang yang telah diuraikan di atas, rumusan masalah yang akan dibicarakan pada penelitian ini adalah:

- Se jauh mana efektivitas pemisahan krom pada limbah oleh daging buah tanaman jambu biji dengan proses biosorpsi
- Bagaimana kondisi operasi proses untuk menghasilkan kinerja yang optimum

1.3 TUJUAN PENELITIAN

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

1. Mengetahui apakah adsorpsi dengan daging buah tanaman jambu biji 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

Ruang lingkup masalah pada penelitian ini antara lain :

1. Limbah logam berat yang digunakan adalah larutan yang mengandung Cr (VI) yang merupakan limbah buatan.
2. Metode yang digunakan adalah adsorpsi logam berat dengan menggunakan daging buah tanaman jambu biji.
3. Yang akan diteliti adalah kemampuan adsorpsi optimum daging buah tanaman jambu biji pada variasi kondisi operasi.
4. Analisis akan dilakukan pada :
 - Pengaruh variasi pH, waktu kontak, dan temperatur terhadap adsorpsi logam berat Cr (VI) oleh biosorben.
 - Konsentrasi logam Cr (VI), dilakukan pada akhir proses adsorpsi.

1.5 SISTEMATIKA PENELITIAN

Sistematika penulisan seminar ini terdiri dari lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini terdiri atas latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisis tentang tinjauan pustaka mengenai krom, adsorpsi, daging buah tanaman jambu biji sebagai adsorbent, dan metode analisis spektrofotometer sinar tampak.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisis tentang diagram alir penelitian, alat dan bahan, serta prosedur yang digunakan dalam melakukan penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang penyajian data penelitian yang diperoleh, analisis dan pembahasan mengenai fenomena yang terjadi dalam proses adsorpsi ion logam krom oleh daging buah tanaman jambu biji.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi tentang kesimpulan berdasarkan percobaan yang dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 KROMIUM

Salah satu limbah yang saat ini cukup mendapat banyak perhatian adalah limbah logam berat kromium yang biasanya berasal dari industri cat, pelapisan logam (*electroplating*) dan penyamakan kulit (*leather tanning*). Kromium terdapat di alam dalam bentuk oksida, yaitu Cr(VI) (chromium hexavalent) dan Cr(III) (chromium trivalent). Cr(VI) mudah larut dalam air dan membentuk divalent oxyanion yaitu cromate (CrO_4^{2-}) dan dichromate ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). Sedangkan Cr(III) mudah diendapkan atau diabsorpsi oleh senyawa-senyawa organik dan anorganik pada pH netral atau alkalin. Beberapa data fisika dan kimia kromium dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini:

Tabel 2. 1. Data fisik dan kimia krom (Wikipedia 2007)

Simbol Kimia	Cr
Massa atom relative	51.996 gr
Densitas	7.19 gr/cm^3 pada 20 °C
Titik didih (boiling point)	2672 °C
Titik lebur (melting point)	1857 °C
Tekanan uap	10.6 Pa pada 844 °C
Warna	Silver
Kelarutan	larut dalam asam klorida dan asam sulfat

2.1.1 Toksisitas Kromium

Kadar toksisitas Cr(VI) sangat tinggi sehingga bersifat racun terhadap semua organisme untuk konsentrasi > 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 1/100 kalinya. Bahkan Cr (III) sebenarnya merupakan suatu jenis nutrisi yang dibutuhkan tubuh manusia. Bagi orang dewasa, kadar yang dibutuhkan sekitar 50-200 $\mu\text{g/hari}$. Jadi Cr(III) tidak berbahaya dan tidak bersifat racun bagi tubuh kita tetapi Cr(VI) lah yang terbukti

menimbulkan resiko yang sangat berbahaya karena bersifat karsinogenik (Wikipedia 2007).

2.1.2 Paparan Kromium

Kromium dapat terpapar ke organisme melalui empat jalur paparan yaitu penyerapan melalui kulit (*dermal absorption*), pencernaan (*ingestion*), penghirupan (*inhalation*), dan pencernaan sebagai akibat dari penghirupan (*ingestion secondary to inhalation*).

Kromium biasanya terpapar dari 5 sumber utama, yaitu dari proses : produksi kromium, produksi pigment/cat, pengelasan stainless steel, pembuatan alloy kromium dan pelapisan dengan kromium (*chromium plating*). Contoh proses produksi kromium adalah peleburan bijih krom (*ore roasting*) untuk mendapatkan sodium chromate dan setelah itu dilakukan treatment lebih lanjut untuk menghasilkan oksida-oksida kromat lainnya.

Cr(VI) dapat langsung mengoksidasi permukaan kulit dan dapat pula terserap kedalam kulit, khususnya apabila permukaan kulit rusak atau luka. Fakta menunjukkan bahwa iritasi kulit merupakan efek yang paling sering diderita bila terpapar Cr(VI), dimana efek yang ditimbulkan berupa kulit bernanah (*skin ulceration*) dan alergi/radang kulit. Kromium merupakan penyebab alergi yang paling umum dikenal setelah nikel.

Absorpsi Cr(VI) ke dalam darah melalui kulit pernah dilaporkan tetapi penyelidikan lebih lanjut belum dilakukan karena kasusnya sangat jarang. Diduga Cr(VI) yang masuk ke dalam darah, akan tereduksi karena didalam darah terdapat banyak antioksidan seperti *glutathione* dan *ascorbate* yang akan mereduksi Cr(VI) menjadi Cr(III).

Kromium yang terabsorb ke darah melalui proses penghirupan aerosol kromium di atmosfer, dikeluarkan oleh liver dan ginjal. Ginjal mengabsorb kromium dalam darah melalui pembuluh *renal cortex* dan dikeluarkan bersama urine. Tetapi jika kromium yang terabsorb dalam darah terlalu besar, maka akan menyebabkan kerusakan pada liver, ginjal dan tubular necrosis.

Absorpsi kromium (VI) pada saluran pernafasan bagian atas akan menyebabkan timbulnya iritasi, nanah dan lubang pada *nasal septum*. Hal ini adalah karena daya oksidasi Cr(VI) yang merusak *epithelium* saluran pernafasan.

Tidak seperti jenis toksik/racun lain, absorpsi kromium ke dalam darah bukan merupakan hal yang paling ditakutkan, melainkan efek kromium pada *bronchiolous* dari paru-paru yang paling ditakuti karena dapat menimbulkan kanker saluran pernafasan dan paru-paru. Ada beberapa indikasi bahwa kromium juga dapat menimbulkan kanker pada bagian atas *gastrointestinal* yaitu *esophagus, larynx, trachea*, dan perut.

2.1.3 Dampak Sifat Karsinogenik Cr terhadap Manusia

Dari hasil penelitian dan percobaan terhadap binatang (tikus), diketahui bahwa beberapa senyawa Cr (VI) yang bersifat karsinogenik adalah : *calcium chromate, chromium trioxide, lead chromate, strontium chromate*, dan *zinc chromate*. Dampak dari sifat karsinogenik Cr(VI) terhadap manusia telah diteliti terhadap para pekerja yang dalam melakukan pekerjaannya berhubungan dengan senyawa kromium, seperti di pabrik pembuatan alloy kromium (campuran logam dengan kromium), pabrik cat/pigmen kromium dan para pekerja pengelasan (*welding*). Dari hasil observasi diketahui bahwa umumnya dampak yang ditimbulkan terhadap pekerja pabrik cat adalah terkena kanker saluran pernafasan, hal ini terjadi karena pada umumnya pigmen kromium merupakan Cr(VI) yaitu *zinc chromate, lead chromate* atau *strontium chromate* yang bersifat karsinogenik. Sedangkan bagi para pengelas (*welder*) dan pekerja pabrik alloy kromium, dampak yang ditimbulkan adalah ditemukannya kanker paru-paru pada sebagian besar pekerja. Selain itu, beberapa efek lain dari paparan kromium yang banyak dilaporkan adalah iritasi saluran pernafasan, dermatosis, dermatitis, nephritis dan kerusakan liver serta ginjal. Dermatosi, nephritis dan kerusakan liver timbul bila mengabsorpsi kromium dengan konsentrasi besar secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama.

Hasil studi lebih lanjut diketahui bahwa tidak semua spesi yang mengandung kromium bersifat karsinogenik, tetapi hanyalah spesi yang tidak terlarut dalam air (*water-insoluble species*) sajalah yang bersifat demikian. Dari penelitian secara lebih mendalam dapat diambil hipotesis bahwa hanya spesi yang lebih sukar larut dari CaCrO_4 dalam air sajalah yang bersifat karsinogenik sedangkan spesi yang terlarut dalam air lebih bersifat menimbulkan alergi pada kulit.

2.1.4 Peraturan tentang Kadar Maksimum Kromium

Terdapat berbagai ketentuan mengenai kandungan Cr(VI) maksimal yang terkandung pada suatu larutan. WHO menetapkan kandungan krom maksimal untuk air minum adalah 0,05 ppm (50 µg/L) (www.dhs.gov/ps/ddwem/chemicals/chromium6). Karena dianggap sangat berbahaya, maka pemerintah melalui Kementerian Negara Lingkungan Hidup telah mengeluarkan surat Keputusan Nomor: KEP-51/MENLH/10/1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan industri tanggal 23 Oktober 1995 dimana kadar maksimum kandungan Cr(VI) dalam limbah cair untuk beberapa limbah industri adalah sebagai berikut.

Tabel 2. 2. Baku mutu limbah cair Cr(VI) (Bapedal 1995)

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

Sedangkan batas maksimal Cr(III) yang terkandung dalam air dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini:

Tabel 2. 3. Ambang batas limbah cair Cr(III) (<http://law.nus.edu.sg>)

Jenis Kebutuhan	Konsentrasi Cr (III) (mg/L)
Untuk air minum	0,2
Untuk pertanian	1
Batas maksimal dibuang ke lingkungan	2

2.2 ADSORPSI

Adsorpsi merupakan proses pemisahan dimana komponen tertentu dari suatu fasa fluida berpindah ke permukaan zat padat yang menyerap (McCabe et al 1999). Peristiwa ini terjadi disebabkan karena molekul-molekul pada permukaan zat padat mempunyai gaya dalam keadaan tidak seimbang (*unbalance*) yang cenderung tertarik ke arah dalam (gaya kohesi > gaya adhesi). Ketidakseimbangan

gaya-gaya tersebut menyebabkan zat padat tersebut cenderung menarik zat-zat lain 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 adsorbat, sedangkan zat yang menyerap atau menariknya disebut adsorben.

Berdasarkan interaksi molekular antara permukaan adsorben dengan adsorbat, adsorpsi dibagi menjadi dua bagian, yaitu adsorpsi fisika dan kimia (Treybal 1980; Herawaty 1993).

2.2.1 Adsorpsi Fisika

Adsorpsi fisika terjadi bila gaya intermolekular lebih besar dan gaya tarik antar molekul atau 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. Gaya antar molekul adalah gaya tarik antara molekul-molekul fluida dengan permukaan padat, sedangkan gaya intermolekular adalah gaya tarik antar molekul-molekul fluida itu sendiri. Adsorpsi ini berlangsung cepat, dapat membentuk lapisan jamak (*multilayer*), dan dapat bereaksi balik (*reversible*), karena energi yang dibutuhkan relatif rendah. Energi aktivasi untuk terjadinya adsorpsi fisika biasanya tidak lebih dan 1 kkal/gr-mol, sehingga gaya yang terjadi pada adsorpsi fisika termasuk lemah. Adsorpsi fisika dapat berlangsung pada temperatur yang relatif rendah sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga rendah yaitu sekitar 5-10 kkal/gr-mol gas, lebih rendah dari panas adsorpsi kimia.

2.2.2 Adsorpsi Kimia

Adsorpsi kimia terjadi karena 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 jenis ini bersifat irreversible dan hanya dapat membentuk lapisan tunggal (*monolayer*). Umumnya terjadi pada temperatur tinggi, sehingga panas adsorpsi yang dilepaskan juga tinggi, yaitu sekitar 10-100 kkal/gr-mol gas. Untuk dapat terjadinya peristiwa desorpsi dibutuhkan energi lebih tinggi untuk memutuskan ikatan yang terjadi antara adsorbat dengan adsorben. Energi aktivasi pada adsorpsi

kimia berkisar antara 10-60 kkal/gr-mol. Perbedaan antara adsorpsi fisika dengan kimia dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4. Perbedaan antara adsorpsi fisika dengan kimia (Kirk Othmer 1994)

Parameter	Adsorpsi Fisika	Adsorpsi Kimia
1. Adsorben	Semua jenis padatan	Beberapa padatan
2. Adsorbat	Semua gas	Kecuali gas mulia
3. Jenis ikatan	Fisika	Kimia
4. Panas adsorpsi	5-10 kkal/gr-mol gas	10-100 kkal/gr-mol gas
5. Temperatur operasi	Dibawah temperatur kritis	Diatas temperatur kritis
6. Energi aktivasi	Kurang dari 1 kkal/gr-mol	10-60 kkal/gr-mol
7. Reversibilitas	Reversible	Tidak selamanya Reversible
8. Tebal lapisan	Banyak (multilayer)	Satu (monolayer)
9. Kecepatan adsorpsi	Besar	Kecil
10. Jumlah zat teradsorp	Sebanding dengan kenaikan tekanan	Sebanding dengan banyaknya inti aktif adsorben yang dapat bereaksi dengan adsorbat

2.2.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Daya Adsorpsi

Banyaknya adsorbat yang teradsorp pada permukaan adsorben dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu: (Bahl et al 1997; Treybal 1980)

🌿 Jenis adsorbat, dapat ditinjau dari:

- Ukuran molekul adsorbat
Molekul-molekul yang bisa diadsorpsi adalah molekul-molekul yang berdiameter sama atau lebih kecil dan diameter pori adsorben.
- Polaritas molekul adsorbat
Apabila berdiameter sama, molekul-molekul polar lebih kuat diadsorpsi daripada molekul-molekul yang kurang polar, sehingga

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

☞ Sifat adsorben, dapat ditinjau dari:

- Kemurnian adsorben

Sebagai zat yang digunakan untuk mengadsorpsi, maka adsorben yang lebih murni lebih diinginkan kerana memiliki kemampuan adsorpsi yang lebih baik.

- Luas permukaan adsorben

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

☞ Temperatur

Proses adsorpsi adalah proses eksotermis, berarti peningkatan temperatur pada tekanan yang tetap akan mengurangi jumlah senyawa yang teradsorp, berdasarkan prinsip Le Chatelier.

☞ Tekanan

Untuk adsorpsi fisika, kenaikan tekanan adsorbat mengakibatkan kenaikan jumlah zat yang diadsorpsi. Sebaliknya pada adsorpsi kimia, jumlah yang diadsorpsi berkurang dengan naiknya tekanan adsorbat.

Umumnya partikel-partikel kecil adsorben ditempatkan dalam suatu unggun tetap, kemudian fluida dialiri dari bawah ke atas melalui unggun tersebut hingga adsorben mendekati titik jenuh dan proses adsorpsi tidak dapat berlangsung lagi. Adsorben yang jenuh dapat diregenerasi sehingga dapat digunakan kembali dalam proses adsorpsi lagi.

2.2.4 Operasi Adsorpsi

Berdasarkan operasi yang dilakukan, adsorpsi dapat dibedakan menjadi: (Schweitzer, Philip A. 1997)

☞ Adsorpsi *batch*

Dalam operasi secara *batch*, adsorben dikontakkan dengan cairan dalam suatu wadah dan waktu kontak tertentu. Adsorpsi ini dapat beroperasi secara *single batch* maupun *multiple batch*.

■ Adsorpsi Kontinu

Dalam operasi ini, fluida dan adsorben dikontakkan sepanjang peralatan tanpa pemisahan fasa secara periodik. Operasi ini dapat dilakukan dengan cara:

- Keadaan *steady*-unggun adsorben bergerak.

Untuk mencapai kondisi *steady*, dibutuhkan pergerakan dari fluida dan adsorben dengan laju konstan, tanpa perubahan komposisi pada titik manapun dalam sistem dengan berjalannya waktu.

- Keadaan *unsteady*-unggun adsorben tetap.

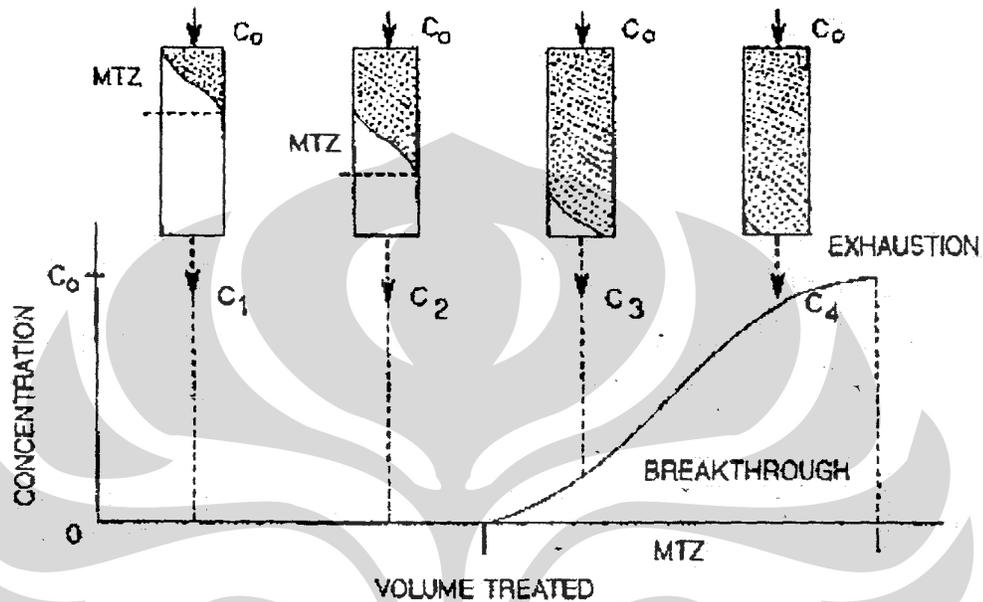
Pada operasi adsorpsi ini, unggun adsorben tidak bergerak dan fluida umpan melewati unggun adsorben dengan laju tertentu.

Pada operasi *steady state*-unggun adsorben bergerak, terdapat beberapa kekurangan yaitu operasinya yang rumit dan membutuhkan biaya yang tinggi untuk secara kontinu mentransport partikel padatan seperti yang diinginkan dalam operasi *steady state*. Hal ini akan menjadi lebih ekonomis bila menggunakan unggun tetap.

Aliran cairan umpan pada operasi unggun tetap bisa berupa aliran ke bawah (*downflow*) atau aliran ke atas (*upflow*). Aliran ke atas (*upflow*) lebih menguntungkan daripada aliran ke bawah (*downflow*). Pada aliran ke bawah dapat menyebabkan *channeling*, yaitu aliran fluida umpan hanya mengalir ke satu sumbu saja, tidak menyebar, sehingga unggun adsorben tidak dapat digunakan secara optimal. *Pressure drop* aliran ke bawah besar, sehingga untuk mengakomodasinya membutuhkan pompa. Sedangkan *pressure drop* aliran ke atas rendah karena unggun karbon tereksansi (menyebar) dengan aliran fluida. Operasi *upflow* dapat memanfaatkan gravitasi untuk aliran umpannya.

Pada operasi adsorpsi dengan unggun adsorben tetap, jumlah adsorbat yang dapat diadsorpsi dalam unggun tidak sama di semua titik, melainkan membentuk apa yang dinamakan gelombang adsorpsi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.1. Ketika larutan secara kontinu mengalir, konsentrasi adsorbat pada *effluent* nol pada waktu pertama, selanjutnya konsentrasi adsorbat pada *effluent* terus meningkat secara perlahan, sampai ketika zona adsorpsi mencapai ujung unggun, konsentrasi adsorbat pada *effluent* tiba-tiba naik pada suatu titik

tertentu. Dalam keadaan seperti ini sistem dikatakan telah mencapai *breakpoint*. Jika larutan terus mengalir, sangat sedikit adsorbat yang dapat diadsorpsi karena unggun telah berada dalam keadaan kesetimbangan dengan larutan umpan.

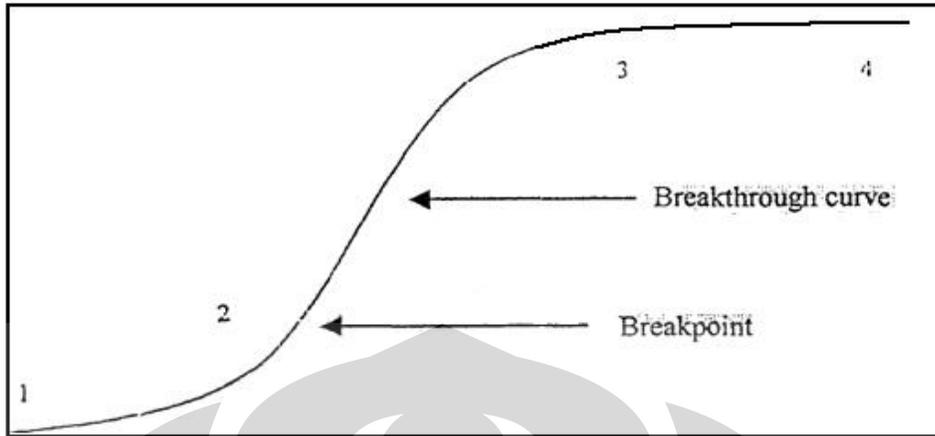


Gambar 2. 1. Gelombang adsorpsi (Schweitzer, Philip A. 1997)

2.2.5 Kurva Terobosan (Breakthrough Kurve)

Kurva terobosan merupakan kurva yang menggambarkan suatu rentang kondisi terjadinya peningkatan drastis jumlah adsorbat yang teradsorpsi oleh adsorben, sebelum proses adsorpsi mendekati kesetimbangan adsorpsi (Sontheimer, Crittenden, Summers 1988).

Gambar 2.2 merupakan salah satu contoh kurva terobosan yang umumnya terjadi. Pada gambar ditunjukkan bahwa proses adsorpsi dimulai dari titik 1, sedangkan titik 2 merupakan breakpoint yaitu titik dimana mulai terjadi peningkatan drastis adsorbat yang terserap atau titik dimana *breakthrough* terjadi. Daerah antara titik 2 dan 3 merupakan daerah rentang *breakthrough*. Titik 4 merupakan titik dimana proses adsorpsi telah mendekati kondisi kesetimbangan, dimana pada kondisi ini keadaan adsorben telah mendekati kondisi kejenuhan.



Gambar 2. 2. Kurva terobosan (Sontheimer, Crittenden, Summers 1988)

2.2.6 Kesetimbangan Adsorpsi

Kesetimbangan adsorpsi terjadi bila larutan dikontakkan dengan adsorben padat, dan molekul dari adsorbat berpindah dari larutan ke padatan sampai konsentrasi adsorbat di larutan dan padatan dalam keadaan setimbang. Data kesetimbangan adsorpsi yang dihasilkan pada temperatur konstan disebut adsorpsi isotermis. Untuk mengukur kesetimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan pengukuran konsentrasi adsorbat di larutan pada awal dan kesetimbangan (Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1997).

Beberapa persamaan empiris telah dikembangkan untuk menerangkan adsorpsi isotermal, seperti persamaan Freundlich dan Langmuir. Persamaan yang umum digunakan adalah persamaan Freundlich.

$$a = K_f \cdot C^n \quad (2.1)$$

a = jumlah solut yang teradsorb per gram adsorben

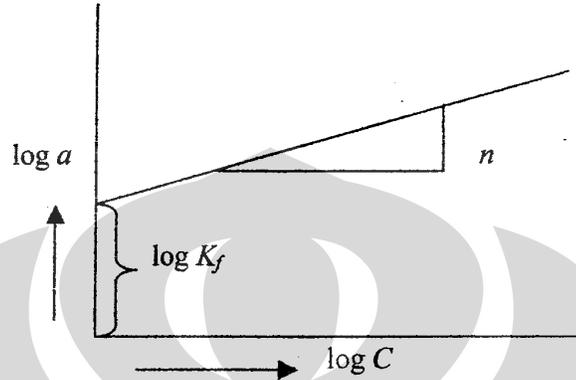
C = konsentrasi larutan setelah diadsorpsi (setelah setimbang)

K_f dan n adalah konstanta, $n > 1$

Kemudian, dengan logaritma didapatkan

$$\log a = \log K_f + n \log C \quad (2.2)$$

persamaan di atas diplot antara $\log a$ vs $\log C$, sehingga didapat garis lurus. Gambar 2.3 memperlihatkan grafik hasil perhitungan dari konstanta adsorpsi isotermis Freundlich.



Gambar 2. 3. Perhitungan dari konstanta adsorpsi isotermis Freundlich (Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1997)

Untuk gas, konsentrasi biasanya dinyatakan dalam persen mol atau tekanan parsial. Untuk zat cair, konsentrasi biasanya dinyatakan dalam satuan massa, seperti bagian perjuta (ppm). Konsentrasi adsorbat pada zat padat dinyatakan sebagai massa teradsorpsi per satuan massa adsorben semula.

Persamaan umum yang digunakan pada Langmuir adalah:

$$\frac{C}{N} = \frac{1}{N_m} C + \frac{K}{N_m} \quad (2.3)$$

di mana:

N = mol solut yang teradsorpsi tiap gram adsorben

C = konsentrasi akhir solut

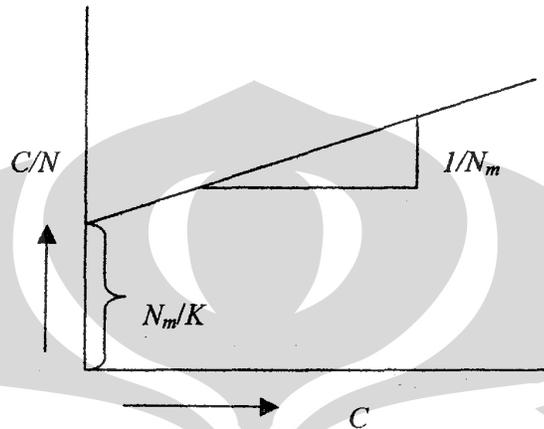
K = konstanta Langmuir

N_m = jumlah mol yang diperlukan untuk membuat lapisan tunggal pada adsorben

Jika data percobaan sesuai dengan teori Langmuir, plot C/N terhadap C akan didapat kurva berupa garis lurus, N_m dan konstanta K dapat dihitung dari harga intercept N_m/K , dan slope sebagai $1/N$. Dengan demikian jumlah molekul gas yang diperlukan untuk menutupi seluruh permukaan padatan dapat dihitung.

Bila diameter adsorbat diketahui dan dianggap molekul-molekul tersusun rapat pada permukaan, maka luas permukaan padatan tersebut dapat diprediksi.

Gambar 2.4 menunjukkan grafik hasil perhitungan dari konstanta adsorpsi isoteremis Langmuir.



Gambar 2. 4. Perhitungan dari konstanta adsorpsi isoteremis Langmuir
(Coulson, J.M. and Richardson, J.F. 1997)

2.3 JAMBU BIJI SEBAGAI ADSORBEN

2.3.1 Adsorben

Adsorben didefinisikan sebagai zat padat yang dapat menyerap komponen tertentu dari suatu fase fluida (McCabe et al 1999). Biasanya partikel-partikel kecil dari zat penyerap ditempatkan di dalam suatu hamparan/unggun tetap, kemudian fluida dialirkan melalui hamparan/unggun itu sampai zat padat mengalami kejenuhan dimana proses penyerapan tidak berlangsung lagi. Untuk mengembalikan daya adsorpsinya maka adsorben yang telah jenuh diregenerasi.

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

Untuk dapat dipakai sebagai adsorben komersial, menurut Oscik, J. (1982), zat padat tersebut harus memenuhi beberapa kriteria sebagai berikut:

- Memiliki luas permukaan yang besar sehingga kapasitas adsorpsinya tinggi

- Secara alamiah dapat berinteraksi dengan adsorbat
- Ketahanan struktur fisik yang tinggi
- Laju perpindahan massa tinggi
- Mudah diperoleh, harganya tidak mahal, tidak korosif, tidak beracun, memiliki densitas bulk yang tinggi
- Tidak ada perubahan volume yang berarti selama adsorpsi, regenerasi dan harus tetap kuat ketika basah
- Mudah dan ekonomis untuk diregenerasi

Berdasarkan struktur dan unsur pembangunnya, adsorben dapat digolongkan menjadi dua yaitu adsorben tak berpori (*non porous adsorbents*) dan adsorben berpori (*porous adsorbents*). (Oscik, J. 1982).

✿ Adsorben tak berpori

Adsorben tak berpori dapat diperoleh dengan cara presipitasi deposit kristalin seperti BaSO_4 atau penghalusan padatan kristal. Luas permukaan spesifiknya kecil, tidak lebih dari $10 \text{ m}^2/\text{g}$, umumnya antara 0,1 sampai dengan $1 \text{ m}^2/\text{g}$. Bahan tak berpori seperti filter karet (*rubber fillers*) dan karbon hitam bergrafit (*graphitized carbon blacks*) adalah jenis adsorben tak 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 s.d. 1000 m^2/g . Biasanya dipergunakan sebagai penyangga katalis, dehidrator, dan penyeleksi komponen. Adsorben ini umumnya berbentuk granular.

Klasifikasi pori yang sering digunakan

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

Beberapa jenis adsorben berpori yang terkenal adalah: silica gel, alumina, karbon aktif, *molecular sieve*, dan *porous glasses*.

2.3.2 Biosorpsi

Penelitian mengenai teknologi baru untuk menghilangkan logam beracun dari air limbah telah terfokus pada biosorpsi, berdasarkan pada kapasitasnya dalam pengikatan logam (*metal binding*) dari berbagai material biologi. Biosorpsi dapat didefinisikan sebagai kemampuan dari material biologi untuk mengakumulasi logam berat dari air limbah melalui mediasi metabolik (*metabolically mediated*) atau alur pengambilan secara fisika-kimia (*physico-chemical pathways of uptake*) (Fourest dan Roux 1992). Ganggang, bakteri, jamur, dan ragi sudah terbukti potensial sebagai biosorben logam (Volesky 1986). Keuntungan utama biosorpsi dibandingkan metode konvensional lainnya, meliputi (Kratochvil dan Volesky 1998):

- Biaya operasional yang rendah;
- Efisiensi yang tinggi;
- Minimisasi dari bahan kimia dan sisa biologi (*chemical and biological sludge*);
- Tidak ada syarat penambahan nutrisi;
- Regenerasi dari biosorben; dan
- Kemungkinan kembalinya logam (*metal recovery*).

Proses biosorpsi melibatkan suatu fasa-padat (sorben atau biosorben; material biologi) dan suatu fasa-cair (larutan, biasanya air) yang mengandung suatu spesi terlarut untuk diserap (sorbat, ion logam). Berdasarkan afinitas (gaya gabung) yang lebih tinggi dari sorben untuk suatu spesi sorbat, yang terakhir bergabung tertarik dan berikatan oleh mekanisme yang berbeda. Proses berlanjut sampai terjadi kesetimbangan antara jumlah spesi sorbat yang terikat pada padatan dengan kadar sorbat yang masih terdapat dalam larutan. Derajat afinitas (gaya gabung) sorben untuk sorbat menentukan distribusi antara fasa padat dengan fasa-cair.

2.3.2.1 Mekanisme Biosorpsi

Struktur mikroorganisme yang kompleks mengimplikasikan bahwa terdapat banyak cara untuk mengambil logam dari suatu larutan dengan sel microbial. Mekanisme biosorpsi ini beragam dan tidak dapat dipahami secara

menyeluruh. Mekanisme-mekanisme biosorpsi ini dapat digolongkan menurut beberapa kriteria.

Berdasarkan ketergantungannya dari metabolisme sel, mekanisme biosorpsi dapat dibagi menjadi:

1. Metabolisme terikat (*metabolism dependent*)
2. Non-metabolisme terikat (*non-metabolism dependent*)

Berdasarkan lokasi di mana logam yang dihilangkan dari larutan ditemukan, biosorpsi dapat dibagi menjadi:

1. Akumulasi ekstra seluler/ presipitasi (*extra cellular accumulation/precipitation*)
2. Penyerapan permukaan sel/presipitasi (*cell surface sorption/precipitation*)
3. Akumulasi intraseluler (*intracellular accumulation*)

2.3.2.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi biosorpsi

Pengembangan teknologi dari keakuratan pengambilan logam dari biomassa mikrobial sangat penting untuk aplikasi biosorpsi pada industri. Informasi ini memberikan keterangan tentang kesetimbangan proses yang penting untuk design alat.

Pengambilan logam biasanya diukur dengan parameter 'q' yang mengindikasikan miligram logam yang terakumulasi per gram material biosorben dan 'q_H' dilaporkan sebagai fungsi logam terakumulasi, material sorben yang digunakan, dan kondisi operasi.

Berikut ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi proses biosorpsi, antara lain:

1. Pada temperatur sekitar 20-35 °C, temperatur tidak mempengaruhi proses biosorpsi (Aksu et al. 1992).
2. pH merupakan parameter utama pada proses biosorpsi. pH mempengaruhi larutan kimia yang mengandung logam, aktivitas dari gugus fungsional pada biomassa dan kompetisi ion logam. (Friis dan Myers-Keith 1986; Galun et al. 1987)
3. Konsentrasi biomassa dalam larutan mempengaruhi pengambilan yang spesifik: karena nilai konsentrasi biomassa yang lebih rendah terdapat

peningkatan pada pengambilan logam spesifik (Fourest dan Roux 1992; Gadd et al. 1988). Gadd et al. (1988), menyatakan peningkatan konsentrasi biomassa memimpin gangguan di antara lokasi pengikatan. Fourest dan Roux (1992), mematahkan hipotesis. Akan tetapi, faktor ini tetap dimasukkan dalam pertimbangan aplikasi mikrobial biomassa sebagai biosorben.

4. Biosorpsi sebagian besar digunakan untuk pengolahan air limbah di mana di dalamnya terdapat lebih dari satu jenis ion logam. Penghilangan suatu ion logam mungkin dipengaruhi oleh keberadaan ion logam lain mungkin juga tidak. Sebagai contoh pengambilan uranium oleh biomassa dari bakteri, jamur dan ragi tidak terpengaruh oleh keberadaan logam mangan, kobalt, tembaga, cadmium, air raksa dan timbal dalam larutan (Sakaguchi dan Nakajima 1991). Keberadaan Fe^{2+} dan Zn^{2+} mempengaruhi pengambilan uranium oleh *Rhizopus arrhizus* (Tsezos dan Volesky 1982).

2.3.3 Jambu Biji

Jambu biji (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 biji merupakan tanaman perdu yang banyak bercabang, tingginya dapat mencapai 12 m. Besarnya buah bervariasi dari yang berdiameter 2,5 cm sampai dengan lebih dari 10 cm.

Diantara berbagai jenis buah, jambu biji 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 biji terkonsentrasi pada kulit dan daging bagian luarnya yang lunak dan tebal. Selain pemasok andal vitamin C, jambu biji 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 biji dapat

menurunkan kadar kolesterol total dan trigliserida darah serta tekanan darah penderita hipertensi essensial (Deptan 2007).



Gambar 2. 5. Daging buah tanaman jambu biji

Kandungan gizi dalam 100 gram jambu biji disajikan pada Tabel 2.5 sebagai berikut :

Tabel 2. 5. Kandungan gizi jambu biji dalam 100 gram BDD (Deptan 2007)

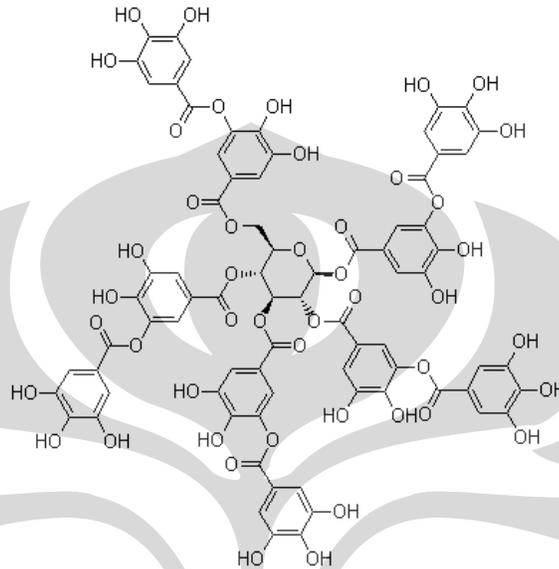
Kandungan	Jumlah	Kandungan	Jumlah
Energi	49,00 kal	Vitamin A	25 SI
Protein	0,90 gr	Vitamin B1	0,05 mg
Lemak	0,30 gr	Vitamin B2	0,04 mg
Karbohidrat	12,20 gr	Vitamin C	87,00 mg
Kalsium	14,00 mg	Niacin	1,10 mg
Fosfor	28,00 mg	Serat	5,60 gr
Besi	1,10 mg	Air	86 gram
		Bagian yg dapat dimakan	82 %

Sumber:

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

Hasil penelitian *in vitro* terhadap kontraksi usus dengan menggunakan usus marmut menunjukkan, jambu biji konsentrasi 5%, 10%, dan 20% dapat mengurangi kontraksi usus halus (Natsir, 1986). Sedang penelitian terhadap kemampuan jambu biji dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Escherichia coli* dan *Staphylococcus aureus* menunjukkan, kadar terendah 2% dapat menghambat pertumbuhan *S. aureus* dan dalam kadar 10% dapat menghambat pertumbuhan *E. coli*. Hasil penelitian itu dapat digunakan sebagai dasar penggunaan daun jambu biji sebagai obat diare akibat infeksi (Yuniarti, 1991). Jambu biji 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 biji memiliki kemampuan penyerapan.



Gambar 2. 6. Struktur molekul zat tannin

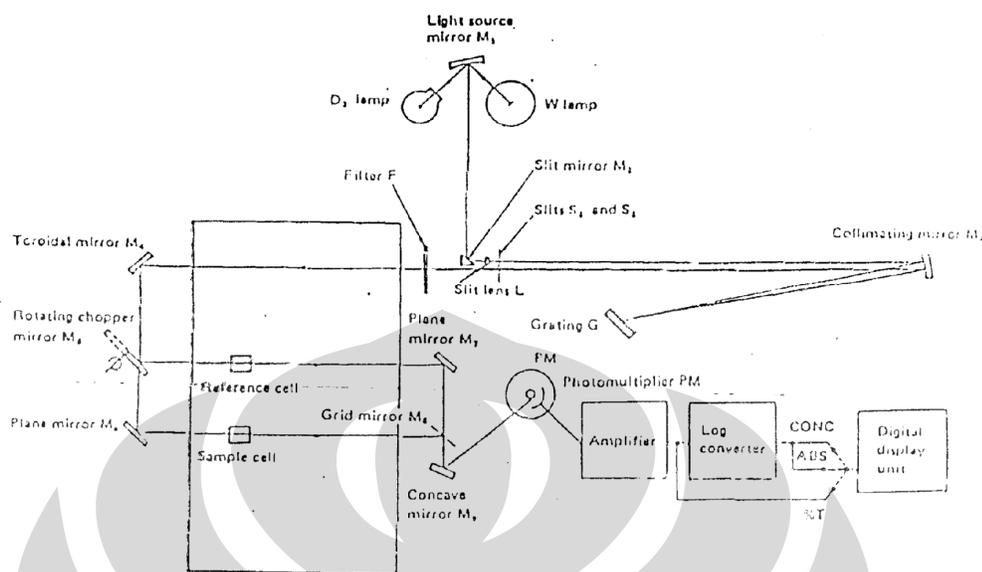
Zat tannin terdapat hampir di seluruh bagian tanaman jambu biji. Tabel 2.6 menunjukkan persentase kandungan zat tannin yang terdapat dalam tanaman jambu biji.

Tabel 2. 6. Kadar zat tannin dalam tanaman jambu biji (Sri Yuliani et al. 2003)

Bagian Tanaman Jambu Biji	Kadar Tannin
Daun	9-12%
Kulit Batang	12-30 %
Daging Buah	17,4 %

2.4 SPEKTROFOTOMETER SINAR TAMPAK

Spektrofotometer sinar tampak adalah alat yang dapat dipakai untuk mengukur absorbansi pada cairan, padatan, dan gas dalam daerah sinar UV, tampak dan dekat IR (Mulia et al 2004). Prinsi kerjanya diperlihatkan dalam gambar



Gambar 2. 7. Susunan alat optik pada spektrofotometer (Mulia et al. 2004)

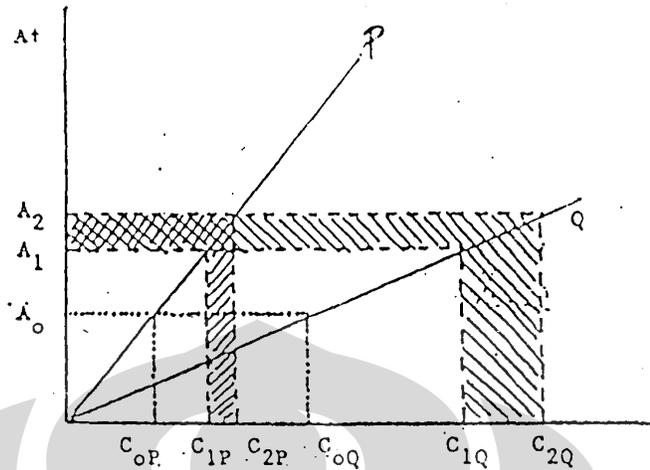
Seberkas sinar dari sumber cahaya dibuat menjadi sinar monokromatik oleh sebuah *Grating monokhromator* dan kemudian dipisahkan menjadi 2 berkas sinar oleh cermin perak yang berputar. Setelah melewati sample (Kuvet), dua berkas sinar tersebut mengikuti satu jalur optik bergabung jadi satu berkas sinar lagi dan jatuh pada detektor. Detektor mengubah sinyal-sinyal optik menjadi sinyal-sinyal elektrik.

Fungsi-fungsi elektrik dalam instrument mengolah sinyal dan langsung dapat men-display transmisi, absorbansi, atau konsentrasi sample (Mulia et al. 2004)

Secara garis besar pelaksanaan penetapan konsentrasi secara spektroskopi sinar tampak dapat dibedakan menjadi tiga aspek: (Mulia et al. 2004)

a) Pewarnaan

Zat yang diukur harus berwarna dan jika tidak harus dibuat berwarna, karena hanya zat yang berwarna yang dapat menyerap sinar tampak. Makin intensif warna suatu larutan berarti makin besar absorbansinya. Harga absorptivitas molar (ϵ_λ) larutan berwarna gelap lebih besar daripada harga (ϵ_λ) larutan berwarna terang. Semakin besar harga (ϵ_λ) makin teliti analisis yang dilakukan. Agar reaksi yang menghasilkan warna dapat berlangsung sering kali kondisi reaksi harus dijaga, misalnya dengan penambahan buffer untuk menjaga pH.



Gambar 2. 8. Ketelitian dan kepekaan

b) Pemilihan Panjang Gelombang

Panjang gelombang ideal yang dipilih untuk suatu pengukuran adalah:

- panjang gelombang pada puncak kurva absorpsi, dimana pada wilayah panjang gelombang yang sempit tersebut nilai transmisi tidak berubah dengan cepat dengan perubahan panjang gelombang. Hal ini disebabkan karena spektrofotometer tidak dapat mengisolasi betul-betul satu panjang gelombang, tetapi hanya isolasi satu wilayah panjang gelombang. Walau demikian, bila wilayah yang diisolasi cukup sempit dan terabsorpsi oleh material pada tingkat yang hampir sama, maka keadaannya mendekati sama dengan satu panjang gelombang.
- panjang gelombang yang memberikan harga (ϵ_{λ}) maksimal, agar pengukuran sinar yang diteruskan memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi.

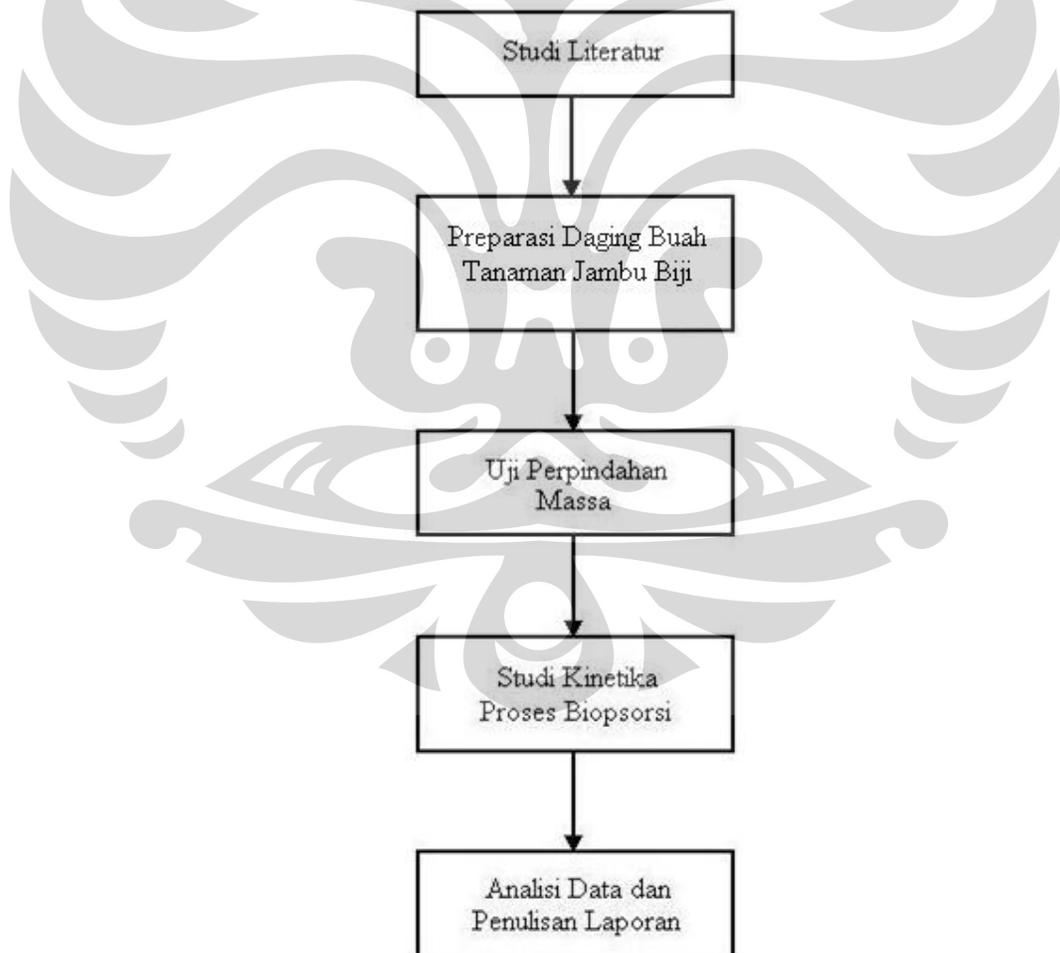
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 DIAGRAM ALIR PENELITIAN

Pada penelitian ini, proses adsorpsi ion logam kromium akan dilakukan melalui proses biosorption. Bahan alam yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari buah tanaman jambu biji (*Psidium guajava*).

Penelitian akan dilakukan dibagi menjadi tiga bagian besar, yaitu studi literatur, uji perpindahan massa dan kinetika penyerapan ion logam kromium oleh biosorben dari larutan air dan analisis data hasil eksperimen. Diagram alir penelitiannya dapat dilihat di bawah ini:



Gambar 3. 1. Diagram alir penelitian

3.2 BAHAN DAN PERALATAN PENELITIAN

Bahan dan alat-alat penelitian tersedia di laboratorium Separasi dan laboratorium Dasar Proses Kimia (DPK) Teknik Kimia FTUI, sementara alat analisis konsentrasi krom berupa spektrofotometer sinar tampak tersedia di laboratorium Bioproses Teknik Kimia FTUI.

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Daging buah tanaman jambu biji sebagai biosorben
2. Air murni (*Aquadest*) 1 liter dan 2,8269 gram $K_2Cr_2O_7$ untuk membuat larutan induk limbah buatan dengan kandungan krom 1 gram krom per liter larutan.
3. Larutan HCl untuk menciptakan suasana asam pada larutan yang akan diuji.
4. Larutan NaOH untuk menciptakan suasana netral atau basa pada larutan yang akan diuji.
5. 0,75 gram 1,5-difenil karbazida dan 150 ml untuk membuat larutan reagen 50 % 1,5-difenil karbazida.
6. Kertas Saring untuk menyaring campuran biosorben dan larutan.

3.2.2 Peralatan Penelitian

Alat-alat yang dipergunakan dalam penelitian ini antara lain:

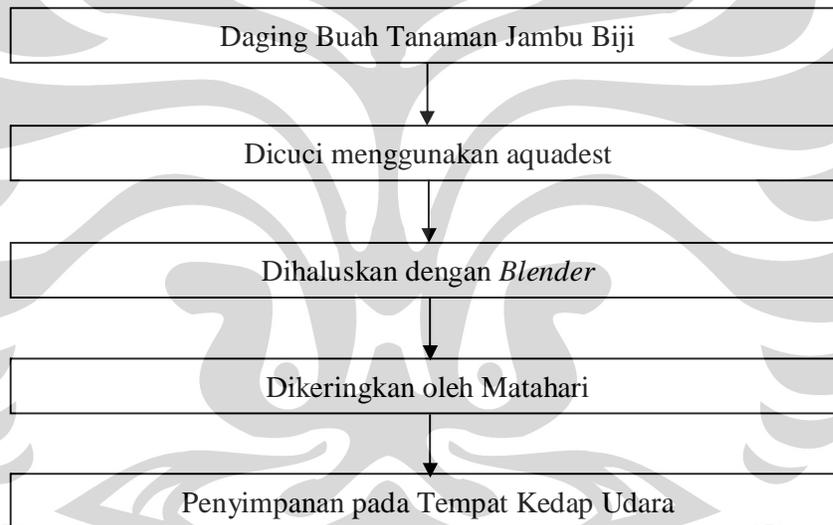
1. Labu ukur 100 ml untuk melarutkan larutan induk.
2. Pengaduk
3. Pemanas/*Heater*
4. *Blender*
5. Spektrofotometer Sinar Tampak
6. *Stopwatch*
7. Pyrex Erlenmeyer
8. *Beaker Glass*
9. Gelas Ukur
10. pH meter digital

3.3 PROSEDUR PENELITIAN

3.3.1 Studi Literatur

Mengumpulkan literatur mengenai proses penyisihan ion logam kromium dari air serta semua penelitian yang telah dilakukan untuk tujuan tersebut khususnya yang melalui proses biosorption. Sumber yang utama adalah dari jurnal, yaitu jurnal internasional untuk teknologi separasi dan pemurnian. Diharapkan diperoleh data yang dapat digunakan sebagai pembanding keberhasilan penelitian, terutama dalam hal perpindahan massa yang terjadi di dalam proses biosorption yang akan diteliti.

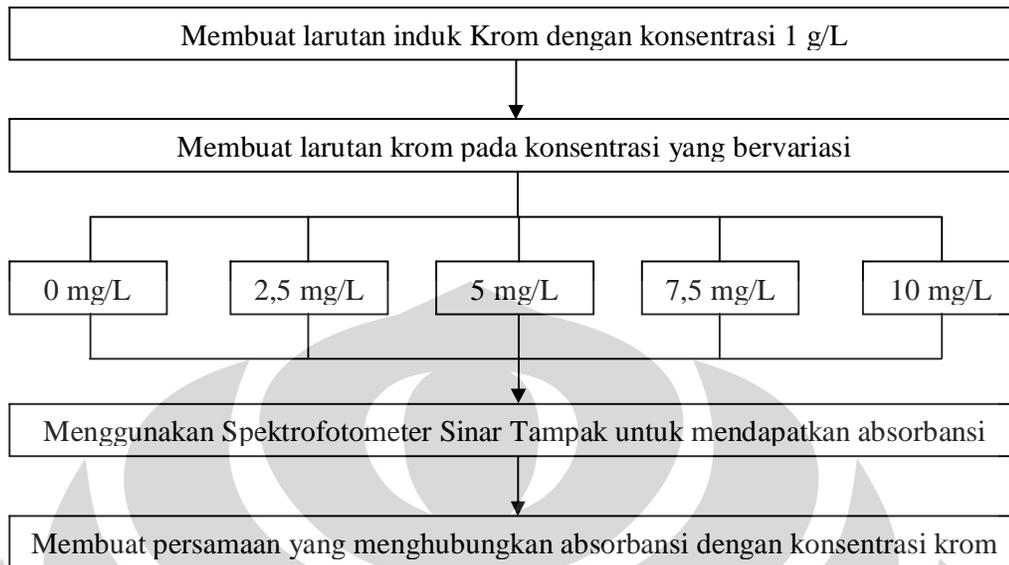
3.3.2 Preparasi Biosorben



Gambar 3. 2. Diagram alir preparasi biosorben

Pertama-tama biomaterial dari daging buah tanaman jambu biji dicuci dengan aquadest dan kemudian dihaluskan menggunakan *blender*. Biomaterial 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

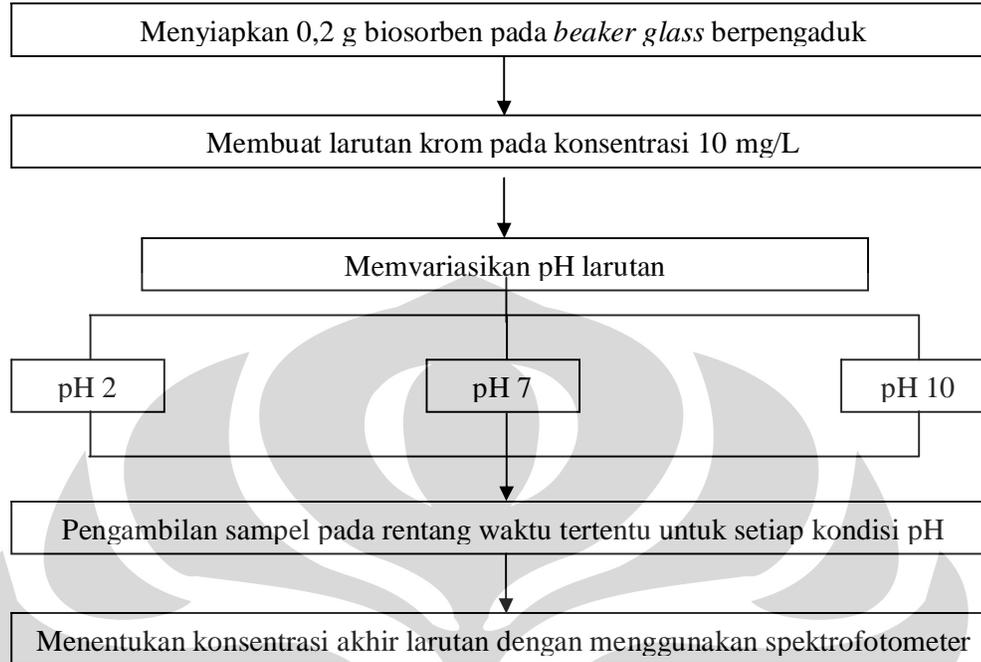


Gambar 3. 3. Diagram alir pembuatan kurva kalibrasi pada spektrofotometer

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 sinar tampak.

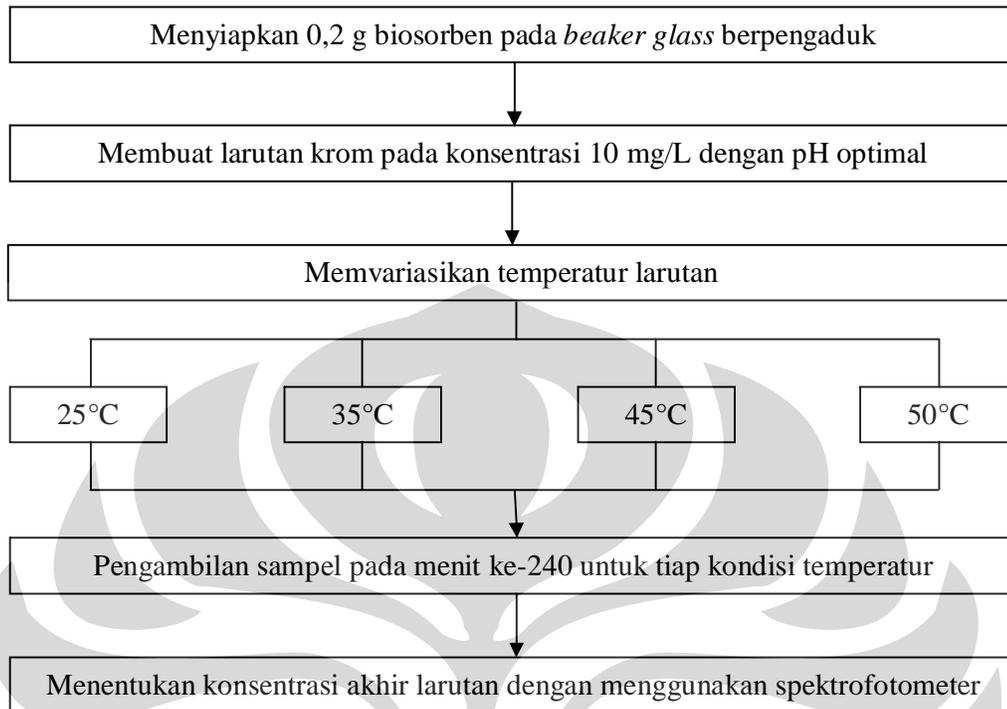
3.3.4 Uji Kinetika Adsorpsi



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°C) menggunakan pengaduk pada 70 rpm. Percobaan 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.

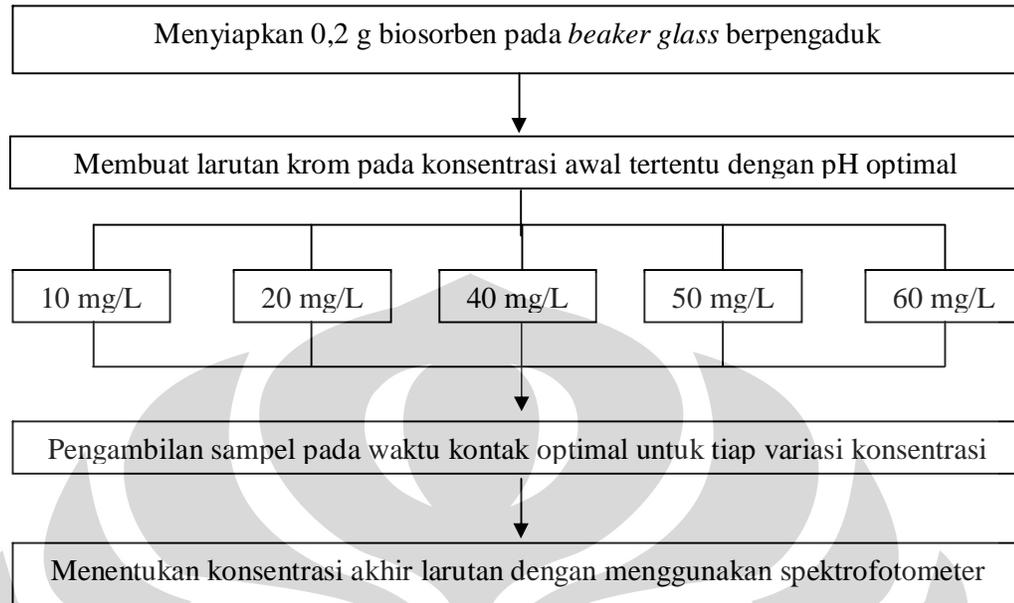
3.3.5 Uji Pengaruh Temperatur



Gambar 3. 5. Diagram alir uji pengaruh temperatur

Uji pengaruh temperatur dilakukan di dalam *beaker glass* pada variasi temperatur (25; 35; 45; 50°C) menggunakan pengaduk pada 70 rpm. Percobaan 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 240 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. Percobaan hanya akan dilakukan pada pH optimum dengan variasi konsentrasi awal ion logam krom (10; 20; 40; 50; 60 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

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 penyerapan akan dianalisa pengaruh pH dan suhu terhadap prosentase penyerapan ion logam krom oleh biosorben selama selang waktu eksperimen. Data ini sangat berguna untuk mengevaluasi efektivitas dan kapasitas penyerapan biosorben yang digunakan.

Kapasitas biosorben untuk pengambilan sorbat pada kondisi setimbang diperoleh dari eksperimen uji kesetimbangan 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. 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

Penelitian akan dilakukan laboratorium Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia (DTK FTUI), Depok. Untuk preparasi biosorben dan pembuatan larutan induk limbah buatan dilakukan pada Laboratorium Separasi DTK FTUI. Untuk analisis konsentrasi larutan menggunakan alat Spektrofotometer Sinar Tampak yang dilakukan pada Laboratorium Bioproses DTK FTUI.

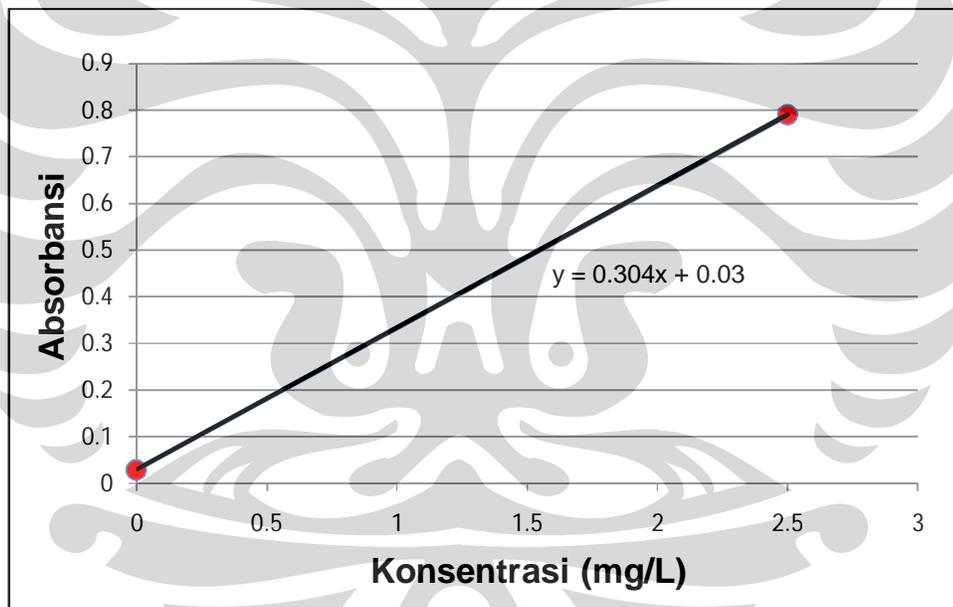
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diketengahkan hasil-hasil penelitian dan pembahasan, meliputi: kalibrasi spektrofotometer sinar tampak, pengaruh waktu kontak, pengaruh pH, dan pengaruh temperatur terhadap penyerapan ion krom dari larutannya serta uji adsorpsi isoteremis.

4.1 KALIBRASI SPEKTROFOTOMETER SINAR TAMPAK

Dalam mengukur kandungan krom dalam suatu larutan hasil proses adsorpsi maka sebelumnya dilakukan kalibrasi menggunakan larutan standar dengan beberapa variasi konsentrasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1. Kurva kalibrasi ion logam krom

Pada Gambar 4.1 diperoleh data pembacaan yang mengkorelasikan absorbansi krom terhadap konsentrasi larutan standar. Dari data kalibrasi krom dapat dibuat linearisasi antara konsentrasi larutan standar sebagai fungsi x dan absorbansi sebagai fungsi y dimana dengan metode regresi linear didapat harga slope 0,304 dan harga intersep 0,03.

Konsentrasi krom dalam larutan yang akan diuji kandungannya harus berada diantara rentang konsentrasi larutan standar. Bila hendak mengukur absorbansi dari larutan krom yang konsentrasinya lebih besar dari konsentrasi larutan standar yang digunakan diatas maka larutan tersebut harus diencerkan terlebih dahulu sehingga dapat masuk pada daerah kalibrasi larutan standar. Dari pengukuran absorbansi larutan hasil proses adsorpsi yang mengandung krom dapat ditentukan harga konsentrasi dengan menggunakan persamaan linier yang diperoleh dari kalibrasi di atas.

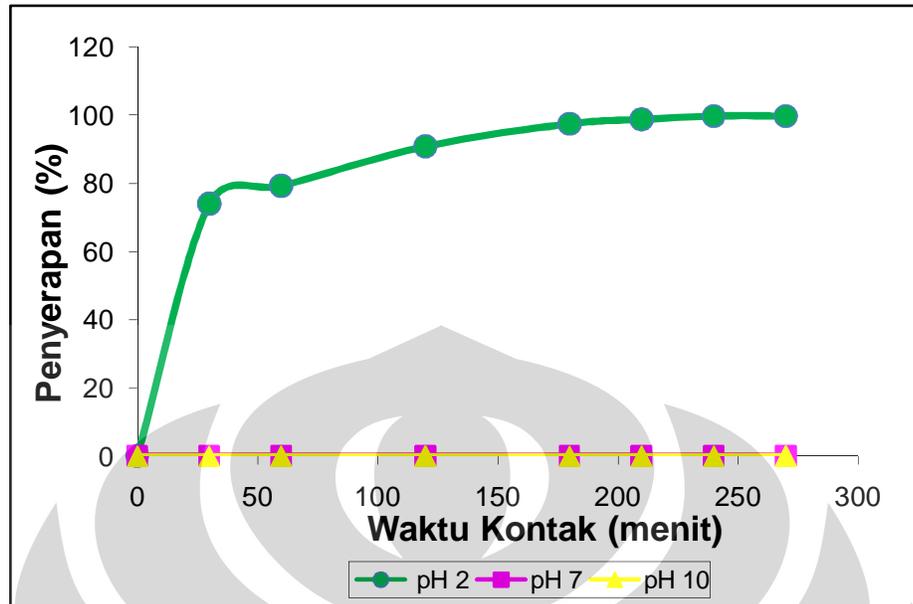
4.2 UJI KINETIKA ADSORPSI

Untuk mengetahui perilaku penyerapan ion logam krom dari larutannya, maka dilakukan proses adsorpsi dengan memvariasikan beberapa variabel operasi. Untuk uji kinetika, dilakukan proses adsorpsi dengan variasi waktu kontak dan pH larutan.

4.2.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Ion Logam Krom yang Terserap

Proses adsorpsi dilakukan secara batch dalam *beaker glass* dengan konsentrasi larutan krom sebesar 10 mg/L dengan dosis biosorben sebanyak 2 gr/L. Proses berlangsung pada temperatur 25°C dan pada tekanan ruang, larutan diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer*.

Pengaruh lamanya waktu kontak terhadap jumlah ion logam krom yang terserap dapat dilihat pada Gambar 4.2. Dari gambar tersebut dapat kita lihat secara umum bahwa jumlah ion logam krom yang terserap bertambah seiring dengan bertambah lamanya waktu kontak. Karena semakin lama larutan krom mengalami kontak dengan biosorben maka akan semakin banyak pula ion logam krom yang masuk kedalam pori-pori biosorben.



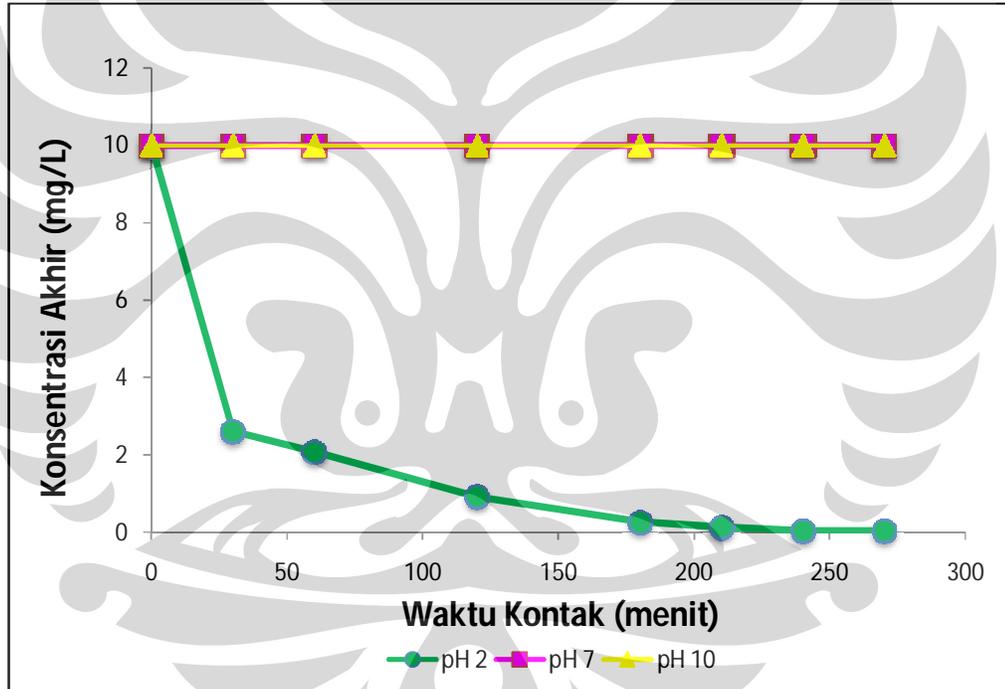
Gambar 4. 2. Pengaruh waktu kontak terhadap ion logam krom yang terserap

Dari Gambar 4.2 diatas diperlihatkan bahwa pengurangan konsentrasi ion logam krom secara cepat terjadi pada rentang waktu 0 sampai 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa daging buah tanaman jambu biji mempunyai kecepatan penyerapan yang baik. Untuk rentang waktu kontak 30 menit hingga 120 menit masih terjadi penurunan konsentrasi ion logam krom yang signifikan, namun dari rentang waktu 120 menit hingga 270 menit pengurangan ion logam krom dapat dinyatakan sudah tidak signifikan lagi.

Setelah penyerapan cepat, kecepatan penyerapan cenderung melambat dengan ditandai pengurangan konsentrasi ion logam krom yang semakin melandai, hal ini disebabkan karena pori-pori biosorben hampir terisi seluruhnya oleh ion logam krom sehingga adsorben menjadi jenuh. Pada Gambar 4.2 dapat terlihat bahwa proses adsorpsi mencapai titik kesetimbangan pada rentang waktu kontak antara 240 menit dan 270 menit. Sehingga waktu kesetimbangan adsorpsi yang diambil yaitu pada menit 240 atau 4 jam. Titik kesetimbangan tercapai apabila pengurangan konsentrasi ion logam krom mencapai titik maksimalnya sehingga penambahan waktu kontak tidak akan memberikan pengaruh apapun pada pengurangan konsentrasi ion logam krom. Konsentrasi kesetimbangan yang dicapai pada uji kinetika ini adalah 0,04 mg/L ion logam krom terlarut.

4.2.2 Pengaruh pH Terhadap Ion Logam Krom yang Terserap

pH merupakan parameter penting yang mempengaruhi efisiensi adsorpsi. Untuk menghilangkan logam krom dari larutan sangat bergantung pada pH dari larutan. Variasi pH yang dipilih pada penelitian ini berdasarkan tiga kondisi utama larutan, yakni asam, netral, dan basa, dimana variasi yang biasa digunakan adalah pada pH 2, 7, dan 10. Penelitian dilakukan dilakukan secara *batch* dalam *beaker glass* dengan konsentrasi larutan krom sebesar 10 mg/L dengan dosis biosorben sebanyak 2 mg/L. Pengaturan pH dilakukan dengan bantuan HCl (untuk kondisi asam) dan NaOH (untuk kondisi netral dan basa). Hubungan antara nilai pH larutan dengan dan konsentrasi logam krom dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 3. Pengaruh pH terhadap ion logam krom yang terserap

Berdasarkan Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa proses adsorpsi ion logam krom paling optimum pada pH larutan 2 atau pada suasana asam. Sedangkan pada pH 7 dan pH 10 tidak terjadi proses adsorpsi ion logam krom yang ditunjukkan oleh tidak berubahnya konsentrasi akhir larutan krom.

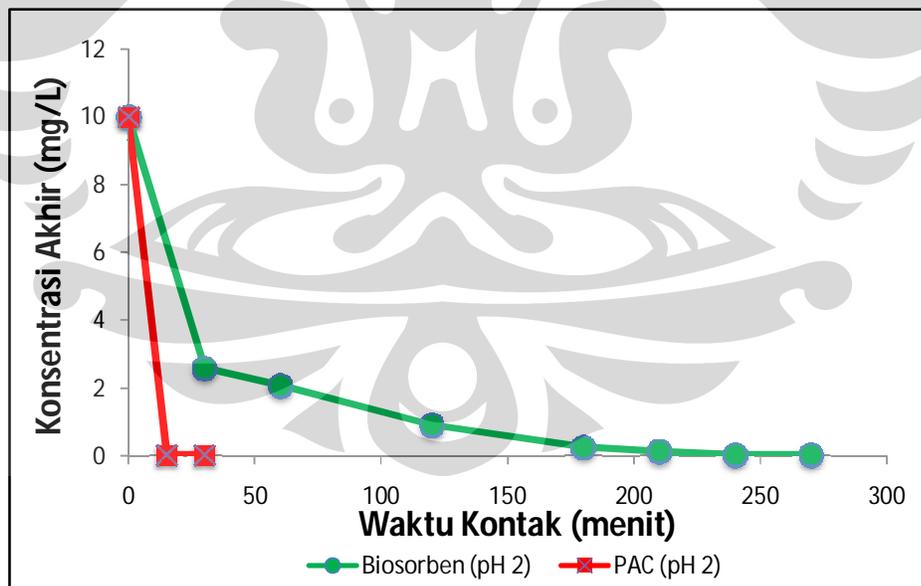
Proses adsorpsi ion logam krom hanya berlangsung pada suasana asam karena adanya gaya elektrostatis tarik-menarik antara bagian positif dari

permukaan biosorben dengan anion HCrO_4^- yang sangat dominan pada pH rendah. Sedangkan yang menyebabkan adsorpsi tidak berjalan seiring dengan meningkatnya pH larutan (pH netral dan pH basa), karena berkurangnya gaya elektrostatis tarik-menarik serta kalah bersaingnya anion-anion dari logam krom (HCrO_4^- dan CrO_4^{2-}) dengan ion OH^- pada adsorpsi oleh bagian aktif dari daging buah tanaman jambu biji.

4.2.3 Perbandingan Daging Buah Tanaman Buah Jambu Biji dengan Karbon Aktif

Kondisi operasi proses adsorpsi menggunakan karbon aktif adalah:

- Dosis karbon aktif : 200 mg
- Volume larutan : 100 mL
- Suhu operasi : Temperatur ruang (25°C)
- Tekanan operasi : 1 atm
- pH larutan : 2
- Kecepatan putaran stirrer : 70 rpm



Gambar 4. 4. Perbandingan kemampuan adsorpsi daging buah tanaman jambu biji dengan karbon aktif

Dari Gambar 4.4 diatas diperlihatkan bahwa dengan kondisi operasi yang sama dengan biosorben, titik kesetimbangan adsorpsi ion logam krom menggunakan karbon aktif tercapai pada menit ke 15. Sedangkan untuk proses adsorpsi ion logam krom, untuk konsentrasi 10 mg/L sebanyak 100 mL pada tekanan dan temperatur ruang dengan dosis biosorben sebanyak 2g/L, memiliki waktu kesetimbangan 240 menit.

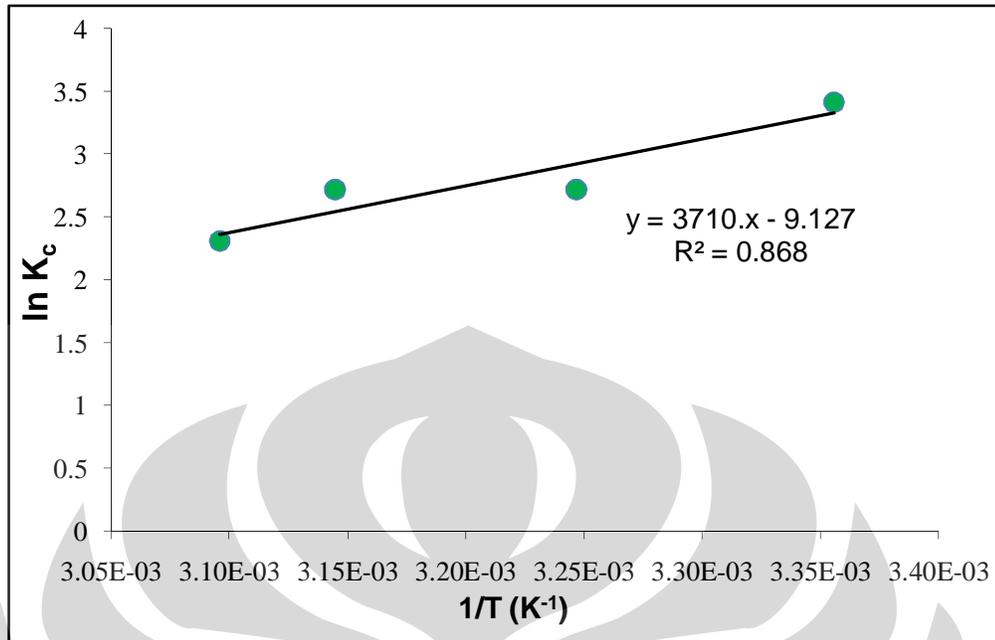
Dari waktu kesetimbangan proses adsorpsi dapat kita disimpulkan bahwa, karbon aktif memiliki kemampuan adsorpsi lebih baik daripada daging buah jambu biji. Hal tersebut dapat disebabkan karena beberapa alasan, antara lain:

1. Luas permukaan dan pori yang dimiliki karbon aktif lebih besar daripada daging buah jambu biji, sehingga menyebabkan ion logam krom lebih mudah terserap yaitu karena proses adsorpsi yang terjadi akan semakin besar untuk adsorben yang mempunyai luas permukaan dan pori yang lebih besar.
2. Tingkat kelembaban karbon aktif lebih rendah daripada daging buah jambu biji, hal tersebut disebabkan karena karbon aktif dapat dipanaskan dengan temperatur tinggi. Karena kandungan air yang terdapat didalam karbon aktif sangat kecil sehingga kemampuannya menyerap ion logam krom akan lebih cepat. Daging buah jambu biji hanya dapat dipanaskan hingga 50 °C, karena jika dikeringkan melebihi temperatur tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada biosorben.

4.3 UJI PENGARUH TEMPERATUR

Pada uji pengaruh temperatur, adsorpsi dilakukan secara *batch* dalam *beaker glass* dengan konsentrasi larutan krom sebesar 10 mg/L pada pH 2 dengan dosis biosorben sebanyak 2 mg/L. Larutan krom yang digunakan pH 2 karena pada pH inilah proses adsorpsi berjalan dengan baik. Larutan diaduk dengan menggunakan pengaduk bermotor dan diletakkan pada sebuah *water bath* berpemanas. Lamanya proses adsorpsi yang digunakan adalah 240 menit karena pada waktu tersebut adsorpsi telah mencapai konsentrasi kesetimbangan.

Variasi temperatur operasi yang digunakan adalah 25; 35; 45; 50 °C. Hasil adsorpsi pada uji pengaruh temperatur dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini.



Gambar 4. 5. Pengaruh temperatur terhadap ion logam krom yang terserap

Pada Gambar 4.5 diatas dapat kita lihat bahwa variasi temperatur berpengaruh pada konstanta kesetimbangan adsorpsi (K_c). Konstanta kesetimbangan berkurang seiring dengan meningkatnya temperatur dan berdampak pada berkurangnya laju adsorpsi. Ini disebabkan oleh reaksi adsorpsi eksotermis krom dengan biosorben yang menyebabkan melemahnya gaya serap dengan ion logam krom yang berdekatan dengan biosorben. Karena adsorpsi berlangsung eksotermis, sehingga menyebabkan jumlah adsorbat pada keadaan setimbang berkurang dengan naiknya temperatur, karena ΔG° berkurang seiring dengan meningkatnya temperatur larutan. Hal ini menjelaskan mengapa nilai ΔG° menjadi kurang negatif dengan kenaikan temperatur. Nilai dari ΔG° dapat kita cari dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad (4.1)$$

Sehingga diperoleh nilai ΔG° untuk masing-masing temperatur adalah sebagai berikut:

T (K)	ΔG° (J mol ⁻¹)
298	- 8451,36

308	- 6951,55
318	- 7177,25
323	- 6192,35

Asumsikan bahwa koefisien aktivitas sama pada konsentrasi rendah, maka kita dapat menghitung parameter termodinamika dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$K_c = \frac{q}{C} \quad (4.2)$$

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

Dengan mengkorelasikan persamaan di atas dengan grafik uji temperatur pada Gambar 4.5, maka diperoleh nilai ΔH° sebesar $- 30844,94 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ dan nilai ΔS° sebesar $- 75,88 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$.

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa pengaruh temperatur tidaklah signifikan. Harga ΔH° bernilai negatif menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung secara eksotermis, sedangkan harga ΔS° yang bernilai negatif dapat disamakan dengan berkurangnya derajat kebebasan dari adsorbat.

4.4 UJI ADSORPSI ISOTERMIS

Kondisi operasi proses adsorpsi untuk uji adsorpsi isotermis adalah sebagai berikut:

- Dosis biosorben : 200 mg
- Volume larutan : 100 mL
- Suhu operasi : Temperatur ruang (25°C)
- Tekanan operasi : 1 atm
- pH larutan : 2
- Kecepatan putaran stirrer : 70 rpm

Uji adsorpsi isotermis dilakukan dengan tujuan untuk menentukan konstanta kesetimbangan adsorpsi isotermis ion logam krom.. Untuk mengukur konstanta kesetimbangan adsorpsi dapat dilakukan dengan pengukuran

konsentrasi adsorbat di larutan pada awal dan konsentrasi kesetimbangan larutan. Penelitian dilakukan secara *batch* dalam *beaker glass* dengan memvariasikan konsentrasi awal ion logam krom yang dipilih adalah 10; 20; 40; 50; 60 mg/L.

Banyak persamaan empiris yang telah dikembangkan untuk menerangkan adsorpsi isothermis, seperti persamaan Freundlich dan persamaan Langmuir. Persamaan yang umum digunakan adalah persamaan isothermis Freundlich:

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

dengan

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

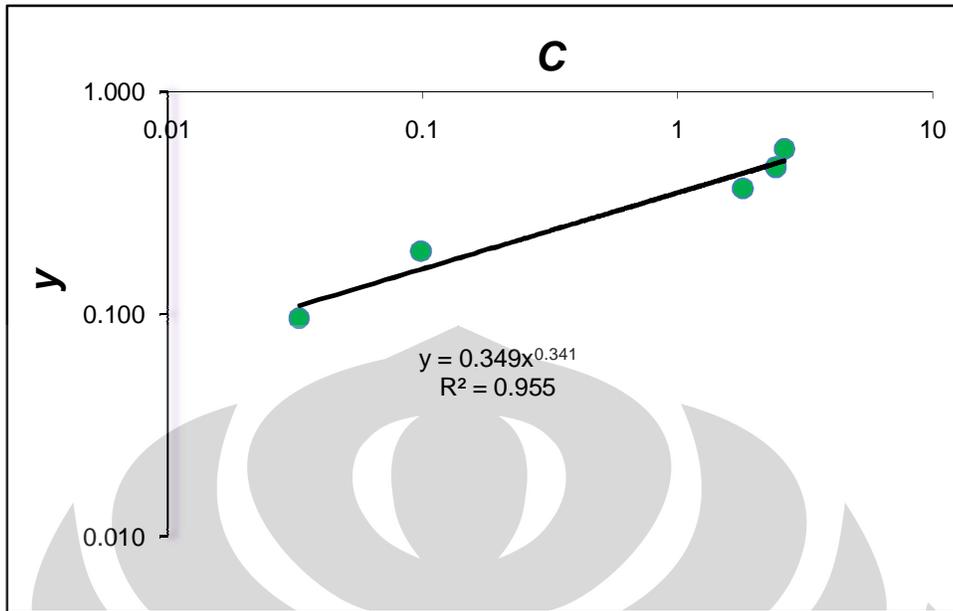
C = konsentrasi ion logam krom saat setimbang (mg/L)

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

n = konstanta yang mewakili intensitas adsorpsi

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

Persamaan diatas diplot antara $\log C$ vs $\log y$, sehingga didapat garis lurus. Dimana sumbu x merupakan \log konsentrasi akhir ion logam krom pada larutan dan sumbu y sebagai \log jumlah mol krom yang teradsorpsi. Gambar 4.6 memperlihatkan grafik hasil perhitungan dari konstanta kesetimbangan adsorpsi menggunakan persamaan isothermis Freundlich.



Gambar 4. 6. Perhitungan konstanta adsorpsi isoteremis Freundlich

Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa jumlah ion logam krom yang teradsorpsi per satuan massa biosorben meningkat seiring dengan konsentrasi awal ion logam krom. Dengan linearisasi antara sumbu x yang merupakan log konsentrasi akhir ion logam krom pada larutan dan sumbu y sebagai log jumlah mol krom yang teradsorpsi didapat didapatkan nilai k untuk proses adsorpsi sebesar 0.349 mmol/g biosorben dan nilai n adalah 2,93. Dimana nilai k adalah kapasitas adsorpsi dari suatu proses dan nilai n merupakan intensitas adsorpsi. Semakin tinggi nilai k menunjukkan akan lebih besarnya gaya tarik menarik antara biosorben dengan ion logam krom dan nilai n antara 1 hingga 10 menunjukkan proses adsorpsi yang menguntungkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1. Titik kesetimbangan adsorpsi dicapai pada waktu kontak 240 menit atau 4 jam. Titik kesetimbangan tercapai karena pengurangan konsentrasi ion logam krom mencapai titik maksimalnya sehingga penambahan waktu kontak tidak akan memberikan pengaruh apapun pada pengurangan konsentrasi ion logam krom. Konsentrasi kesetimbangan yang dicapai pada uji kinetika ini adalah 0,04 mg/L ion logam krom terlarut.
2. Kenaikan waktu kontak akan menaikkan jumlah ion logam krom yang teradsorp.
3. Proses adsorpsi ion logam krom dengan menggunakan daging buah tanaman jambu biji hanya dapat bekerja pada pH larutan 2 atau pada suasana asam. Sedangkan pada pH 7 dan pH 10 tidak terjadi proses adsorpsi ion logam krom yang ditunjukkan oleh tidak berubahnya konsentrasi akhir larutan krom.
4. Dari hasil uji adsorpsi isoteremis dan dengan menggunakan pemodelan Freundlich diperoleh kapasitas adsorpsi ion logam krom oleh daging buah tanaman jambu biji sebesar 0,349 mmol/g biosorben untuk waktu kontak 240 menit.

5.2 SARAN

Saran-saran yang dapat diberikan pada penelitian berikutnya antara lain:

1. Menggunakan limbah industri krom nyata sebagai larutan yang akan diadsorpsi. Dengan penggunaan limbah nyata maka dapat dilihat apakah daging buah tanaman jambu biji dapat digunakan untuk limbah campuran seperti limbah industri.
2. Penelitian dapat dikembangkan dengan menggunakan sistem kontinu dan kolom adsorpsi untuk memisahkan logam berat dari larutannya.

3. Menggunakan alat AAS (*Atomic Absorption Spectroscopy*) untuk menganalisis kandungan logam pada larutan karena memiliki tingkat keakuratan yang lebih tinggi dari pada Spektrofotometer Sinar Tampak.



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*, Massachusetts, Cambridge.
- 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.
- Bapedal. (1995). 'KEP-51/MENLH/10/1995'. [http:// www.bapedal.go.id, KEP-51/MENLH/10/1995](http://www.bapedal.go.id/KEP-51/MENLH/10/1995) tentang Baku Mutu Limbah Cair Bagi Kegiatan Industri, (7 Mei 2007).
- 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 Cr⁶⁺ removal efficiencies from aqueous medium, *J. Hazard. Mater.* 119, pp. 219–229.
- Coulson, J.M. and Richardson, J.F. (1997). *Chemical Engineering, vol. 2*, New York, Pergamont Press.
- Dean, S.A., Tobin, J.M. (1999). Uptake of chromium cation and anions by milled peat. *Resour. Conserv. Recycl.*, 27, 151–156.
- Deptan. (2007). <http://agribisnis.deptan.go.id/web/teknopro/Leaflet%20Tecnopro%20No.%2025.htm> (7 Mei 2007)
- Gode, F., Pehlivan, E. (2006). Chromium(VI) adsorption by brown coals, *Energy Sources, Part A* 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.

Indomedia. (1998).

<http://www.indomedia.com/intisari/1998/november/alternatif.html> (7 Mei 2007)

Industrial Waste Water Discharge standards Tcvn 5945. (1995).

<http://law.nus.edu.sg/apcel/dbase/vietnam/regs/virwin.html> (10 Juli 2008)

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.

Kirk Othmer. (1994). *Adsorption, Ensiklopedia of Chemical Tech, Vol. I*, Wiley Interscience.

Lu, A. et al. (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.

McCabe, L. Waren et al. (1999). *Operasi Teknik Kimia jilid 2, Edisi Keempat*, Jakarata, Erlangga.

Mulia, E. K. et al. (2004). *Buku Panduan Praktikum Kimia Analitik*, Depok, Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

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

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.

Schweitzer, Philip A. (1997). *Handbook of Separation Techniques for Chemical Engineers, Edisi Ketiga*, New York, McGraw Hill.

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.

Sontheimer, Crittenden, Summers. (1988). *Activated Carbon for Water Treatment*, Universitat Karlsruhe.

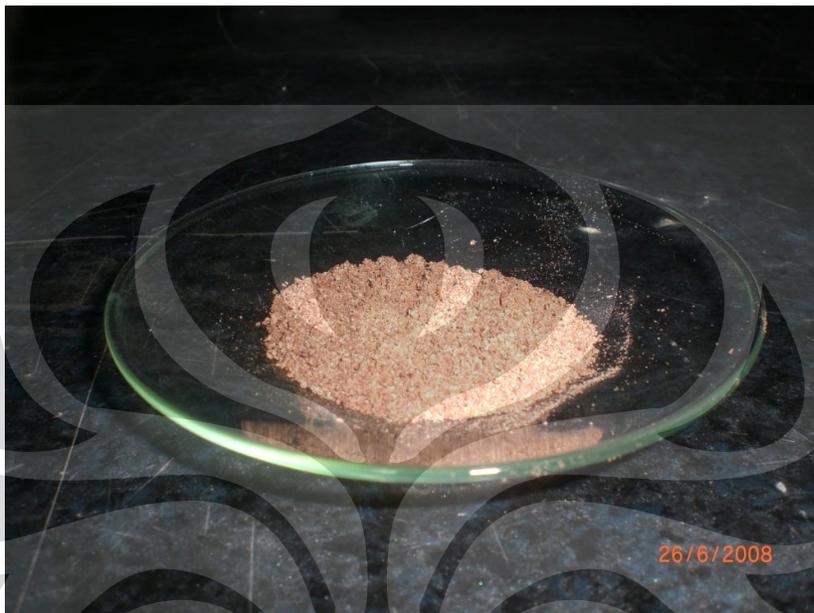
Sri Yuliani, Laba Udarno dan Eni Hayani. (2003). *Kadar Tanin dan Quersetin Jambu biji (Psidium guajava)*. Balai Penelitian Tanaman Rempah dan Obat

Wikipedia. (2007). 'Chromium'. <http://www.wikipedia.org/wiki/Chromium>,
Wikipedia International Encyclopedia, (7 Mei 2007).



LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar daging buah tanaman jambu biji yang digunakan sebagai biosorben



Lampiran 2. Gambar Susunan Alat Penelitian



Lampiran 3. Perbandingan Warna Larutan Krom



LARUTAN KROM SEBELUM
PROSES ADSORPSI



LARUTAN KROM SETELAH
PROSES ADSORPSI

Lampiran 4. Pengolahan Data Uji Kinetika (pH 2)

Waktu	Absorbansi	Konsentrasi	% Penyerapan
0		10	0
30	0,82	2,598684211	74,01315789
60	0,66	2,072368421	79,27631579
120	0,31	0,921052632	90,78947368
180	0,11	0,263157895	97,36842105
210	0,07	0,131578947	98,68421053
240	0,04	0,032894737	99,67105263
270	0,04	0,032894737	99,67105263

Untuk mendapatkan nilai konsentrasi dapat digunakan persamaan :

$$y = 0,304x + 0,03 \quad (\text{kurva kalibrasi pada Gambar 4.1 untuk absorbansi} < 0,79)$$

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	0,065790	0,00127	0,019104	15,1	2,71
318	0,003145	0,05	0,065790	0,00127	0,019104	15,1	2,71
323	0,003096	0,06	0,098684	0,00190	0,019041	10,03	2,31

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

$$y = 0,304x + 0,03 \quad (\text{kurva kalibrasi pada Gambar 4.1 untuk absorbansi} < 0,79)$$

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	0,06	0,098684211	0,191358806
40	0,58	1,809,210,526	0,367219130
50	0,77	2,434,210,562	0,457363360
60	0,83	2,631,578,947	0,551619433

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

$$y = 0,304x + 0,03 \quad (\text{kurva kalibrasi pada Gambar 4.1 untuk absorbansi} < 0,79)$$

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

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

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

