

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SINGKONG (*Manihot
esculenta Crantz*) yang DIMODIFIKASI dengan ASAM
MERKAPTOASETAT SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM
BERAT Pb(II), Cd(II), DAN Cu(II)**

(Skripsi)

**Oleh
Misbahuddin Nur**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2010**

ABSTRAK

PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SINGKONG (*Manihot esculenta Crantz*) yang DIMODIFIKASI dengan ASAM MERKAPTOASETAT SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM BERAT Pb(II), Cd(II), DAN Cu(II)

Oleh

Misbahuddin Nur

Limbah kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*) dapat dimanfaatkan untuk mengadsorpsi ion-ion logam. Kemampuan absorpsinya cukup tinggi karena di dalam kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*) banyak terdapat gugus fungsi hidroksida dan amina yang dapat berikatan dengan ion logam. Penggunaannya sebagai adsorben belum cukup baik untuk menyerap ion-ion logam berat yang kebanyakan berupa asam lunak, karena gugus hidroksida termasuk basa keras. Sehingga perlu dilakukan modifikasi terhadap biomassa kulit singkong.

Pada penelitian ini telah dilakukan modifikasi biomassa kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*) dengan menggunakan asam merkaptoasetat untuk mengganti gugus fungsi hidroksida dengan gugus tiol yang bersifat basa lunak, dan selanjutnya dilakukan proses adsorpsi terhadap ion logam Pb(II), Cd(II) dan Cu(II). Hasilnya didapatkan bahwa waktu optimum untuk mencapai adsorpsi maksimum ion logam Pb(II), Cd(II) dan Cu (II) oleh biomassa hasil modifikasi dengan asam merkaptoasetat 1,0 M adalah 60 menit untuk Pb(II) dan Cu(II) dan 120 menit untuk Cd(II). Sedangkan untuk biomassa hasil modifikasi dengan asam merkaptoasetat 0,5 M berturut-turut adalah 10 menit, 30 menit, dan 60 menit.

Kapasitas adsorpsi maksimum untuk biomassa hasil modifikasi dengan asam merkaptoasetat 1,0 M adalah sebesar 21,47 mg/g untuk Pb(II), 19,56 mg/g untuk Cd(II) dan 13,67 mg/g untuk Cu(II). Dengan energi adsorpsi 29,399 KJ/mol untuk Pb(II), 21,802 KJ/mol untuk Cd(II) dan 22,058 KJ/mol untuk Cu(II).

Sedangkan kapasitas adsorpsi untuk biomassa hasil modifikasi dengan asam merkptoasetat 0,5 M adalah sebesar 18,91/ mg/g untuk Pb(II), 19,66 mg/g untuk Cd(II) dan 10,58 mg/g untuk Cu(II). Dengan energi adsorpsi sebesar 25,128 KJ/mol untuk Pb(II), 21,272 KJ/mol untuk Cd(II) dan 23,627 KJ/mol untuk Cu(II).

Dari besarnya energi adsorpsi ini, diketahui bahwa interaksi yang terjadi antara biomassa hasil modifikasi dengan ion logam adalah interaksi kimia yang melibatkan ikatan koordinasi antara biomassa dengan ion logam berat. Secara umum energi adsorpsi $Pb(II) > Cu(II) > Cd(II)$.

**PEMANFAATAN LIMBAH KULIT SINGKONG (*Manihot
esculenta Crantz*) yang DIMODIFIKASI dengan ASAM
MERKAPTOASETAT SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM
BERAT Pb(II), Cd(II), DAN Cu(II)**

Oleh
Misbahuddin Nur

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA SAINS

Pada

Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2010**

RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Natar, pada tanggal 13 September 1985, anak pertama dari tujuh bersaudara, putra dari Ahmad Sutaryo (alm) dan Siti Aisyah Nasution.

Penulis menyelesaikan pendidikan dasar di Madrasah Ibtidaiyah (MI) Al-Fatah Natar tahun 1997, menamatkan pendidikan menengah pertama di Madrasah Tsanawiyah (MTs) Al-Fatah Natar tahun 2000, pendidikan menengah atas di Madrasah Aliyah (MA) Al-Fatah Natar pada tahun 2003. Pada tahun yang sama penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Kimia pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung melalui jalur Penelusuran Kemampuan Akademik dan Bakat (PKAB).

Selama menjadi mahasiswa, penulis pernah menjadi asisten praktikum Kimia Dasar I dan II tahun 2004-2007, Kimia Anorganik I dan II tahun 2005-2006, dan Kimia Medik tahun 2006. Tahun 2004-2005 penulis aktif di ROIS FMIPA, anggota biro publikasi dan penerbitan HIMAKI FMIPA tahun 2004-2005, ketua bidang Sains dan Penalaran Ilmu Kimia HIMAKI FMIPA tahun 2005-2006, ketua Dinas Sains dan Teknologi BEM FMIPA tahun 2006-2007. Selain itu penulis juga pernah mendapatkan bantuan beasiswa TPSDP tahun 2004, beasiswa PPA tahun 2005-2008. Penulis juga pernah mewakili UNILA pada ajang Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) XIX di Universitas Muhammadiyah Malang tahun 2006.

Teriring puji dan syukur kepada Allah SWT.

*Kupersembahkan karya kecil ini untuk Ayah dan Ibu tercinta,
adik-adikku, keluarga besarku, sahabat-sahabatku, guru-guruku,
serta almamaterku Universitas Lampung.*

SANWACANA

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya penulisan skripsi ini dapat diselesaikan. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Suharso, Ph.D. sebagai Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktu, perhatian, dan memberi limpahan ilmu dalam menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.
2. Ibu Zipora Sembiring, M. Si sebagai Pembimbing Kedua yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Hardoko Insan Qudus, M.S. sebagai Pembimbing Akademik sekaligus Dosen Penguji atas segala ketulusan dan kebaikan hati dalam membimbing studi maupun dalam memberikan kritik dan saran kepada penulis demi menyempurnakan skripsi ini.
4. Bapak Andi Setiawan, Ph.D. sebagai Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Sutyarso, M. Biomed selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Staf Pengajar dan Karyawan Jurusan Kimia FMIPA Universitas Lampung.

7. Ayah dan Ibu yang telah memberikan ilmu, do'a, kerja keras dan kasih sayang yang abadi untuk kesempurnaan hidupku.
8. Adik-adik dan seluruh keluarga besarku yang telah memberikan harapan yang besar untuk kesuksesan hidupku.
9. Semua teman-teman kimia angkatan 2003, atas kebersamaannya dan kebaikan kalian selama ini.
10. Sahabat-sahabatku di Kimia Anorganik, Majid, Subki, Agung, Nunung, Elis, Ani, Tri dan Tim Penelitian biomassa Indri dan Septian .
11. Sahabat-sahabat Alumni Al-Fatah khususnya Angkatan 2003 yang sudah berbagi suka dan duka.
12. Sahabat seperjuanganku di ROIS FMIPA, HIMAKI FMIPA, dan BEM FMIPA Unila.
13. Guru-guruku dan keluarga besar Ponpes Shuffah Hizbullah dan Madrasah Al-Fatah Muhajirun, Negararatu, Natar, Lam-Sel.

Semoga Allah Subhanahu wata'ala yang maha segalanya membalas semua kebaikan dengan sebaik-baik balasan. Dengan segala kekurangannya penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua. Amin.

Bandar Lampung Juli 2010

Penulis

Misbahuddin Nur

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
PENDAHULUAN	
Latar Belakang	1
Tujuan Penelitian	3
Manfaat Penelitian	3
TINJAUAN PUSTAKA	
Logam berat	4
Logam Timbal Pb(II)	4
Logam Tembaga Cu(II)	6
Logam Kadmium Cd(II)	7
Biomassa Kulit Singkong	8
Asam Merkptoasetat	9
Adsorpsi	10
Laju Adsorpsi	11
Kapasitas dan Energi Adsorpsi	13
Spektroskopi Infra Merah	15
Spektroskopi Serapan Atom	15

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat	17
Alat dan Bahan	17
Prosedur Penelitian	
Preparasi Sampel	18
Aktivasi dan Modifikasi Biomassa	18
Proses Adsorpsi Ion Logam Oleh Biomassa	
Pengaruh waktu adsorpsi	19
Pengaruh konsentrasi	19
Pengaruh Temperatur	20
Karakterisasi Dengan Spektrofotometri IR	20

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi gugus fungsi adsorben melalui analisis spektrum inframerah	21
Penentuan Kemampuan Adsorpsi Biomassa	
Pengaruh Waktu Terhadap Adsorpsi Ion Logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) Oleh biomassa hasil Modifikasi	25
Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi Ion Logam Berat	
Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi ion Logam Pb(II) oleh biomassa kulit singkong	27
Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi ion Logam Cd(II) oleh biomassa kulit singkong	30
Pengaruh konsentrasi terhadap adsorpsi ion Logam Cu(II) oleh biomassa kulit singkong	32

Pengaruh Temperatur Terhadap Adsorpsi Ion Logam Berat

Pengaruh temperatur terhadap adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biomassa kulit singkong	35
Pengaruh temperatur terhadap adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa kulit singkong	36
Pengaruh temperatur terhadap adsorpsi ion logam Cu(II) oleh biomassa kulit singkong	37

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan	39
Saran	40

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Sifat fisika asam merkptoasetat	9
2. Parameter Langmuir untuk absorpsi ion Pb(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M	29
3. Parameter Langmuir untuk absorpsi ion Cd(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M	31
4. Parameter Langmuir untuk absorpsi ion Cu(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Ubi singkong	8
2. Asam Merkptoasetat	9
3. Isoterm adsorpsi Langmuir	14
4. Spektrum Infra Merah dari biomassa limbah kuli singkong (<i>Manihotesculenta Crantz</i>)	22
5. Spektrum Infra Merah dari biomassa limbah kuli singkong (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) setelah proses aktivasi dengan HNO ₃ 0,3 M	22
6.	
7. Spektrum Infra Merah dari biomassa limbah kuli singkong (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) setelah proses modifikasi dengan asam merkptoasetat 1,0 M	23
8. Spektrum Infra Merah dari biomassa limbah kuli singkong (<i>Manihot esculenta Crantz</i>) setelah proses modifikasi dengan asam merkptoasetat 0,5 M	23
9. Pola adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 1,0 M	25
10. Pola adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 M	26
11. Pola adsorpsi ion logam berat Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M	27
12. Hasil plot Langmuir untuk adsorpsi ion logam berat Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M	28

13. Pola adsorpsi ion logam berat Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M	30
14. Hasil plot Langmuir untuk adsorpsi ion logam berat Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M	31
15. Pola adsorpsi ion logam berat Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M	32
16. Hasil plot Langmuir untuk adsorpsi ion logam berat Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M	33
17. Pola adsorpsi ion logam berat Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M pada variasi temperatur	35
18. Pola adsorpsi ion logam berat Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M pada variasi temperatur	36
19. Pola adsorpsi ion logam berat Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M pada variasi temperatur	38

I. PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Penggunaan berbagai logam berat dalam proses industri secara terus menerus dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan, terutama lingkungan perairan. Di sisi lain juga terjadi pencemaran lingkungan yang diakibatkan oleh limbah pertanian, seperti limbah kulit singkong yang belum tertangani dengan baik. Sehingga diperlukan usaha-usaha untuk menanggulangi keberadaan logam berat di lingkungan melalui pemanfaatan limbah kulit singkong, agar dapat mengatasi pencemaran logam berat dan limbah kulit singkong secara bersamaan.

Salah satu cara penanganan pencemaran logam berat adalah dengan memanfaatkan prinsip adsorpsi oleh biomassa. Beberapa studi yang pernah dilakukan (Gardea *et al.*, 1996 ; Vieira *et al.*, 2000) menunjukkan bahwa penggunaan biomassa menunjukkan hasil yang efektif dalam mengadsorpsi logam berat. Hal ini disebabkan karena adanya beberapa gugus fungsi yang terdapat pada biomassa, seperti hidroksida, karboksida, karbonil dan amina. Sebagai biomassa, limbah kulit singkong juga dapat digunakan untuk mengadsorpsi logam berat (Horsfall *et al.*, 2003) karena kulit singkong merupakan selulosa yang banyak mengandung gugus fungsi hidroksida.

Kemampuan biomassa limbah kulit singkong sebagai adsorben logam berat cukup baik, yaitu dengan memanfaatkan banyaknya gugus hidroksida yang terdapat pada biomassa limbah kulit singkong. Namun, sebagaimana diketahui bahwa gugus fungsi hidroksida merupakan basa keras sehingga kurang efektif digunakan untuk mengadsorpsi logam berat yang umumnya merupakan asam lunak (Leach, 2003), sehingga diperlukan cara untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi biomassa limbah kulit singkong.

Salah satu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan adsorpsi biomassa limbah kulit singkong adalah dengan memodifikasi gugus fungsi yang ada pada biomassa limbah kulit singkong. Modifikasi dilakukan agar biomassa limbah kulit singkong lebih bersifat basa lunak. Modifikasi ini dapat dilakukan dengan mengganti gugus fungsi – OH pada biomassa dengan gugus fungsi – SH menggunakan asam merkaptoasetat (Abia, 2006 ; Igwe, 2007).

Dari uraian di atas, maka penelitian tentang pemanfaatan limbah kulit singkong ini akan menentukan kondisi optimum proses adsorpsi meliputi waktu optimum, temperatur optimum, dan pH interaksi optimum pada proses adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II), dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang telah dimodifikasi, yang akan digunakan untuk mempelajari kemampuan adsorpsi biomassa limbah kulit singkong. Data yang diperoleh dari penelitian ini dapat dijadikan dasar dalam pengembangan material dan metode alternatif untuk mengadsorpsi logam berat di lingkungan sekaligus menanggulangi pencemaran limbah kulit singkong secara terpadu.

B. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mempelajari pengaruh waktu, konsentrasi, dan temperatur pada proses adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II), dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang telah dimodifikasi.
2. Menentukan kondisi optimum proses adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II), dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong telah dimodifikasi.
3. Menentukan kapasitas adsorpsi dan energi adsorpsi menggunakan isotherm adsorpsi Langmuir.

C. MANFAAT PENELITIAN

Dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan penjelasan tentang pemanfaatan kulit singkong sebagai limbah, yang digunakan untuk mengadsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II), dan Cu(II). Juga diharapkan akan memberikan material dan metode baru yang dapat diaplikasikan untuk menangani pencemaran logam berat melalui pemanfaatan limbah kulit singkong.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Logam Berat

Logam berat didefinisikan sebagai logam-logam dengan berat jenis lebih besar dari 4 dan memiliki efek biokimia yang berbahaya bagi tubuh dalam konsentrasi yang kecil serta dapat terakumulasi dalam rantai makanan (Palar, 1994). Adapun sifat-sifat logam berat yaitu:

1. Sulit didegradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai atau berubah.
2. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, yang nantinya dapat membahayakan kesehatan manusia yang mengonsumsinya.
3. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air.

1. Logam Timbal Pb(II)

Logam timbal merupakan anggota golongan IV A dalam sistem periodik unsur yang memiliki nomor atom (NA) 82 dengan konfigurasi elektron $[\text{Xe}]4f^{14}5d^{10}6s^26p^2$ dan berat atom relatifnya (BA) 207,2 g/mol. Jumlah timbal yang terdapat di alam memiliki empat isotop, yaitu masing-masing dengan berat atom 208, 207, 206, dan 204 (Palar,1994). Logam timbal termasuk ke dalam

golongan transisi yang memiliki bilangan oksidasi 0,+2, +4. Di mana ion logam Pb^{2+} digolongkan sebagai asam madya (*borderline*) (Pearson, 2005).

Timbal adalah logam yang lunak, berwarna abu-abu kebiruan, memiliki densitas yang tinggi (11,48 g/ml), titik didih $1740^{\circ}C$, titik leleh $327,5^{\circ}C$, tahan terhadap peristiwa korosi atau karat, merupakan penghantar listrik yang buruk dan memiliki keelektronegatifan sebesar 1,8. Logam timbal mudah melarut dalam asam nitrat yang pekatnya 8 M (Vogel, 1990).

Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup tentang baku mutu limbah cair No. Kep-51/MENLH/10/1995 menyatakan bahwa batas maksimum untuk logam Pb adalah 0,1 mg/L. Akibat keracunan akut pada manusia adalah terjadinya kerusakan yang hebat pada ginjal, sistem reproduksi, hati, otak, sistem syaraf pusat (gangguan sistem syaraf dan mental), menghambat sintesis hemoglobin (Hb) dalam sumsum tulang dan dapat menimbulkan kematian (Palar, 1994).

Efek keracunan Pb sangat ditentukan oleh variabel lingkungan tertentu yang tergantung pada spesiesnya. Timbal merupakan kontaminan karena secara biologi tidak dibutuhkan oleh tubuh manusia. Logam timbal memiliki kemampuan untuk berikatan dengan gugus-gugus yang ada pada alga, terutama gugus karboksilat melalui ikatan koordinasi (Palar, 1994).

2. Logam Tembaga Cu(II)

Tembaga dengan nama kimia kuprum dilambangkan dengan Cu, merupakan unsur logam yang berbentuk kristal dengan warna kemerahan dan mempunyai titik didih 2600°C serta titik leleh 1080°C . Dalam sistem periodik unsur, logam Cu menempati posisi dengan nomor atom (NA) 29, golongan I B dan mempunyai massa atom relatif (Ar) 63,546. Unsur Cu umumnya terdapat dalam keadaan teroksidasi +1 dan +2, di mana logam tembaga ini berbeda dengan logam lainnya. Logam tembaga merupakan logam berat yang esensial, yakni meskipun tembaga adalah logam berat beracun, namun unsur logam ini dibutuhkan walaupun dalam jumlah yang sedikit karena dapat berguna dalam proses metabolisme tubuh makhluk hidup.

Tembaga masuk dalam tatanan lingkungan sebagai akibat dari beberapa peristiwa antara lain, yaitu: pengikisan batuan mineral, partikulat debu yang turun bersama hujan, dan dampak aktivitas manusia sehari-hari. Sedangkan secara alamiah, Cu masuk ke dalam badan perairan sebagai akibat dari peristiwa erosi atau pengikisan batuan mineral dan melalui persenyawaan Cu di atmosfer yang dibawa turun oleh air hujan. Aktivitas manusia seperti buangan industri pertambangan Cu, industri galangan kapal dan bermacam aktivitas pelabuhan lainnya merupakan salah satu jalur untuk mempercepat terjadinya peningkatan kelarutan Cu dalam badan perairan.

Kebutuhan harian Cu untuk manusia yang dianjurkan WHO dalam Palar, 1994, adalah sebesar 30 – 80 $\mu\text{g}/\text{kg}$ berat tubuh manusia. Karena bila melebihi batas

maksimum tersebut akan menimbulkan efek keracunan. Keracunan utama yang ditimbulkan oleh Cu adalah gangguan fungsi pernafasan, kerusakan atropik pada selaput lendir yang berhubungan dengan hidung. Selain itu, keracunan Cu secara kronis dapat dilihat dengan timbulnya penyakit *Wilson dan Kinsky*. Gejala penyakit ini adalah terjadinya kerusakan otak dan penurunan kerja ginjal serta pengendapan Cu dalam kornea mata. Pada penyakit *Kinsky* akibatnya dapat diketahui dengan terbentuknya rambut yang kaku dan berwarna kemerahan pada penderita (Palar, 1994).

3. Logam Kadmium Cd(II)

Kadmium merupakan logam putih keperakan, dapat ditempa dan liat, serta mempunyai nama kimia Cd. Dalam tabel berkala termasuk golongan II B dengan konfigurasi elektron $[\text{Kr}]4d^{10}5s^2$, bernomor atom 48 dengan bobotnya 112,42 g/mol, titik didihnya 765°C dan titik lelehnya sebesar 320°C . Kadmium dapat larut dengan lambat dalam asam encer dengan melepaskan hidrogen membentuk ion bivalen yang tak berwarna (Vogel,1990) dan mempunyai jari-jari ionik Cd^{2+} 0,97 Å. Unsur Cd mempunyai sifat yang unik yaitu tidak memberikan tingkat oksidasi selain +2 (Cotton dan Wilkinson,1976).

Peraturan Pemerintah No. 82 Tahun 2001 tentang pengelolaan kualitas air dan pengendalian pencemaran air menyatakan bahwa batas maksimum untuk logam Cd berada di lingkungan perairan adalah 0,01 mg/L. Seperti halnya merkuri dan logam-logam berat lainnya, logam Cd merupakan logam berat yang paling berbahaya setelah raksa (Hg) karena dapat membawa sifat racun yang sangat

merugikan bagi semua organisme hidup, bahkan juga sangat berbahaya untuk manusia. Keracunan kadmium dapat bersifat akut dan kronis. Efek keracunan yang dapat ditimbulkannya berupa penyakit paru-paru, hati, tekanan darah tinggi, gangguan pada sistem ginjal dan kelenjar pencernaan serta mengakibatkan kerapuhan tulang (Palar, 1994).

B. Biomassa Kulit Singkong

Singkong atau ketela (Gambar 1) merupakan umbi atau akar pohon yang panjang dengan fisik rata-rata bergaris tengah 2-3 cm dan panjang 50-80 cm, tergantung dari jenis singkong yang ditanam. Daging umbinya berwarna putih atau kekuning-kuningan.



Gambar 1. Ubi singkong

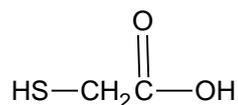
Klasifikasi ilmiah singkong adalah sebagai berikut: Kingdom Plantae, Divisio Magnoliophyta, Kelas Magnoliopsida, Ordo Malphigiales, Suku Euphorbiaceae, Subsuku Crotonoidae, Marga Manihot, Spesies *M. Esculenta*, Nama Binomial: *Manihot esculenta* Crantz (id.wikipedia.org)

Berdasarkan data FAO (Food and Agriculture Organization) produksi singkong Indonesia mencapai 16,7 Juta ton (2002) dan 19, 5 juta ton pada 2004.

Ubi singkong termasuk kulitnya sebagian besar terdiri dari selulosa nonreduktif yang banyak mengandung gugus fungsi hidroksi, karbonil dan sedikit sianida (Abia *et al.*, 2002) yang efektif sebagai ligand untuk mengikat logam berat.

C. Asam Merkптоasetat

Asam merkптоasetat dengan nama lain asam tioglikolat (Gambar 2) merupakan suatu turunan asam karboksilat dengan rumus kimia SHCH_2COOH dan berat molekul 92.12



Gambar 2. Asam merkптоasetat

Asam merkптоasetat berupa cairan larut dalam air yang bening tidak berwarna, dengan bau yang sangat menyengat, bersifat korosif dan dapat mengakibatkan luka bakar pada kulit. Dengan beberapa sifat fisika seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisika asam merkптоasetat.

Berat jenis	1,33 pada 20 °C
Titik leleh	- 16 °C (3 F)
Titik didih	120 °C (248 F)
Tekanan uap	1 mmHg pada 60 °C (140 F)
Berat jenis uap	3,2

Asam merkptoasetat stabil dalam kondisi penggunaan dan penyimpanan biasa namun sangat mudah teroksidasi oleh udara. Saat terbakar akan menghasilkan belerang oksida, karbon dioksida dan gas hidrogen sulfida (Mallinckrodt Baker, Inc, 2004).

Dilihat dari gugus fungsi –SH, maka Asam merkptoasetat termasuk ke dalam golongan asan lunak yang akan lebih suka bereaksi atau berikatan dengan basa lunak lainnya. Asam merkptoasetat juga diketahui teradsorpsi ke atas permukaan logam Ag^+ - yang merupakan basa lunak - melalui gugus –SH bukan melalui gugus karboksil (Chung dan Lee, 2004). Asam merkptoasetat juga telah digunakan untuk memodifikasi beberapa biomassa seperti pada biomassa sabut kelapa (Igwe dan Abia, 2007).

Asam merkptoasetat dapat bereaksi dengan suatu alkohol dari suatu biomassa dengan reaksi sebagai berikut:



Di mana gugus –OH dari biomassa akan digantikan oleh gugus –SH dari asam merkptoasetat (Horsfall *et al.*, 2004).

D. Adsorpsi

Adsorpsi adalah peristiwa akumulasi partikel pada permukaan. Zat yang mengadsorpsi disebut adsorben sedangkan zat yang teradsorpsi disebut adsorbat (Atkins, 1997). Secara umum, terdapat dua jenis adsorpsi logam berat oleh

mikroorganisme, yaitu adsorpsi yang tidak bergantung metabolisme (*metabolism-independent*) dan adsorpsi yang bergantung metabolisme (*metabolism-dependent*). Proses adsorpsi logam yang tidak bergantung pada metabolisme terutama terjadi pada permukaan dinding sel dan permukaan ekstrasel lain, yang terjadi melalui mekanisme kimia dan fisika, seperti pertukaran ion dan pembentukan kompleks. Sedangkan adsorpsi yang bergantung pada metabolisme akan menyebabkan terakumulasinya logam di dalam dinding sel. Proses ini secara keseluruhan disebut biosorpsi (Gladd dan White, 1993).

Oscik (1982), menjabarkan teori Langmuir bahwa pada permukaan adsorben terdapat sejumlah tertentu situs aktif yang sebanding dengan luas permukaan adsorben. Dalam setiap situs aktif hanya satu molekul yang diadsorpsi. Proses adsorpsi dapat terjadi karena adanya gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Adsorpsi kimia melibatkan ikatan koordinasi sebagai akibat dari penggunaan elektron secara bersama oleh adsorben dan adsorbat. Adsorpsi kimia mempunyai energi >40 kJ/mol, yang dihasilkan dari ikatan kovalen atau elektrostatik, akibat interaksi yang lebih kuat daripada interaksi fisika, maka zat yang teradsorpsi sukar dilepaskan dan cenderung bersifat reversibel.

E. Laju Adsorpsi

Laju reaksi adalah perubahan konsentrasi pereaksi atau produk dalam suatu satuan waktu. Faktor yang mempengaruhi laju reaksi antara lain sifat dasar pereaksi, temperatur, zat katalitik, dan konsentrasi pereaksi (Kleinfelter, 1995).

Laju reaksi adsorpsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Langmuir-Hinshelwood (Jin *et al.*, 1996) sebagai berikut:



$$-r_A = \frac{\delta CA}{\delta t} = \frac{k_1 CA}{1+KCA} \quad (3)$$

di mana:

K = konstanta Langmuir (m^{-1})

K_1 = Konstanta laju reaksi rde pertama pada model L H (min^{-1})

r_A = laju reaksi ($M.min^{-1}$)

CA = konsentrasi logam dalam larutan (M)

T = waktu (menit)

A = ion logam

S = Adsorben

A*S = konsentrasi ion logam yang teradsorpsi pada adsoeben

Dengan pemisahan variable dan pengintegralan persamaan diatas, maka diperoleh persamaan:

$$-\ln \frac{(C_0/CA)}{C_0-CA} + K = \frac{k_1 t}{C_0-CA} \quad (4)$$

Dengan memplotkan $[\ln(C_0/CA)/(C_0-CA)]$ lawan $t/(C_0/CA)$, maka diperoleh garis lurus, di mana *slope* dan *intersep* masing-masing k_1 dan K adalah konstanta Langmuir. Dengan demikian, maka harga tetapan laju adsorpsi ion logam pada biomassa dan konstanta kesetimbangannya dapat ditentukan.

F. Kapasitas dan Energi Adsorpsi

Proses penyerapan kimia dapat dinyatakan dengan persamaan kimia. Jika zat yang terserap adalah suatu gas, persamaan reaksi kesetimbangan dapat ditulis sebagai berikut:



Dengan A adalah gas yang terserap, M adalah situs aktif pada permukaan adsorben dan AM adalah molekul yang terikat pada permukaan adsorben. Bila θ adalah fraksi situs yang terisi adsorbat dan θ_0 adalah fraksi situs yang belum terisi adsorbat, maka $\theta + \theta_0 = 1$. Laju adsorpsi adalah $r_{\text{ads}} = k_1 p (1 - \theta)$, laju desorpsi adalah $r_{\text{des}} = k_{-1} p \theta$, dengan p adalah tekanan gas dan k_1 merupakan konstanta laju adsorpsi dan k_{-1} adalah konstanta laju desorpsi. Dalam kesetimbangan lajunya adalah $r_{\text{ads}} = r_{\text{des}}$ sehingga didapatkan :

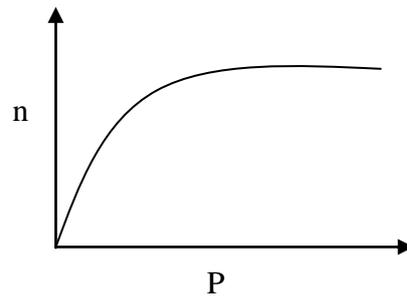
$$\theta = \frac{k_1 P}{1 + \theta} = \frac{Kp}{k_1} \quad (6)$$

Karena $\theta = n/n_m$, dengan n adalah konsentrasi situs permukaan yang terisi adsorbat, n_0 adalah konsentrasi situs permukaan yang belum terisi adsorbat.

Konsentrasi situs yang belum terisi adsorbat dan yang sudah terisi adsorbat adalah $n + n_0 = n_m$, sehingga persamaan tersebut menjadi:

$$n = \frac{n_m Kp}{1 + Kp} \quad (7)$$

dengan plot n terhadap p seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3:



Gambar 3. Isotherm adsorpsi Langmuir

Untuk adsorpsi suatu zat dalam larutan, maka persamaan tersebut dapat dikoreksi dengan mengonversikan p menjadi konsentrasi molar C , yaitu konsentrasi adsorbat saat setimbang, sehingga diperoleh:

$$n = \frac{n_m KC}{1+KC} \quad (8)$$

Persamaan isotherm adsorpsi Langmuir dapat ditulis dalam bentuk persamaan linear yaitu:

$$\frac{C}{n} = \frac{1}{n_m K} + \frac{C}{n_m} \quad (9)$$

Plot C/n terhadap C akan diperoleh garis lurus, sehingga konstanta kesetimbangan (K) dan kapasitas adsorpsi maksimum (n_m) dapat ditentukan dari *intersep* dan *slope* grafik (Adamson, 1990).

G. Spektroskopi Infra Merah

Merupakan metode yang digunakan untuk menentukan struktur senyawa melalui karakteristik gugus fungsi yang terkandung dalam senyawa yang akan dianalisis. Serapan dengan inframerah tersebut disebabkan oleh pergerakan rotasi dan vibrasi dari gugus molekul ikatan kimia suatu molekul.

Pada spektroskopi inframerah, radiasi inframerah dengan rentangan panjang gelombang dan intensitas tertentu dilewatkan terhadap sampel. Kemudian molekul-molekul senyawa pada sampel akan menyerap sebagian atau seluruh radiasi tersebut. Penyerapan ini berhubungan dengan adanya sejumlah vibrasi yang terkuantisasi dari atom-atom yang berikatan secara kovalen pada molekul-molekul itu. Detektor akan menangkap radiasi dan mengukur intensitasnya. Informasi intensitas akhir radiasi tiap panjang gelombang ditampilkan sebagai grafik panjang gelombang versus intensitas radiasi yang dinamakan spektra (Day dan Underwood, 1986).

H. Spektroskopi Serapan Atom

Spektroskopi Serapan Atom adalah metode yang digunakan untuk menganalisis secara kualitatif dan kuantitatif unsur logam. Metode serapannya tergantung dari perbandingan banyaknya atom yang tereksitasi terhadap atom pada tingkat dasar dan tidak bergantung pada suhu. Dan spektra atom serapannya lebih sederhana daripada spektra molekul karena energi intinya tidak dipengaruhi oleh energi vibrasi dan rotasi.

Prinsip dasar analisis spektroskopi serapan atom adalah adsorpsi cahaya oleh atom. Atom menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan energi yang dibutuhkan, agar elektron valensi atom tersebut dapat tereksitasi pada tingkat tertentu. Oleh karena itu, sumber energi yang digunakan harus khas bagi setiap unsur yang dianalisis. Keberhasilan analisis dengan metode ini, terletak pada proses eksitasi dan cara memperoleh garis resonansi yang tepat. Energi radiasi dari sumber cahaya luar yang memancarkan spektrum garis mampu menyerap nyala dari atom-atom tak tereksitasi.

Dalam metode spektroskopi, berlaku hukum Lambert-Beer, apabila sumber yang digunakan adalah sumber cahaya monokromatis. Hukum ini menyatakan “besarnya absorbansi sebanding dengan tebal medium dan konsentrasi analit pada panjang gelombang tertentu”. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = a.b.c \text{ atau } A = \epsilon. b. c$$

Bila konsentrasi dalam gram/mol, maka a disebut tetapan absorpsivitas dan b adalah tebal medium; namun bila konsentrasinya ada dalam mol/liter, maka digunakanlah tetapan absorpsivitas molar (ϵ) (Day dan Underwood, 1986).

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. WAKTU DAN TEMPAT

Penelitian ini telah dilaksanakan selama enam bulan dari bulan Januari sampai Juni 2008 yang bertempat di Laboratorium Kimia Anorganik, Laboratorium Mikrobiologi FMIPA Universitas Lampung. Analisis spektroskopi Infra Merah (IR) dilakukan di LIPI PUSPIPTEK Serpong Tangerang, analisis Spektroskopi Serapan Atom (SSA) dilakukan di Jurusan Kimia FMIPA Universitas Gadjah Mada (UGM) Yogyakarta.

3.2 ALAT DAN BAHAN

Alat yang digunakan pada penelitian ini berupa alat-alat gelas laboratorium seperti pipet, gelas ukur, labu takar, gelas piala, corong Büchner, labu hisap, neraca analitis, pH meter, *stopwatch*, termometer, Spektrofotometer Infra Merah (FT-IR), dan Spektrofotometer Serapan Atom (SSA).

Sampel yang digunakan berupa kulit singkong yang sudah dikeringkan. Bahan yang digunakan berupa asam nitrat, asam merkaptoasetat, timbal nitrat $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, tembaga sulfat pentahidrat $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, dan kadmium nitrat $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$.

B. PROSEDUR PENELITIAN

1. Preparasi sampel

Singkong dibersihkan dan dicuci dengan air bebas ion, dikering anginkan, dikupas dengan hati-hati untuk mendapatkan kulitnya. Kulit yang digunakan adalah kulit yang tebal dan berwarna putih. Kulit singkong yang didapatkan dihaluskan dengan *food processor*, dikeringkan dalam oven pada suhu 105 °C selama 24 jam dan disaring menggunakan saringan dengan ukuran 100 Mesh.

2. Aktivasi dan modifikasi biomassa

Sebanyak 500 gram biomassa direndam dalam larutan asam nitrat 0,3 M berlebih selama 24 jam untuk menghilangkan biomolekul yang mungkin berinteraksi dengan ion logam. Kemudian dicuci dengan air bebas ion sampai diperoleh pH 7, dan dikeringkan anginkan. Biomassa yang sudah diaktifkan ini dibagi ke dalam dua bagian, bagian pertama sebanyak 1 gram ditambahkan 250 mL larutan asam merkptoasetat 0,5 M, dan bagian kedua sebanyak 1 gram ditambahkan asam merkptoasetat 1,0 M, kemudian diaduk selama 24 jam pada temperatur 30 °C pada pH 7 (Horsfall *et al.*, 2004).

3. Proses adsorpsi ion logam oleh biomassa

Proses adsorpsi dilakukan dengan menggunakan kedua adsorben yang telah dimodifikasi oleh asam merkaptoasetat 0,5 M dan 1,0 M dengan metode *Batch*. Tabung reaksi diisi dengan adsorben, kemudian ditambahkan larutan ion logam dengan memvariasikan variabel sesuai parameter yang dikaji. Selanjutnya dikocok dan disentrifuse untuk memisahkan filtrat dan endapannya. Filtratnya diambil dan dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

Parameter yang dikaji meliputi waktu adsorpsi, pengaruh konsentrasi, dan pengaruh Temperatur.

a. Pengaruh waktu adsorpsi

Sebanyak 50 mg biomassa diinteraksikan dengan 25 mL larutan ion logam dengan konsentrasi 100 mg/L, kemudian diaduk dengan *Shaker* dengan waktu interaksi 5, 10, 30, 60, 90, dan 120 menit. Selanjutnya disentrifuse, dan filtratnya dianalisis dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

b. Pengaruh konsentrasi.

Untuk menentukan kapasitas dan energi adsorpsi digunakan 25 mL larutan ion logam dengan variasi konsentrasi 0, 20, 40, 60, 80, dan 100 mg/L dan diinteraksikan dengan 50 mg biomassa, kemudian diatur agar pH sistem 5. Selanjutnya campuran tersebut dikocok dengan *shaker* selama waktu optimum poin a. Filtrat yang diperoleh kemudian diukur dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

c. Pengaruh Temperatur

Sebanyak 50 mg biomassa diinteraksikan kedalam 25 mL larutan ion logam dengan konsentrasi optimum poin b, kemudian dikocok dengan *shaker* selama waktu optimum poin a. Dengan variasi temperatur 27, 37, 47, 57, dan 67 °C. Filtrat yang diperoleh diukur dengan Spektroskopi Serapan Atom (SSA).

4. Karakterisasi dengan Spektrofotometer Infra Merah (IR)

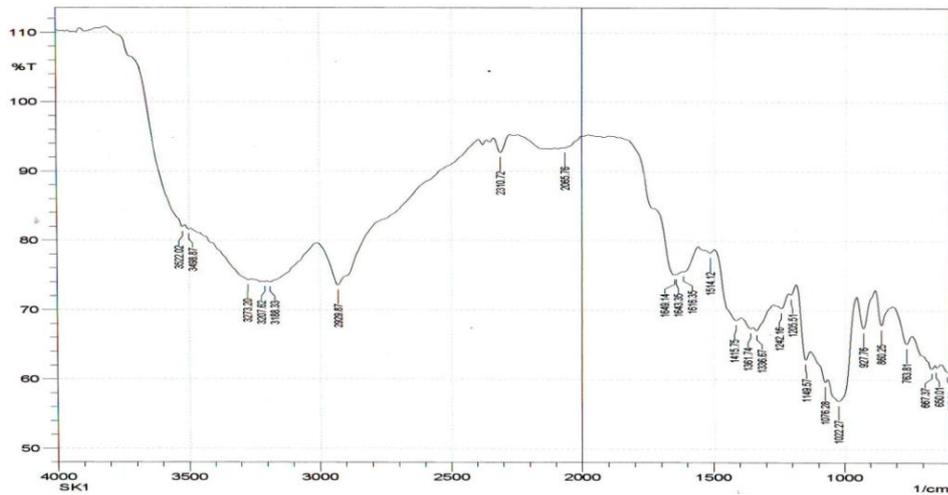
Analisis dengan menggunakan spektrofotometer infra merah (IR) digunakan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada biomassa sebelum dan sesudah diaktivasi dan dimodifikasi, juga dilakukan pada biomassa yang telah mengadsorpsi logam berat untuk mengetahui gugus fungsi apa yang berikatan dengan logam berat.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

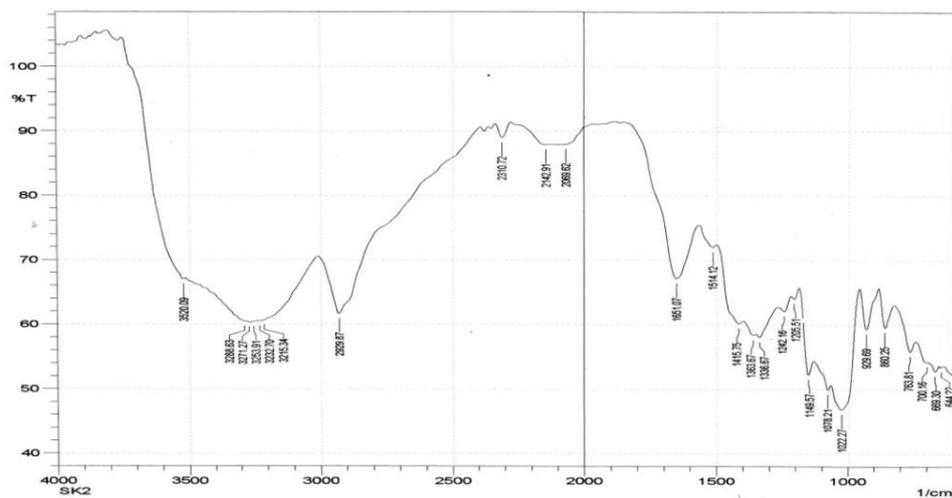
Dari penelitian yang telah dilakukan didapatkan data tentang pengaruh waktu interaksi, konsentrasi ion logam berat, dan temperatur terhadap proses adsorpsi ion logam Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi oleh asam merkaptoasetat (AMA) 0,5 dan 1,0 M. Data tersebut digunakan untuk menentukan kondisi optimum proses adsorpsi, kapasitas dan energi adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong.

A. Identifikasi Gugus Fungsi Adsorben Melalui Analisis Spektrum Inframerah

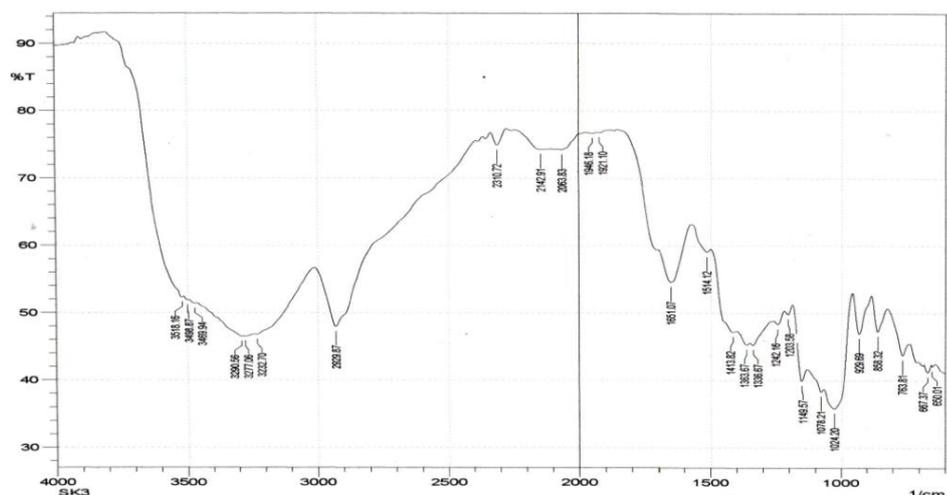
Interaksi yang terjadi pada proses adsorpsi ion logam berat oleh biomassa melibatkan gugus fungsi sebagai situs aktif yang ada pada biomassa. Untuk mengidentifikasi masing-masing gugus fungsi yang terdapat pada biomassa limbah kulit singkong, maka semua adsorben dianalisis dengan menggunakan Spektrofotometer Infra Merah yang hasilnya disajikan dalam Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.



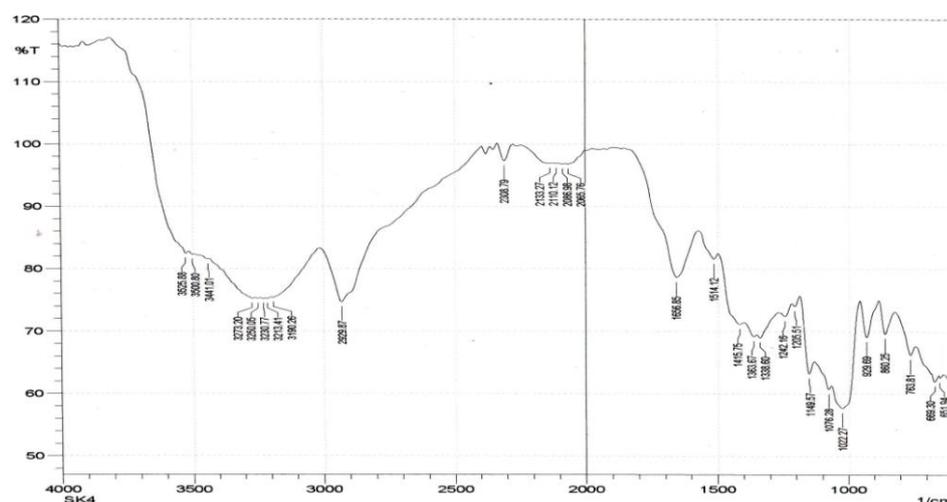
Gambar 4. Spektrum Infra Merah dari biomassa limbah kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*)



Gambar 5. Spektrum Infra Merah dari biomassa limbah kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*) setelah proses aktivasi dengan HNO_3 0,3 M



Gambar 6. Spektrum Infra Merah dari biomassa limbah kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*) setelah proses modifikasi dengan asam merkptoasetat 1,0 M



Gambar 7. Spektrum Infra Merah dari biomassa limbah kulit singkong (*Manihot esculenta Crantz*) setelah proses modifikasi dengan asam merkptoasetat 0,5 M

Dari spektrum infra merah pada Gambar 4, terlihat bahwa pada biomassa kulit singkong terdapat beberapa gugus fungsi seperti gugus fungsi hidroksil, – OH yang diwakili oleh puncak serapan pada daerah $3500 - 3000 \text{ cm}^{-1}$, puncak serapan di daerah itu juga menunjukkan adanya gugus fungsi N – H. Pada biomassa kulit singkong juga terdapat gugus fungsi C=O dari gugus karboksil yang ditunjukkan oleh serapan lebar dan tajam pada daerah 1600 cm^{-1} .

Proses aktivasi biomassa bertujuan untuk menghilangkan pengotor yang terdapat pada biomassa kulit singkong seperti protein dan lemak yang dapat mengganggu proses analisis lebih lanjut. Setelah mengalami aktivasi dengan HNO_3 0,3 M hasil spektrum IR (Gambar 5) biomassa kulit singkong tidak mengalami perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pada biomassa kulit singkong tidak terdapat biomolekul lain seperti asam amino dari protein maupun lemak.

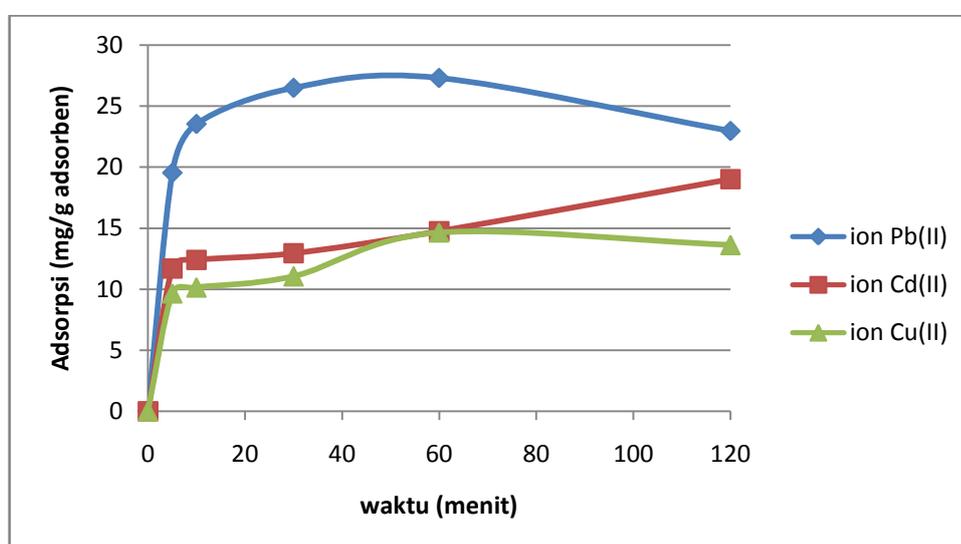
Pada biomassa yang telah dimodifikasi (Gambar 6 dan 7) juga terdapat gugus fungsi O – H, N – H yang ditunjukkan oleh serapan lebar pada daerah $3500 - 3000 \text{ cm}^{-1}$. Namun seharusnya muncul puncak serapan pada daerah $2520 - 2600 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan frekuensi regang dari S – H. Namun karena serapan tersebut mempunyai intensitas sangat lemah, karena itu tidak teramati karena tertutup oleh pita dari frekuensi regang C – H, O – H, atau N – H (Noerdin, 1986). Sehingga tidak adanya puncak serapan pada daerah ini bukan berarti molekul yang diperiksa tidak mengandung gugus S – H. Adanya gugus S – H ditunjukkan dari adanya serapan pada daerah $600 - 700 \text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan frekuensi ulur dari C – S (Soejadi, 1983).

Dari gambar spektrum infra merah yang dihasilkan terlihat bahwa spektrum yang dihasilkan kurang bersih dengan adanya beberapa puncak serapan yang tidak terdefinisikan hal ini dimungkinkan karena biomassa yang dianalisa bukan merupakan suatu senyawa murni. Dari hasil tersebut di atas, maka proses modifikasi biomassa kulit singkong telah terjadi.

B. Penentuan Kemampuan Adsorpsi Biomassa

1. Pengaruh Waktu Terhadap Adsorpsi Ion Logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) Oleh Biomassa Hasil Modifikasi.

Hasil pengukuran adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II), dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang di modifikasi asam merkaptoasetat (AMA) 1,0 M disajikan dalam Gambar 8.

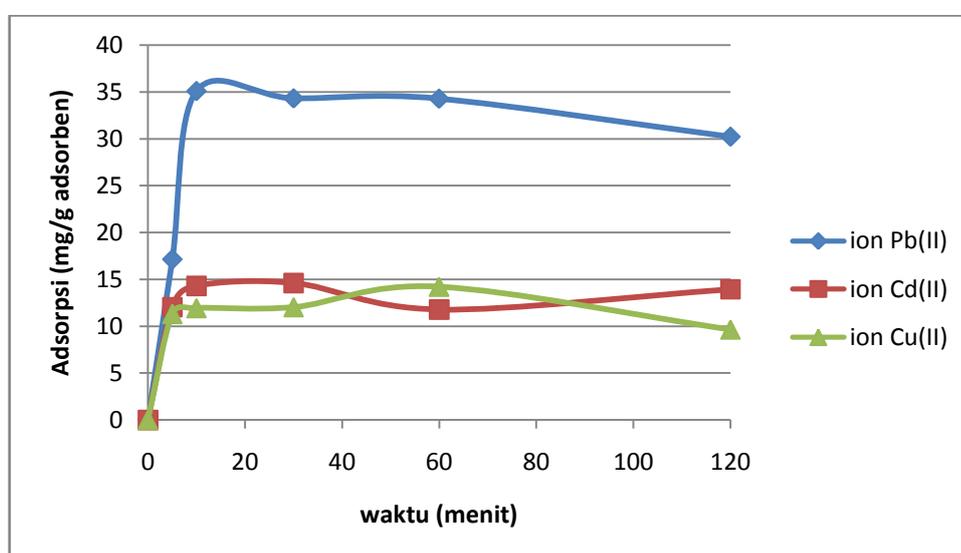


Gambar 8. Pola adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 1,0 M

Dari Gambar 8, dapat diamati bahwa proses adsorpsi ion logam berat oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 1,0 M mencapai waktu optimum masing-masing: 60 menit untuk ion Pb(II) dan Cu(II) dan 120 menit untuk ion Cd(II). Sedangkan kemampuan adsorpsi maksimum biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 1,0 M adalah sebesar 27,31 mg/g untuk ion Pb(II), 19 mg/g untuk ion Cd(II), dan 14,64 mg/g untuk ion Cu(II). Dari data tersebut juga terlihat bahwa setelah waktu

optimum masing-masing, kemampuan adsorpsi biomassa relatif tidak mengalami peningkatan dengan bertambahnya waktu interaksi, dan cenderung mengalami kesetimbangan.

Sedangkan hasil pengukuran adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II), dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang di modifikasi asam merkptoasetat 0,5 M disajikan dalam Gambar 9.



Gambar 9. Pola adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 M

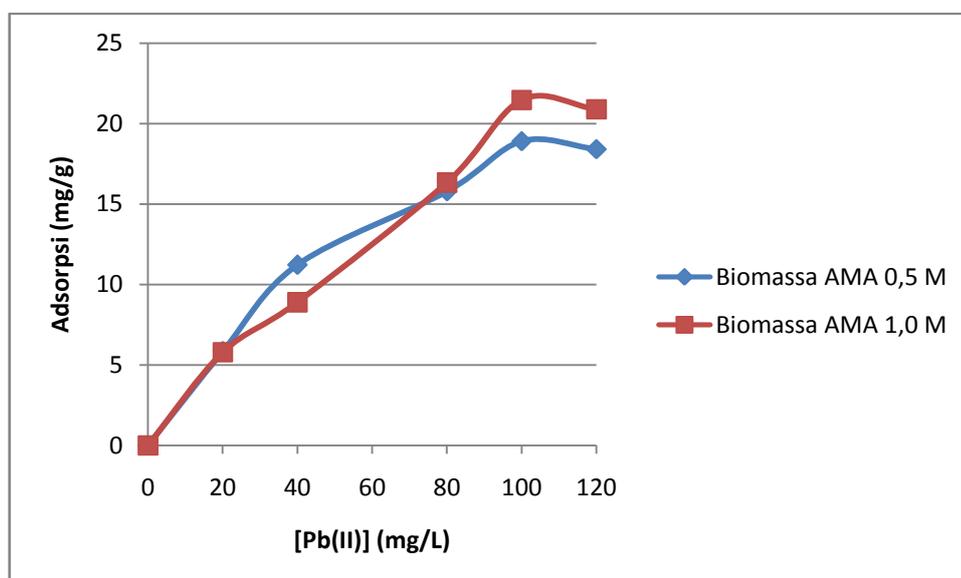
Dari Gambar 9, untuk biomassa yang dimodifikasi dengan asam merkptoasetat 0,5 M didapatkan waktu optimum masing-masing: 10 menit untuk ion Pb(II), 30 menit untuk ion Cd(II), dan 60 menit untuk ion Cu(II). Sedangkan kemampuan adsorpsi maksimumnya 35,08 mg/g untuk ion Pb(II), 14,61 untuk ion Cd(II), dan 14,22 mg/g untuk ion Cu(II). Setelah melewati waktu optimumnya kemampuan adsorben dalam mengadsorpsi ion logam berat juga tidak mengalami peningkatan dan cenderung stagnan. Hal ini dimungkinkan karena adsorben tidak mampu lagi

menyerap ion logam (adsorbat) dan telah tercapainya kesetimbangan adsorpsi ion logam berat oleh biomassa limbah kulit singkong.

2. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi Ion Logam Berat

a. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi Ion Logam Pb(II) oleh Biomassa Kulit Singkong

Hasil pengukuran adsorpsi ion logam berat Pb(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M disajikan dalam Gambar 10.

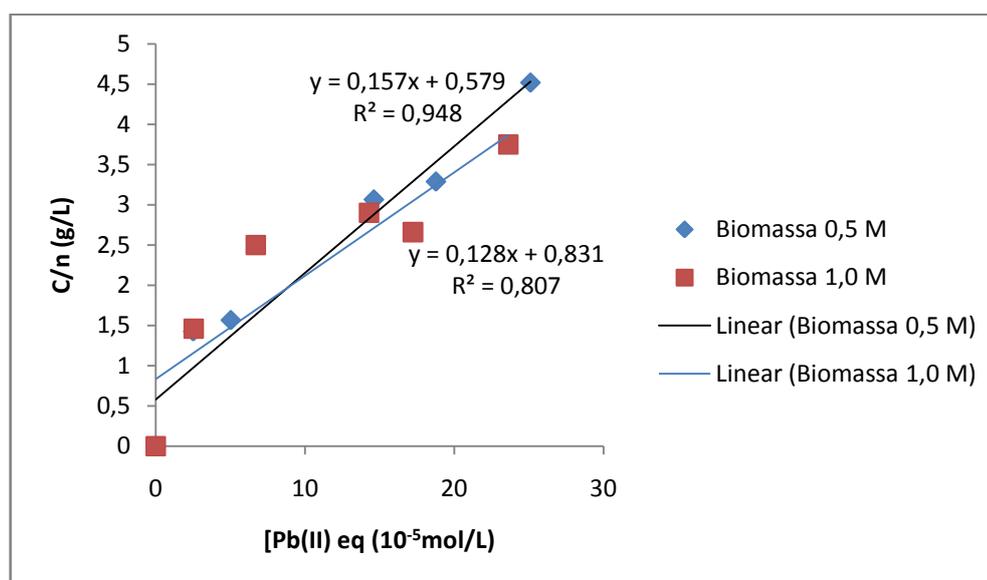


Gambar 10. Pola adsorpsi ion logam berat Pb(II), oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M

Pengaruh konsentrasi ion logam terhadap kemampuan adsorpsi biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M yang terlihat dari Gambar 10 adalah bahwa semakin tinggi konsentrasi ion logam, semakin tinggi pula kemampuan adsorpsi biomassa kulit singkong. Hal ini terus berlaku sampai pada keadaan di mana dengan bertambahnya konsentrasi ion logam kemampuan

adsorpsi biomassa tidak meningkat lagi. Hal ini disebabkan karena biomassa sudah jenuh oleh ion logam sehingga tidak mampu lagi menyerap ion logam dari larutan.

Apabila data plot Langmuir yang terdapat pada Gambar 10 dihitung dengan menggunakan persamaan $C/n = 1/n_m K + C/n_m$ dan mengalurkan C/n terhadap C maka akan didapatkan garis lurus. *Slope* dan *intersep* untuk biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M ditunjukkan dalam Gambar 11.



Gambar 11. Hasil plot Langmuir untuk adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biomassa kulit singkong yang di modifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M.

Nilai kapasitas adsorpsi (n_m), konstanta kesetimbangan (K), dan energi adsorpsi dari masing-masing adsorben disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Langmuir untuk adsorpsi ion Pb(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M.

Adsorben	n_m		K	E
	mg/g	mol/g	10^{-5}	KJ/mol
Biomassa AMA 0,5 M	18.91	6,36	3,682	25,128
Biomassa AMA 1,0 M	21.47	7,81	0,649	29,399

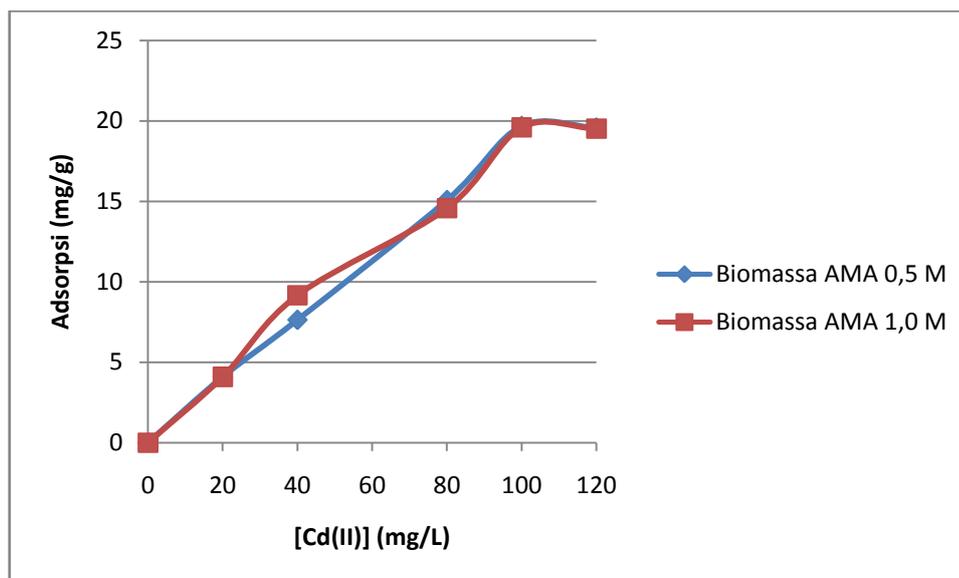
Dari Tabel 2 di atas terlihat bahwa kapasitas adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biomassa AMA 1,0 M relatif lebih besar daripada kapasitas adsorpsi biomassa AMA 0,5 M, tapi tidak jauh berbeda yaitu pada kisaran 18,91 – 21,47 mg/g adsorben.

Energi adsorpsi untuk kedua adsorben sedikit berbeda yaitu 25,128 kJ/mol untuk biomassa AMA 0,5 M dan 29,399 kJ/mol untuk biomassa AMA 1,0 M. Menurut Alberty dan Daniels (1987), besarnya energi adsorpsi menyebabkan adsorbat sukar untuk dilepaskan dari permukaan adsorben karena kation atau asam keras membentuk kompleks yang stabil dengan ligan atau basa keras, sedangkan kation atau asam lunak membentuk kompleks yang stabil dengan ligan atau basa lunak sehingga adsorbat sulit untuk dilepaskan (Huheey dan Poole, 1993).

Data dalam Tabel 2 menunjukkan bahwa kedua adsorben memiliki kisaran energi adsorpsi antara 25,128 – 29,399 kJ/mol. Apabila batasan energi adsorpsi yang digunakan mengacu pada pendapat Adamson (1990), di mana batasan minimal energi adsorpsi kimia adalah 20,92 kJ/mol, maka interaksi yang terjadi pada proses adsorpsi oleh kedua adsorben terhadap ion logam Pb(II) adalah interaksi kimia.

b. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Biomassa Kulit Singkong

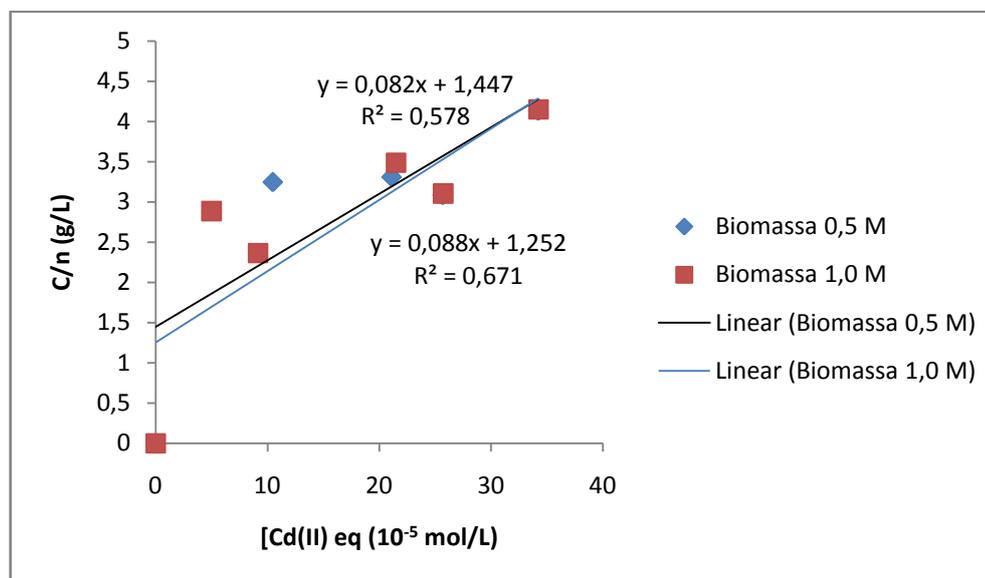
Hasil pengukuran adsorpsi ion logam berat Cd(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M disajikan dalam Gambar 12.



Gambar 12. Pola adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M.

Pengaruh konsentrasi ion logam terhadap kemampuan adsorpsi biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M yang terlihat dari Gambar 12 adalah bahwa semakin tinggi konsentrasi ion logam, semakin tinggi pula kemampuan adsorpsi biomassa kulit singkong. Hal ini terus berlaku sampai pada keadaan di mana dengan bertambahnya konsentrasi ion logam kemampuan adsorpsi biomassa tidak meningkat lagi. Hal ini disebabkan karena biomassa sudah jenuh oleh ion logam sehingga tidak mampu lagi menyerap ion logam dari larutan.

Dari data plot Langmuir yang terdapat pada Gambar 12, didapatkan *slope* dan *intersep* untuk biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M ditunjukkan dalam Gambar 13.



Gambar 13. Hasil plot Langmuir untuk adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa kulit singkong yang di modifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M.

Nilai kapasitas adsorpsi (n_m), konstanta kesetimbangan (K), dan energi adsorpsi dari masing-masing adsorben disajikan pada Tabel 2.

Tabel 3. Parameter Langmuir untuk adsorpsi ion Cd(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M.

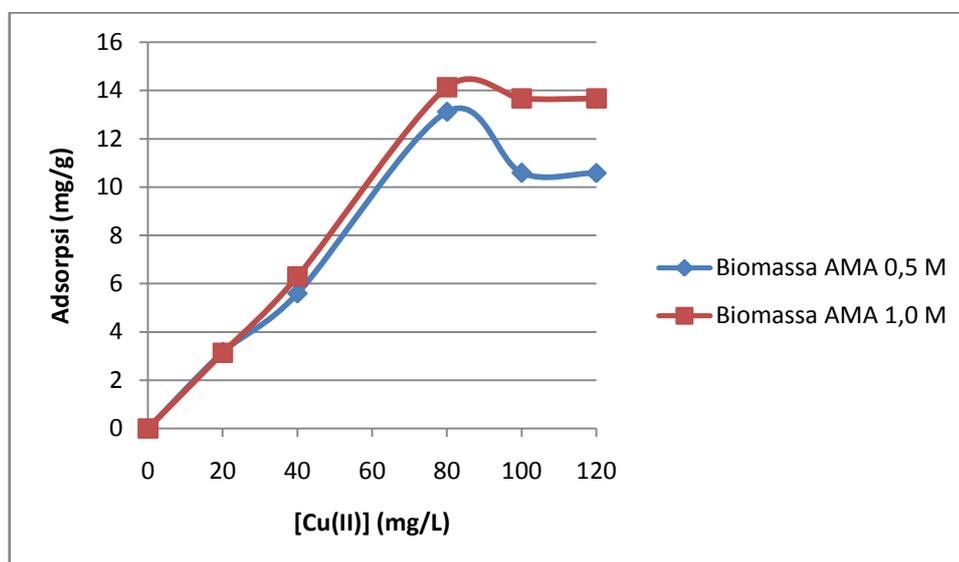
Adsorben	n_m		K	E
	mg/g	mol/g	10^{-5}	KJ/mol
Biomassa AMA 0,5 M	19,66	12,19	17,639	21,272
Biomassa AMA 1,0 M	19,59	11,36	14,222	21,802

Dari Tabel 3 di atas terlihat bahwa kapasitas adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa AMA 1,0 M dan biomassa AMA 0,5 M, relatif sama yaitu kisaran 19,59 – 19,66 mg/g adsorben.

Data dalam Tabel 3 menunjukkan bahwa biomassa AMA 1,0 M memiliki energi adsorpsi yang lebih besar dari biomassa AMA 0,5, namun perbedaannya sangat kecil di mana kedua adsorben memiliki kisaran energi adsorpsi antara 21,272 - 21,802 kJ/mol. Apabila batasan energi adsorpsi yang digunakan mengacu pada pendapat Adamson (1990), di mana batasan minimal energi adsorpsi kimia adalah 20,92 kJ/mol, maka interaksi yang terjadi pada proses adsorpsi oleh kedua adsorben terhadap ion logam Cd(II) adalah interaksi kimia.

c. Pengaruh Konsentrasi Terhadap Adsorpsi Ion Logam Cu(II) oleh Biomassa Kulit Singkong

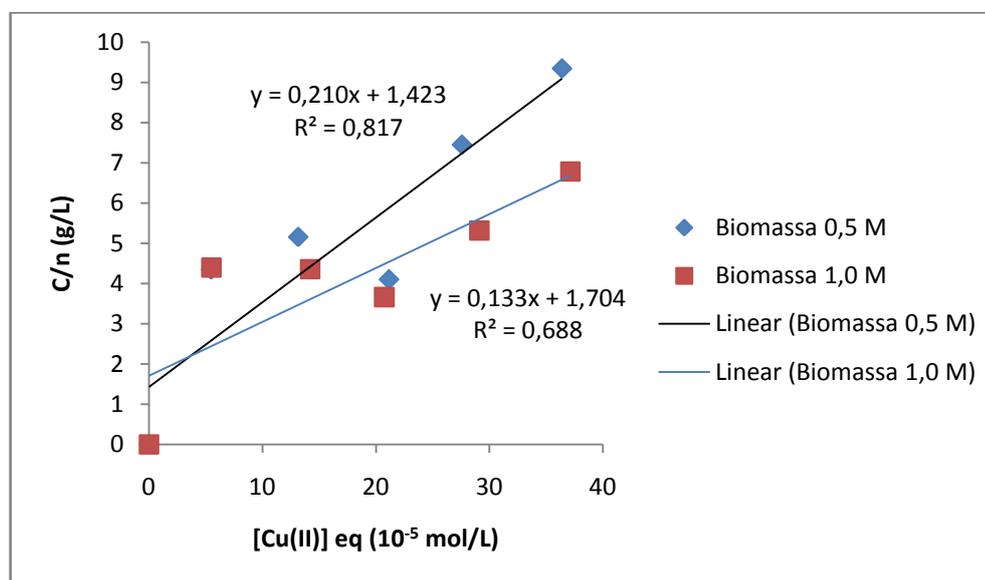
Hasil pengukuran adsorpsi ion logam berat Cu(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M disajikan dalam Gambar 14.



Gambar 14. Pola adsorpsi ion logam Cu(II) oleh biomassa kulit singkong yang di modifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M.

Seperti juga pada ion logam Pb(II) dan Cd(II), pengaruh konsentrasi ion logam Cu(II) terhadap kemampuan adsorpsi biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M yang terlihat dari Gambar 14 menunjukkan bahwa semakin tinggi konsentrasi ion logam, semakin tinggi pula kemampuan adsorpsi biomassa kulit singkong. Hal ini terus berlaku sampai pada keadaan di mana dengan bertambahnya konsentrasi ion logam kemampuan adsorpsi biomassa tidak meningkat lagi. Hal ini disebabkan karena biomassa sudah jenuh oleh ion logam sehingga tidak mampu lagi menyerap ion logam dari larutan.

Dari data plot Langmuir yang terdapat pada Gambar 14, didapatkan *slope* dan *intersep* untuk biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M ditunjukkan dalam Gambar 15.



Gambar 15. Hasil plot Langmuir untuk adsorpsi ion logam Cu(II) oleh biomassa kulit singkong yang di modifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M.

Nilai kapasitas adsorpsi (n_m), konstanta kesetimbangan (K), dan energi adsorpsi dari masing-masing adsorben disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Langmuir untuk adsorpsi ion Cu(II) oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M.

Adsorben	n_m		K	E
	mg/g	mol/g	10^{-5}	KJ/mol
Biomassa AMA 0,5 M	10,58	4,76	6,775	23,627
Biomassa AMA 1,0 M	13,67	7,52	12,812	22,058

Dari Tabel 4 di atas terlihat bahwa kapasitas adsorpsi ion logam Cu (II) oleh biomassa AMA 1,0 M lebih besar dari kapasitas adsorpsi biomassa AMA 0,5 M, yaitu 10,58 mg/g adsorben untuk biomassa AMA 0,5 M dan 13,67 mg/g adsorben untuk biomassa AMA 1,0 M.

Data dalam Tabel 4 juga menunjukkan bahwa biomassa AMA 1,0 M memiliki energi adsorpsi yang lebih kecil dari biomassa AMA 0,5, dengan perbedaan yang kecil di mana kedua adsorben memiliki kisaran energi adsorpsi antara 22, 058 - 23,627 kJ/mol. Serupa halnya dengan ion logam Pb(II) dan Cd(II), apabila batasan energi adsorpsi yang digunakan mengacu pada pendapat Adamson (1990), di mana batasan minimal energi adsorpsi kimia adalah 20,92 kJ/mol, maka interaksi yang terjadi pada proses adsorpsi oleh kedua adsorben terhadap ion logam Cu(II) adalah interaksi kimia.

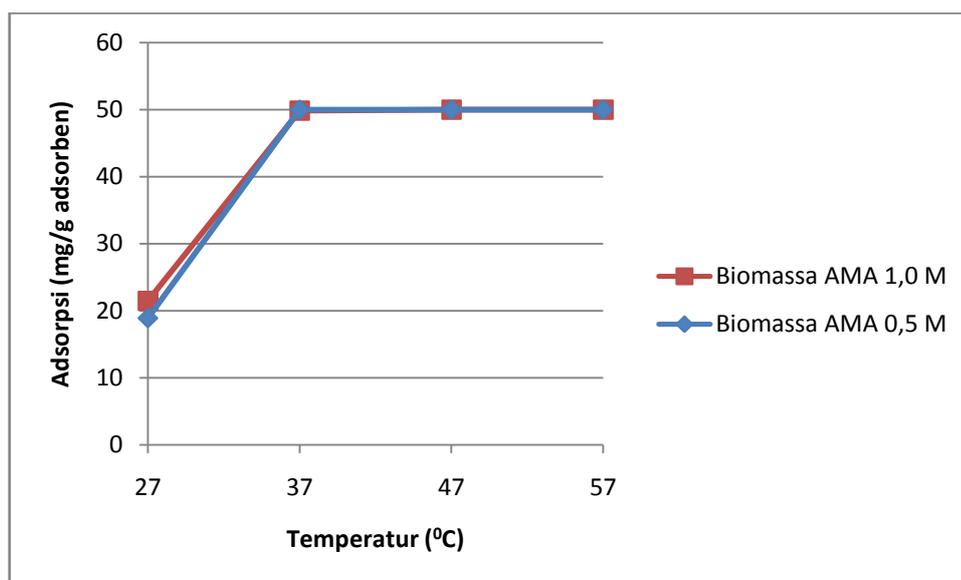
Dari data pada Tabel 2, 3 dan 4 menunjukkan bahwa energi adsorpsi Pb(II) > Cu(II) > Cd(II). Hal ini dapat dijelaskan melalui konsep HSAB (*Hard Soft Acid Base*) yang dikemukakan oleh Pearson, yang menyatakan bahwa asam keras lebih memilih untuk berikatan dengan basa keras, sedangkan asam lunak lebih

menyukai basa lunak (Huheey, 1993). Sedangkan kekerasan suatu asam dipengaruhi oleh ukuran ion dan keelektronegatifitasannya,

3. Pengaruh Temperatur Terhadap Adsorpsi Ion Logam Berat

a. Pengaruh Temperatur Terhadap Adsorpsi Ion Logam Pb(II) oleh Biomassa Kulit Singkong

Hasil pengukuran adsorpsi ion logam berat Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M disajikan dalam Gambar 16.



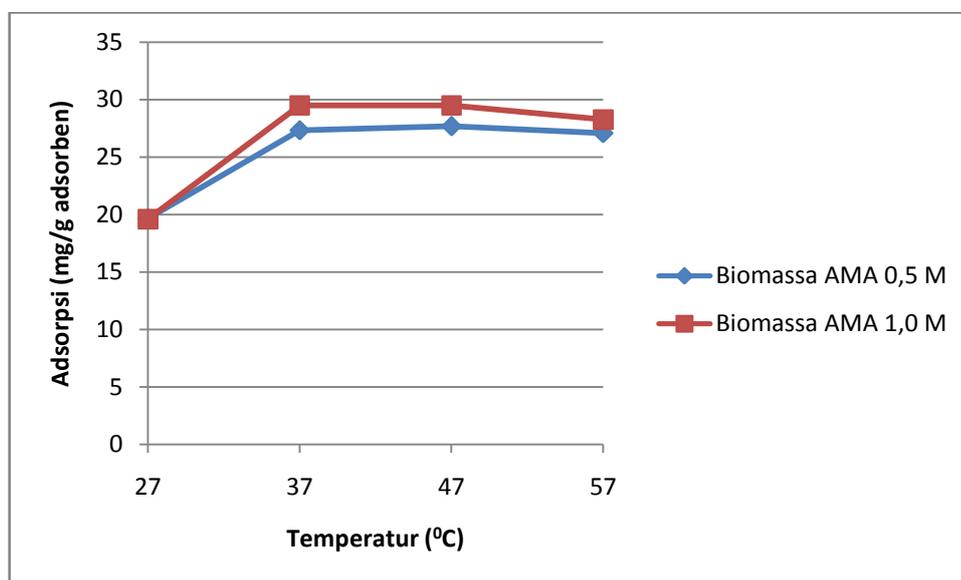
Gambar 16. Pola adsorpsi ion logam berat Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M pada variasi temperatur.

Dari Gambar 16 terlihat bahwa adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 M dan 1,0 mencapai adsorpsi maksimum pada temperatur 47 °C dengan nilai adsorpsi sebesar 50 mg/g adsorben. Pada temperatur yang lebih tinggi dari 47 °C sudah tidak ada kenaikan

adsorpsi lagi dan cenderung konstan, hal ini menandakan pada temperatur 47 °C adsorben sudah menyerap ion logam dengan maksimum dan sudah jenuh dengan ion logam sehingga peningkatan temperatur sudah tidak mempengaruhi kemampuan adsorpsi dari biomassa. Dari Gambar 16 juga terlihat bahwa dari kedua jenis biomassa tidak memberikan perbedaan kemampuan adsorpsi optimum yaitu sama-sama pada nilai 50 mg/g adsorben.

b. Pengaruh Temperatur Terhadap Adsorpsi Ion Logam Cd(II) oleh Biomassa Kulit Singkong

Hasil pengukuran adsorpsi ion logam berat Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M disajikan dalam Gambar 17.

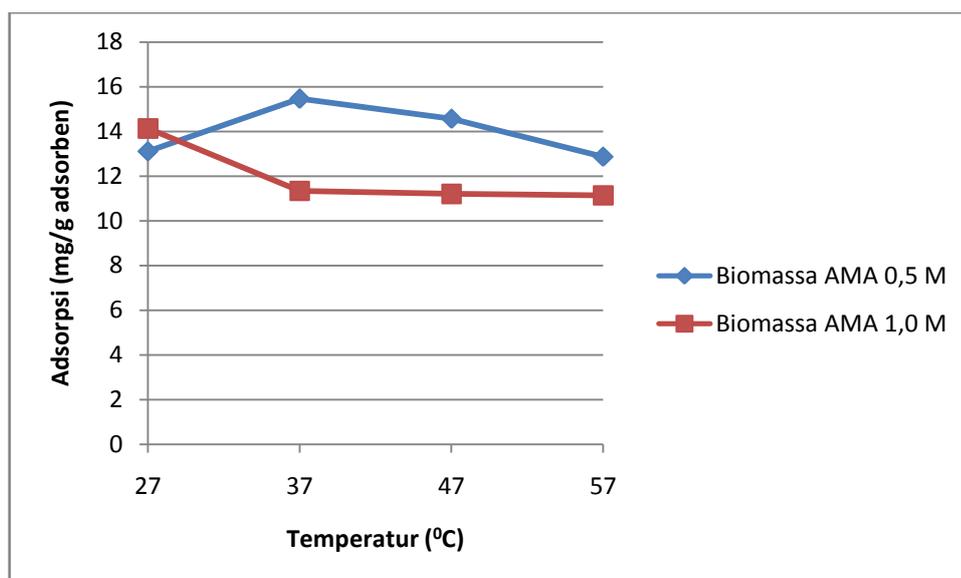


Gambar 17. Pola adsorpsi ion logam berat Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M pada variasi temperatur.

Dari Gambar 17 terlihat bahwa kemampuan adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M sama-sama mengalami kenaikan dengan kenaikan temperatur dan mencapai kapasitas adsorpsi maksimal pada temperatur 47 °C dan kemudian cenderung mengalami penurunan pada temperatur yang lebih tinggi. Kenaikan kemampuan adsorpsi sampai pada temperatur 47 °C ini berjalan sesuai dengan reaksi kimia lainnya yang dipengaruhi oleh temperatur di mana semakin tinggi temperatur maka reaksi akan berjalan semakin baik. Namun pada temperatur yang lebih tinggi terjadi semacam pengurangan kapasitas adsorpsi dari biomassa, hal ini dimungkinkan pada temperatur yang tinggi biomassa mulai mengalami kerusakan sehingga mulai terjadi proses desorpsi atau pelepasan kembali ion logam dari situs aktif biomassa.

c. Pengaruh Temperatur Terhadap Adsorpsi Ion Logam Cu(II) oleh Biomassa Kulit Singkong

Hasil pengukuran adsorpsi ion logam berat Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M disajikan dalam Gambar 18.



Gambar 18. Pola adsorpsi ion logam berat Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 dan 1,0 M pada variasi temperatur.

Dari Gambar 18 di atas terlihat bahwa untuk biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 0,5 M, absorpsinya akan maksimum pada temperatur 37 °C, sedangkan untuk biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkptoasetat 1,0 M adsorpsi maksimumnya pada temperatur 27 °C. Lebih dari temperatur maksimumnya kedua biomassa tersebut mengalami penurunan kapasitas absorpsinya, hal ini dimungkinkan pada temperatur yang lebih tinggi terjadi desorpsi ion logam berat atau bahkan biomassa limbah kulit singkong mengalami kerusakan struktur sehingga mempengaruhi kemampuan absorpsinya.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Waktu optimum adsorpsi biomassa kulit singkong yang dimodifikasi AMA 0,5 M yaitu 10 menit untuk Pb(II), 30 menit untuk Cd(II) dan 60 menit untuk Cu(II). Dan waktu optimum adsorpsi biomassa kulit singkong yang dimodifikasi AMA 0,5 M yaitu 60 menit untuk Pb(II) dan Cd(II) serta 120 menit untuk Cu(II).
2. Temperatur optimum adsorpsi ion logam berat oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi AMA 0,5 dan 1,0 M adalah 47 °C untuk ion logam Pb(II) dan Cd(II), sedangkan untuk ion logam Cu(II) pada temperatur 37 (AMA 0,5 M) dan 27 °C (AMA 1,0M).
3. Kapasitas adsorpsi ion logam oleh biomassa kulit singkong yang dimodifikasi AMA 0,5 dan 1,0 M adalah 18,91 dan 21,47 mg/g adsorben untuk ion logam Pb(II), 19,66 dan 19,59 mg/g adsorben untuk ion logam Cd(II), dan 10,58 dan 13,67 mg/g adsorben untuk ion logam Cu(II).
4. Interaksi yang terjadi antara ion logam berat dengan biomassa limbah kulit singkong hasil modifikasi adalah interaksi kimia, jika dilihat dari jumlah energi yang terlibat yaitu di atas 20,92 KJ/mol.

5. Dari hasil spektrum inframerah diidentifikasi gugus fungsi pada biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 dan 1,0 M, mengandung gugus fungsi – SH, C=O, dan – NH yang berfungsi sebagai situs aktif dari biomassa.

B. Saran

Untuk mengembangkan penelitian ini lebih lanjut, dapat dikemukakan saran-saran sebagai berikut:

1. Perlu dikaji mekanisme proses adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat.
2. Perlu dikaji tentang peningkatan kemampuan adsorpsi ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong dengan modivikator lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Abia, A.A., Horsfall, M. Jnr, Didi, O. 2002. *Studies on the use of agricultural by-products for the removal of trace metals from aqueous solution. J. Appl. Sci Environ. Mgt.* 6: 89-95.
- Abia, A.A., Asuquo, E.D. 2006. *Lead (II) and nickel (II) adsorption kinetics from aqueous metal solutions using chemically modified and unmodified agricultural adsorbents. Afri J. Biotechnol.* Vol 5 (16). Hal 1475-1482
- Adamson, A. W. 1990. *Physical Chemistry of Surface*, 5th ed. John Wiley and Sons. New York.
- Anonim. 2006. *Singkong*. Diproleh dari www.id.wikipedia.org/wiki/singkong diakses tanggal 12 April 2007 pukul 13.30 WIB.
- Atkins, P.W. 1997. *Kimia Fisik*. Jilid 2. Edisi Ke Empat. Alih Bahasa Oleh Irma I. Karto Hadiprojo. Erlangga. Jakarta.
- Cotton, F. A. And Wilkinson, G. 1989. *Basic Inorganic Chemistry*. Jhon wiley and sons.inc. New York
- Chung, C and Lee, M. 2004. *Self-Assembled Monolayers of Mercaptoacetic Acid on Ag Powder: Characterization by FT-IR Diffuse Reflection Spectroscopy. Bull. Korean Chem. Soc.* 2004, Vol. 25, No. 10. Hal 1461-1462.
- Day, R.A. dan Underwood, A.L. 1986. *Analisis Kimia Kuantitatif*. Edisi ke Lima. Erlangga. Jakarta.
- FAO. 2004. *Productin of selected Agricultural Commodities*. Diperoleh dari www.fao.org/es/esc/en/20953/21029/highlight_28829en.html. diakses tanggal 12 April 2007 pukul 13.30 WIB
- Gardea, J.L. Tiemann, K.J. Gonzales, J.H. Henning, J.A. Townsend, M.S. 1996. *Ability of silica-immobilized Medicago sativa (Alfalfa) to remove copper ions from solution. J. Hazard Mater.* 57. hal 29-39
- Huheey, E, and E.A. Poole. 1993. *Inorganic Chemistry: Principle of Structure and Reactivity*. Four Edition. Heper Collins College Publisher. California.

- Horsfall, M. Jnr. Spiff, A. I. and Abia, A. A. 2004. *Studies on the Influence of Mercaptoacetic Acid (MAA) Modification of Cassava (Manihot sculenta Cranz) Waste Biomass on the Adsorption of Cu^{2+} and Cd^{2+} from Aqueous Solution*. *Bull. Korean Chem. Soc.* 2004, Vol. 25, No. 7. Hal 969 – 976.
- Horsfall, M. Jnr. Abia, A. A, and Spiff, A. I. 2003. *Removal of Cu (II) and Zn (II) ions from wastewater by cassava (Manihot esculenta Cranz) waste biomass*. *Afri J. Biotechnol.* Vol. 2 (10), hal. 360-364.
- Igwe, J.C. dan Abia, A.A. 2007. *Studies on the Effects of Temperature and Particle Size on Bioremediation of AS (III) from Aqueous Solution Using Modified and Unmodified Coconut Fiber*. *Global J. Environ. Res.* 1 (1). hal 22-26
- Jin, X. Bailey, G. W. Yu, Y. S. and Lynch, A. T. 1996. *Kinetic of Single and Multiple Metal Ion Sorption Processes on Humic Substance*. *Soil Science*. Vol 30. No. 8. Hal 509 – 520.
- Kleinfelter, Wood. 1995. *Kimia Untuk Universitas*. Edisi Keenam. Alih Bahasa oleh A.Hadyana Pudjaatmaka. Erlangga. Jakarta. Hal 512-543.
- Leach, M.R. 2003. *The Hard Soft [Lewis] Acid Base Principle*. Diperoleh dari www.meta-synthesis.com/webbook/43_hsab/HSAB.html. Diakses tanggal 01 Desember 2004 pukul 11.51 WIB.
- Mallinckrodt Baker. Inc. 2004. *Material Safety Data Sheet (MSDS): Mercaptoacetic acid*.
- Oscik, J. 1982. *Adsorption*. John Willey and Sons. New York.
- Palar.H. 1994. *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Rineka Cipta. Jakarta.
- Pearson, R. G. 2005. *Chemical Hardness and Density Fungsional Theory*. *J. Chem. Sci.* Vol. 117. No. 5. Hal 369 – 377.
- Sudjadi. 1983. *Penentuan struktur senyawa organik*. Ghalia Indonesia. Jakarta
- Vieira, R. H. S. F. and Volesky, B. 2000. *Biosorption: a solution to pollution?*. *internatl microbiol* 3:17–24.
- Vogel. 1990. *Buku Teks Analisis Aaorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*. Kalman Media Pusaka. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Adsorpsi 25 mL ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh 20 mg biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 M pada temperatur 27 0C dengan variasi waktu 0, 5, 10, 30, 60 dan 120 menit.

Tabel 1. Adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	t (menit)	Pb(II) eq mg/L	Adsorpsi (n) mg/g adsorben
1	0	0,00	0
2	5	34,24	17,12
3	10	70,15	35,08
4	30	68,62	34,31
5	60	68,54	34,27
6	120	60,44	30,22

Tabel 2. Adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	t (menit)	Cd(II) eq mg/L	Adsorpsi (n) mg/g adsorben
1	0	0,00	0
2	5	24,06	12,03
3	10	28,61	14,3
4	30	29,21	14,61
5	60	23,56	11,78
6	120	27,86	13,93

Tabel 3. Adsorpsi ion logam Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	t (menit)	Cu(II) eq mg/L	Adsorpsi (n) mg/g adsorben
1	0	0,00	0
2	5	22,65	11,3
3	10	23,85	11,93
4	30	24,05	12,03
5	60	28,43	14,22
6	120	19,35	9,653

Lampiran 2. Adsorpsi 25 mL ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh 20 mg biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 1,0 M pada temperatur 27 °C dengan variasi waktu 0, 5, 10, 30, 60 dan 120 menit.

Tabel 4. Adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	t (menit)	Pb(II) eq mg/L	Adsorpsi (n) mg/g adsorben
1	0	0,00	0
2	5	39,06	19,53
3	10	47,07	23,54
4	30	52,95	26,5
5	60	54,61	27,31
6	120	45,92	22,96

Tabel 5. Adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	t (menit)	Cd(II) eq mg/L	Adsorpsi (n) mg/g adsorben
1	0	0,00	0
2	5	23,39	11,7
3	10	24,81	12,41
4	30	25,91	12,95
5	60	29,48	14,74
6	120	38,08	19

Tabel 6. Adsorpsi ion logam Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	t (menit)	Cu(II) eq mg/L	Adsorpsi (n) mg/g adsorben
1	0	0,00	0
2	5	19,35	9,653
3	10	20,27	10,14
4	30	22,13	11,05
5	60	29,28	14,64
6	120	27,23	13,62

Lampiran 3. Adsorpsi 25 mL ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh 20 mg biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 0,5 M pada konsentrasi 0, 20, 80, 100 dan 120 ppm

Tabel 7. Adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	[Pb(II)] awal (ppm)	[Pb(II)] eq mg/L	C 10^{-5} mol/L	mg/L	Adsorpsi (n) mg/g	10^{-5} mol/g	C/n g/L
1	0	0	0	0	0	0	0
2	20	8,43	2,54	11,57	5,78	1,75	1,46
3	40	22,21	6,71	17,79	8,89	2,68	2,49
4	80	47,34	14,29	32,66	16,33	4,93	2,89
5	100	57,07	17,23	42,93	21,47	6,48	2,66
6	120	78,23	23,62	41,76	20,88	6,31	3,75

Tabel 8. Adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	[Cd(II)] awal (ppm)	[Cd(II)] eq mg/L	C 10^{-5} mol/L	mg/L	Adsorpsi (n) mg/g	10^{-5} mol/g	C/n g/L
1	0	0	0	0	0	0	0
2	20	11,81	4,96	8,19	4,09	1,73	2,89
3	40	21,67	9,17	18,33	9,17	3,87	2,36
4	80	50,83	21,50	29,17	14,59	6,17	3,48
5	100	60,81	25,72	39,19	19,59	8,29	3,10
6	120	80,96	34,25	39,04	19,52	8,26	4,15

Tabel 9. Adsorpsi ion logam Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	[Cu(II)] awal (ppm)	[Cu(II)] eq mg/L	C 10^{-5} mol/L	mg/L	Adsorpsi (n) mg/g	10^{-5} mol/g	C/n g/L
1	0	0	0	0	0	0	0
2	20	13,74	5,51	6,26	3,13	1,25	4,39
3	40	27,41	10,99	12,59	6,29	2,52	4,36
4	80	51,74	20,73	28,26	14,13	5,66	3,66
5	100	72,66	29,12	27,34	13,67	5,48	5,31
6	120	92,67	37,13	27,33	13,66	5,48	6,78

Lampiran 4. Adsorpsi 25 mL ion logam berat Pb(II), Cd(II) dan Cu(II) oleh 20 mg biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat 1,0 M pada konsentrasi 0, 20, 80, 100 dan 120 ppm

Tabel 10. Adsorpsi ion logam Pb(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	[Pb(II)] awal (ppm)	[Pb(II)] eq mg/L	C 10^{-5} mol/L	mg/L	Adsorpsi (n) mg/g	10^{-5} mol/g	C/n g/L
1	0	0	0	0	0	0	0
2	20	8,32	2,51	11,68	5,84	1,76	1,43
3	40	17,57	5,30	22,43	11,22	3,39	1,57
4	80	48,42	14,62	31,58	15,79	4,77	3,07
5	100	62,19	18,78	37,81	18,91	5,71	3,29
6	120	83,19	25,12	36,81	18,41	5,56	4,52

Tabel 11. Adsorpsi ion logam Cd(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	[Cd(II)] awal (ppm)	[Cd(II)] eq mg/L	C 10^{-5} mol/L	mg/L	Adsorpsi (n) mg/g	10^{-5} mol/g	C/n g/L
1	0	0	0	0	0	0	0
2	20	11,81	4,99	8,19	4,09	1,73	2,89
3	40	24,75	10,47	15,25	7,62	3,22	3,25
4	80	49,87	21,09	30,13	15,07	6,37	3,31
5	100	60,67	25,66	39,33	19,67	8,31	3,09
6	120	80,87	34,21	39,13	19,57	8,27	4,13

Tabel 12. Adsorpsi ion logam Cu(II) oleh biomassa limbah kulit singkong yang dimodifikasi asam merkaptoasetat

No	[Cu(II)] awal (ppm)	[Cu(II)] eq mg/L	C 10^{-5} mol/L	mg/L	Adsorpsi (n) mg/g	10^{-5} mol/g	C/n g/L
1	0	0	0	0	0	0	0
2	20	13,69	5,4	6,30	3,15	1,26	4,34
3	40	28,82	11,55	11,18	5,59	2,24	5,16
4	80	53,78	21,55	26,22	13,11	5,25	4,11
5	100	78,83	31,59	21,16	10,58	4,24	7,45
6	120	98,84	39,61	21,15	10,58	4,24	9,34