



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**BIOMASSA TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS)  
SEBAGAI ADSORBEN ION LOGAM Cd<sup>2+</sup>**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana sains**

**OMI NURROHMI  
0305030492**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
PROGRAM S1 REGULER KIMIA  
DEPOK  
JULI 2011**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini merupakan hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Omi Nurrohmi

NPM : 0305030492

Tanda Tangan : 

Tanggal : 13 Juli 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Omi Nurrohmi  
NPM : 0305030492  
Program Studi : Kimia  
Judul Skripsi : Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit  
(TKKS) Sebagai Adsorben Ion Logam Cd<sup>2+</sup>

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Asep Saefumillah, Ph.D.

Penguji : Dra. Tresye Utari, M.Si

Penguji : Drs. Sunardi, M.Si

Penguji : Drs. Riswiyanto, M.Si

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 13 Juli 2011



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas limpahan kasih sayang Allah yang senantiasa tercurahkan kepada setiap hamba-Nya serta shalawat dan salam kepada manusia paripurna yang setiap jalan hidupnya kita teladani, beserta keluarga, sahabat dan para pengikutnya yang menjadi inspirasi kehidupan kita. Alhamdulillah atas berkah dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Adsorben Ion Logam  $Cd^{2+}$ ". Dalam penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

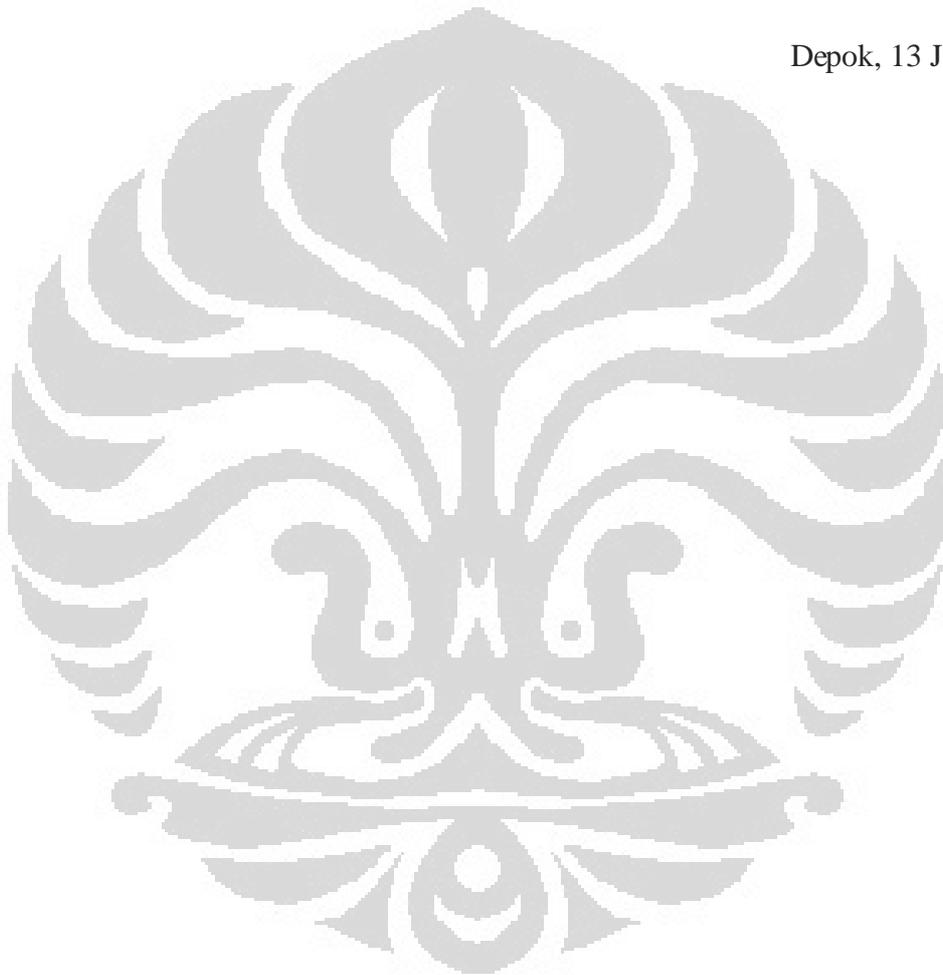
1. Bapak Asep Saefumillah, Ph.D. selaku dosen pembimbing saya yang senantiasa membantu dan memberi saran dalam setiap proses penelitian hingga penulisan skripsi ini rampung
2. Dr. Ridla Bakri selaku ketua Departemen Kimia UI, Ir. Widyastuti S selaku Pembimbing Akademik, Dra. Tresye Utari, M.Si selaku koordinator penelitian dan seluruh dosen kimia yang telah memberikan ilmu kepada penulis.
3. Ibu, Bapa, dan Rizqi atas doa, dukungan moral, dan finansialnya
4. Teman seperjuangan, Okki Wibowo, yang telah mengguratkan harapan untuk sesuatu yang kami citakan
5. Teman dunia maya; Linda dan Yani atas peluang untuk curhat bersama
6. Teman-teman di lab lantai 3 dan 4, terutama Ina, Zet, Sherly, Nany, Novi, Dante, Ka Asri, Nadya, Wiwit, Bu Nana, Ka Rohatin, Shabri, Evi dan Bu Indri yang telah memberikan dukungan, semangat, dan keceriaan setiap harinya
7. Babe Perpustakaan, Pak Hedi, Pak Kiri, Mbak Ina, dan Mbak Cucu atas kemurahan bantuannya
8. Siti Mastanah untuk bantuan dan dukungannya
9. Rekan-rekan afiliasi yang sudah banyak membantu selama ini

10. Para staf Departemen Kimia dan pihak-pihak lain yang telah mendukung hingga rampungnya penulisan skripsi ini

Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dan menjadi amal kebaikan di hadapan Allah SWT. Tidak ada balasan kebaikan kecuali hanya kebaikan. Amin.

Depok, 13 Juli 2011

Penulis



## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

### TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Omi Nurrohmi  
NPM : 0305030492  
Program Studi : Kimia  
Departemen : Kimia  
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Adsorben Ion Logam  $Cd^{2+}$

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Dibuat di : Depok  
Pada tanggal : 13 Juli 2011

Yang menyatakan

  
( Omi Nurrohmi )

## ABSTRAK

Nama : Omi Nurrohmi  
Program Studi : Kimia  
Judul : Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Adsorben Ion Logam Cd<sup>2+</sup>

Serbuk kayu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) sebagai hasil limbah dari tanaman kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai adsorben ion logam Cd<sup>2+</sup> karena merupakan senyawa lignoselulosa yang memiliki gugus fungsi hidroksil (OH) yang dapat berikatan dengan logam. Kemampuan adsorpsi ini dapat ditingkatkan dengan melakukan *treatment* delignifikasi dan sulfonasi terhadap serbuk kayu TKKS. Pada perlakuan delignifikasi, optimasi kadar NaOH yang didapatkan adalah 5%, waktu optimal untuk adsorpsi adalah 3.5 jam, serta pH optimal pada pH 8. Untuk serbuk kayu yang disulfonasi, perbedaan pH dan waktu menyebabkan perbedaan daya adsorpsinya terhadap ion logam, dimana pada kondisi pH 6 adsorpsi serbuk kayu semakin baik dibandingkan pada pH di 4 dan 5. Dari model adsorpsi yang didapat, adsorben serbuk kayu TKKS lebih sesuai dengan isoterm Langmuir sehingga dapat disimpulkan bahwa serbuk kayu TKKS memiliki permukaan penyerapan yang homogen.

Kata Kunci : serbuk kayu, Adsorpsi, ion logam Cd<sup>2+</sup>  
xiii+57 halaman ; 17 gambar; 9 tabel  
Daftar Referensi : 34 (1982-2011)

## ABSTRACT

Nama : Omi Nurrohmi  
Program Studi : Kimia  
Judul : Biomass of Sawdust Palm Oil (TKKS) as Adsorben Metal Ion  $Cd^{2+}$

Sawdust Palm Oil (TKKS) as a result of waste from oil palm plantations can be used as adsorbents of metal ions  $Cd^{2+}$  because it is a lignocellulosic compounds having hydroxyl functional groups (OH) that can bind to metals. Adsorption ability can be improved by treatment delignification and sulfonation of sawdust TKKS. In delignification treatment, levels of optimization obtained NaOH is 5%, the optimum time for adsorption is 3.5 hours, and the pH optimum at pH 8. For the disulfonasi Sawdust, pH and time differences lead to differences adsorbsi power to metal ions, where the condition of pH 6 sawdust adsorption better than at pH 4 and 5. From the model obtained adsorption, adsorbent sawdust TKKS more in line with the Langmuir isotherm so it can be concluded that wood dust absorption TKKS have a homogeneous surface.

Key Words : sawdust, adsorption, metal ion  $Cd^{2+}$   
xiii+57 pages ; 17 pictures; 9 tables  
Bibliography : 34 (1982-2011)

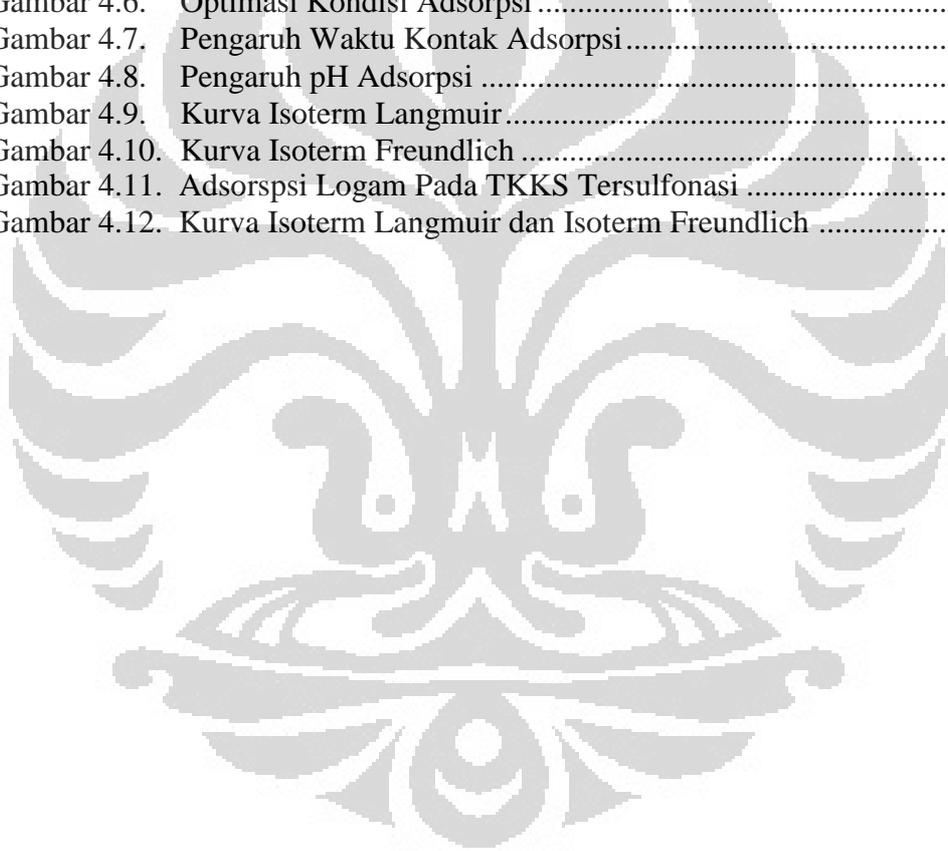
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiii
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Hipotesis.....	3
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Biomassa.....	4
2.2 Lignoselulosa.....	7
2.2.1 Lignin.....	7
2.2.2 Selulosa.....	8
2.3 Delignifikasi Serbuk Kayu TKKS Dengan Penambahan Natrium Hidroksida .....	10
2.4 Sulfonasi Serbuk Kayu Dengan Natrium Sulfit.....	10
2.5 Adsorben.....	11
2.6 Isoterm Adsorpsi .....	11
2.7 Logam Berat Kadmium (Cd).....	12
2.8 Atomic Absorption Spectroscopy (AAS).....	14
2.9 FTIR.....	15
<b>3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>17</b>
3.1 Bahan.....	17
3.2 Peralatan .....	17
3.3 Prosedur Percobaan .....	18
3.3.1 Perlakuan Awal Serbuk Kayu.....	18
3.3.2 Penambahan NaOH untuk Serbuk Kayu TKKS.....	18
3.3.3 Penyiapan Larutan Adsorbat .....	19
3.3.4 Optimalisasi Kondisi Modifikasi .....	19
3.3.5 Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi .....	19
3.3.6 Pengaruh pH Adsorpsi.....	19

3.3.7 Model Adsorpsi.....	20
3.3.8 Sulfonasi Serbuk Kayu TKKS.....	20
3.3.9 Pengaruh Waktu dan pH Serbuk TKKS dengan Penambahan Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> .....	20
3.3.10 Pengaruh Konsentrasi Untuk Model Adsorpsi.....	21
<b>4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>22</b>
4.1 Karakterisasi FT-IR.....	22
4.1.1 Gugus Fungsional Serbuk Kayu TKKS.....	22
4.1.2 Gugus Fungsional Serbuk TKKS Dengan Penambahan Natrium Hidroksida.....	24
4.1.3 Gugus Fungsional Serbuk TKKS Dengan Penambahan Natrium Sulfit.....	26
4.2 Penambahan TKKS Dengan Natrium Hidroksida.....	28
4.2.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS.....	30
4.2.2 Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS.....	32
4.2.3 Model Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS .....	32
4.3 Penambahan TKKS Dengan Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> .....	37
4.3.1 Pengaruh Waktu dan pH Terhadap Adsorpsi.....	37
4.3.2 Model Adsorpsi.....	39
<b>5. KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>41</b>
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran .....	41
<b>6. DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>42</b>
<b>7. LAMPIRAN.....</b>	<b>46</b>

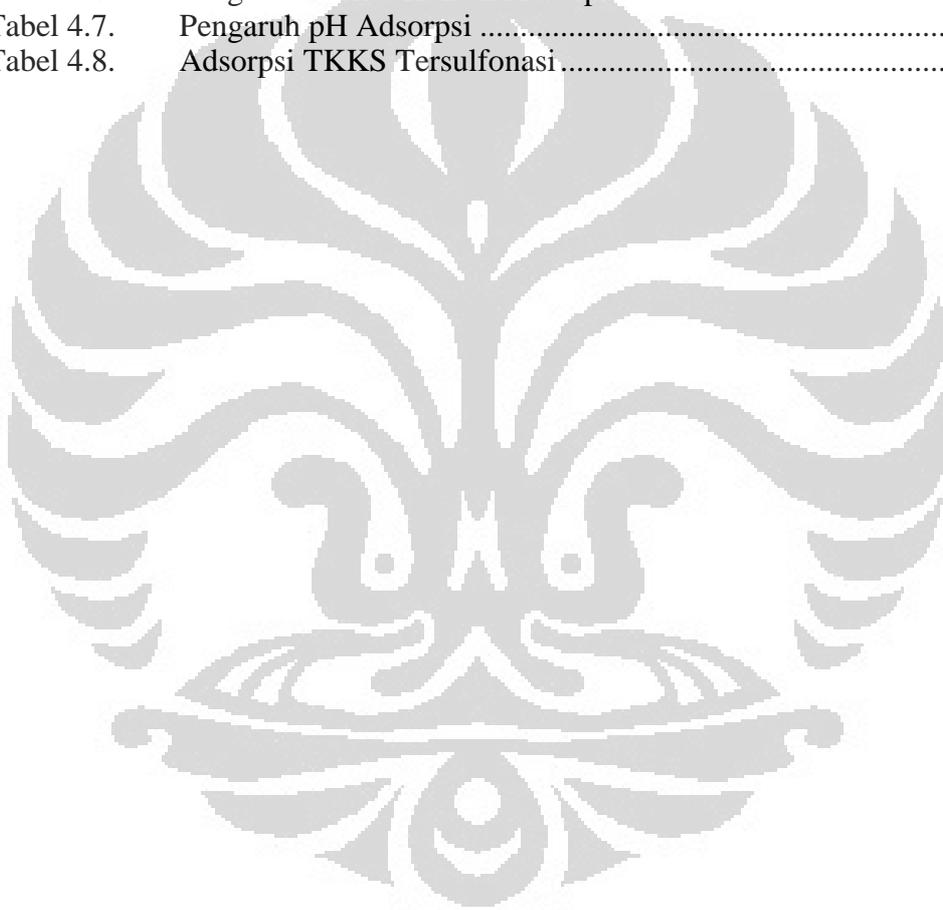
## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Kelapa Sawit .....	5
Gambar 2.2.	Serbuk TKKS .....	5
Gambar 2.3.	Struktur Kimia Lignin .....	8
Gambar 2.4.	Struktur Kimia Selulosa .....	9
Gambar 2.5.	Struktur Selulosa dan Lignin .....	9
Gambar 4.1.	Spektrum FT-IR Serbuk Kayu TKKS.....	22
Gambar 4.2.	Monomer Penyusun Lignin.....	24
Gambar 4.3.	Spektrum IR Serbuk Kayu Dengan Penambahan NaOH.....	25
Gambar 4.4.	Reaksi Degradasi Lignin Oleh NaOH.....	25
Gambar 4.5.	Spektrum IR Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi.....	27
Gambar 4.6.	Optimasi Kondisi Adsorpsi .....	30
Gambar 4.7.	Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi.....	31
Gambar 4.8.	Pengaruh pH Adsorpsi .....	33
Gambar 4.9.	Kurva Isoterm Langmuir .....	35
Gambar 4.10.	Kurva Isoterm Freundlich .....	36
Gambar 4.11.	Adsorpsi Logam Pada TKKS Tersulfonasi .....	38
Gambar 4.12.	Kurva Isoterm Langmuir dan Isoterm Freundlich .....	39



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Komposisi Kimia TKKS .....	6
Tabel 4.1.	Data IR Serbuk Kayu TKKS .....	23
Tabel 4.2.	Perbandingan Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS Dengan Serbuk Kayu TKKS Dengan Penambahan NaOH .....	26
Tabel 4.3.	Data Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi..	26
Tabel 4.4.	Perbandingan Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS Dengan Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi .....	28
Tabel 4.5.	Optimasi Kondisi Adsorpsi .....	29
Tabel 4.6.	Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi .....	31
Tabel 4.7.	Pengaruh pH Adsorpsi .....	32
Tabel 4.8.	Adsorpsi TKKS Tersulfonasi .....	37



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Bagan Kerja Preparasi Kondisi Optimum Serbuk Kayu TKKS dengan Penambahan NaOH .....	46
Lampiran 2.	Bagan Kerja Variasi Waktu .....	47
Lampiran 3.	Bagan Kerja Variasi pH .....	48
Lampiran 4.	Variasi Konsentrasi Untuk Model Adsorpsi .....	48
Lampiran 5.	Sulfonasi Serbuk Kayu TKKS dengan Penambahan $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .....	49
Lampiran 6.	Variasi Waktu untuk Serbuk Kayu TKKS .....	49
Lampiran 7.	Variasi Konsentrasi untuk Model Adsorpsi Serbuk Kayu Tersulfonasi .....	50
Lampiran 8.	Kurva Kalibrasi Standar Logam Cd (II) .....	51
Lampiran 9.	Contoh Perhitungan Konsentrasi Ion Logam Cd (II) .....	52
Lampiran 10.	Data Perhitungan Untuk Isoterm Adsorpsi .....	54
Lampiran 11.	Gambar Instrumen AAS dan FT-IR.....	57



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air merupakan kebutuhan pokok makhluk hidup. Permasalahan saat ini adalah kualitas air terutama untuk kebutuhan (mandi, mencuci, minum, dan sebagainya) di kota-kota besar di Indonesia masih memprihatinkan. Kepadatan penduduk, limbah industri, tata ruang yang salah dan tingginya eksploitasi sumber daya air sangat berpengaruh pada kualitas air. Selain itu, banyak orang yang membuang sampah, kotoran maupun limbah ke sungai. Bahkan, ada cara lain membuang limbah berbahaya dengan menanam di kedalaman beberapa meter. Hal inilah yang menyebabkan semakin memburuknya kualitas air.

Indikator yang digunakan untuk mendeteksi pencemaran air adalah cemaran logam berat didalamnya. Disebut logam berat berbahaya karena umumnya memiliki rapat massa tinggi ( $5 \text{ gr/cm}^3$ ) dan sejumlah konsentrasi kecil dapat bersifat racun dan berbahaya. Salah satu contoh unsur logam berat tersebut antara lain adalah Cr (VI). Kualitas air yang mengandung partikel logam berat (kromium) yang melebihi baku mutu ( $0,05 \text{ mg/liter}$ ), secara tidak langsung dapat membahayakan bagi kesehatan manusia. Pengaruh racun (toksisitas) dari kromium tersebut secara tidak langsung terakumulasi di dalam tubuh manusia sehingga dapat mengakibatkan terjadinya pembengkakan pada saluran pencernaan dan ginjal serta mematikan sel otak akibat pengendapan krom (US-EPA, 2005).

Pemanfaatan sistem adsorpsi logam pada pencemaran air dapat dilakukan dengan menggunakan lignoselulosa, selain dikarenakan ketersediaannya yang mudah didapat dan harganya yang murah. Lignoselulosa yang digunakan sebagai absorben pada penelitian ini berasal dari tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Produksi kelapa sawit merupakan industri agrikultural utama di Indonesia, dengan menghasilkan total produksi *Crude Palm Oil* (CPO) 15 juta ton/tahun. Terdapat lebih dari 3 juta hektar perkebunan kelapa sawit.

Total sekitar 90 juta ton biomassa yang dapat diperbaharui (batang, daun palm, pelepah batang, serat palm sisa boiler, dan tandan kosong) diproduksi setiap tahun. Produksi CPO akan menghasilkan limbah padat tandan kosong kelapa sawit. Limbah TKKS mewakili sekitar 9% dari total produksi. Akibat terlalu banyak hasil produksi, menyebabkan limbah padat maupun cair yang dihasilkan juga banyak (Yan et al., 2007).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan adanya peningkatan kemampuan dari beberapa jenis lignoselulosa yang dimodifikasi dengan NaOH dan Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. Dengan modifikasi menggunakan larutan NaOH, kemampuan adsorpsi meningkat dari 2.5 menjadi 5 kalinya untuk ion tembaga, dan sekitar 15 kali untuk ion seng (Marina Sciban et al., 2006). Pada pengikatan logam Cd menggunakan kayu Juniper yang ditambahkan Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> memiliki perbandingan kemampuan adsorpsi 2.54 kali lebih baik daripada yang tidak ditambahkan Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (Eun Woo Shin et al., 2005).

Perbedaan bahan lignoselulosik memiliki kapasitas adsorpsi yang berbeda untuk tiap-tiap ion logam. Seki et al. memberikan perlakuan pada kulit kayu *Populus jezoensis* dengan air panas, 1% larutan NaOH dan etanol: campuran benzena. Campuran benzena ini memastikan jika larutan alkali secara signifikan mengalami penurunan dan pelarut lain tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan adsorpsi. Selain itu, Rios et al. memastikan jika modifikasi alkali dari oat dan jerami gandum memiliki sedikit sekali peningkatan kapasitas adsorpsi. Di sisi lain, *virgin granular* yang diaktifasi dengan karbon juga diperlakukan dengan penambahan HNO<sub>3</sub> 0.1 N kemudian ditambahkan NaOH 0.1 N, terlihat terjadinya peningkatan yang dramatis dalam kualitas absorpsi.

Penambahan karbon disulfida untuk memodifikasi permukaan serbuk kayu menunjukkan bahwa gugus fungsi sulfonat berkontribusi dalam pengikatan logam berat, hal ini dikarenakan pemberian sulfat dapat membuat sisi aktif untuk mengikat logam berat.

## 1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian akan dilakukan analisa adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  oleh serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan  $Na_2SO_3$ :

1. Akan dilihat apakah ada pengaruh parameter (konsentrasi, waktu, dan pH) dalam mengoptimalkan serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan  $Na_2SO_3$
2. Akan dilihat apakah ada perbedaan daya adsorpsi pada logam berat  $Cd^{2+}$  pada serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan  $Na_2SO_3$

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk :

1. Mempelajari penyerapan ion logam  $Cd^{2+}$  oleh serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan  $Na_2SO_3$
2. Mempelajari pengaruh beberapa parameter (konsentrasi, waktu, dan pH) terhadap penyerapan ion logam  $Cd^{2+}$  pada serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan  $Na_2SO_3$
3. Mengetahui efektifitas penyerapan ion logam  $Cd^{2+}$  pada serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan  $Na_2SO_3$  dibandingkan dengan tidak adanya penambahan bahan lain

## 1.4 Hipotesis

Hipotesis dari penelitian ini adalah:

1. Serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan  $Na_2SO_3$  akan meningkatkan kemampuan adsorpsi terhadap ion logam  $Cd^{2+}$  daripada TKKS tanpa penambahan apapun
2. Adanya pengaruh parameter (konsentrasi, waktu, dan pH) terhadap kemampuan adsorpsi terhadap ion logam  $Cd^{2+}$  oleh serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan  $Na_2SO_3$

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Biomassa**

Biomassa adalah istilah yang sangat luas yang digunakan untuk menjelaskan asal materi biologi baru yang dapat digunakan sebagai sumber energi atau untuk komponen-komponen kimia. Biomassa berbahan dasar karbon dan terdiri dari campuran molekul organik yang mengandung hidrogen, biasanya termasuk atom oksigen, nitrogen dan sering juga jumlah kecil dari atom lain, termasuk alkali, alkali tanah dan logam berat. Adapun pembagian dari biomassa adalah sebagai berikut:

1. Virgin kayu: dari kehutanan, kegiatan agrikultural atau dari pengolahan kayu
2. Tanaman: tanaman hasil tinggi yang ditumbuhkan secara khusus untuk aplikasi energi
3. Residu Pertanian: residu dari pertanian panen atau pengolahan
4. Sisa makanan: dari makanan dan minuman manufaktur, persiapan dan pengolahan, dan limbah konsumen
5. Industri limbah: dari industri manufaktur dan proses

Pohon kelapa sawit seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 merupakan salah satu komoditi yang mengalami pertumbuhan yang sangat pesat di Indonesia. Pada tahun 1980-an hingga pertengahan tahun 1990-an luas area kebun meningkat dengan laju 11% per tahun. Sejalan dengan luas area, produksi Crude Palm Oil (CPO) juga meningkat 9.4% per tahun. Data tahun 2004 menunjukkan bahwa potensi kelapa sawit berdasarkan luas perkebunannya mencapai 5.291.562 ha dengan total produksi minyak mencapai 6.237.425 ton. Sampai dengan tahun 2010 produksi CPO diperkirakan meningkat dengan laju 5-6% per tahun, sedangkan untuk periode 2010-2020 pertumbuhan produksi sekitar antara 2-4%. Secara umum, industri kelapa sawit menghasilkan 1,1 ton biomassa TKKS untuk setiap ton CPO yang dihasilkan. Sampai saat ini kapasitas penanganan limbah biomassa TKKS tersebut masih kecil dibandingkan dengan limbah yang

terbentuk, padahal kandungan selulosa TKKS cukup tinggi (41-46%) (<http://elearning.unej.ac.id/courses/PNU1705/document/bablklpswt.doc>).



**Gambar 2.1. Kelapa Sawit** ([http://id.wikipedia.org/kelapa\\_sawit](http://id.wikipedia.org/kelapa_sawit))

Pada penelitian ini, bagian dari kelapa sawit yang digunakan sebagai adsorben adalah tandan kosong yang sudah mengalami pengeringan seperti dapat dilihat pada Gambar 2.2. Biomassa TKKS ini belum banyak dimanfaatkan, padahal umumnya berupa bahan berlignoselulosa yang dapat digunakan sebagai adsorben logam berat. Hasil analisis komposisi kimia TKKS pada Tabel 2.1 memperlihatkan bahwa tumbuhan ini termasuk dalam kelas dengan kandungan holoselulosa tinggi yaitu 56,49%, yang terdiri dari selulosa 33,25% dan hemiselulosa 23,24%. Kadar lignin pada tanaman ini adalah 25,83% (Firmansyah, Iman. 2009).



**Gambar 2.2 Serbuk TKKS** ([www.isroi.wordpress.com](http://www.isroi.wordpress.com))

**Tabel 2.1. Komposisi Kimia TKKS**

Komposisi	Kadar (%)
Kadar air	8,56
Lignin	25,83
Holoseululosa	56,49
$\alpha$ -selulosa	33,25
Hemiselulosa	23,24
Zat ekstraktif	4,19

Serbuk kayu yang digunakan pada penelitian ini adalah tandan kosong kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) yang berasal dari wilayah Malimping, Banten. Yang dimaksud dengan tandan kosong adalah bagian bunga dan buah yang sudah tidak digunakan lagi dan berupa ampas. Berikut spesifikasi tanaman *Elaeis guineensis*:

Divisi : Spermatophyta

Subdivisi : Angiospermae

Kelas : Monocotyledonae

Ordo : Palmaes

Famili : Palmaceae

Genus : Elaeis

Spesies : *Elaeis guineensis*

## 2.2 Lignoselulosa

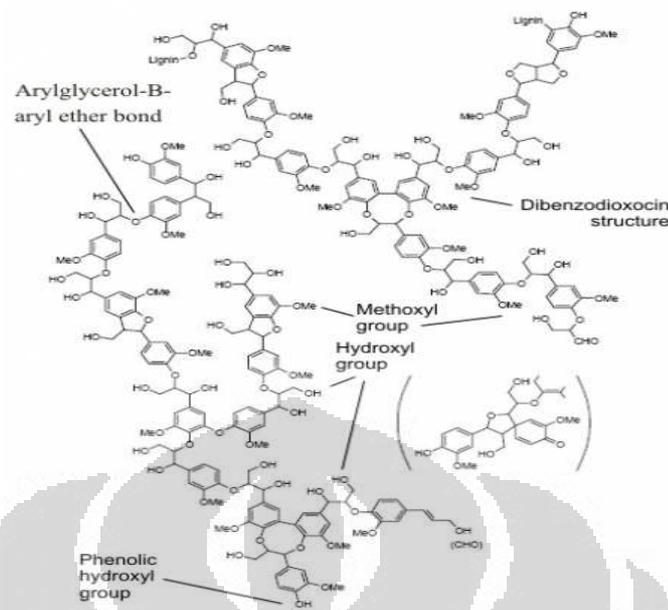
Lignoselulosa terutama tersusun atas lignin, selulosa, dan hemiselulosa. Kandungannya bervariasi tergantung pada jenis dan umur tanaman.

### 2.2.1 Lignin

Lignin adalah polimer tri-dimensional fenilpropanoid yang dihubungkan dengan beberapa ikatan berbeda antara karbon ke karbon dan beberapa ikatan lain antara unit fenilpropana yang tidak mudah dihidrolisis (Higuchi, 2004). Di alam lignin ditemukan sebagai bagian integral dari dinding sel tanaman, terbenam di dalam polimer matrik dari selulosa dan hemiselulosa. Lignin adalah polimer dari unit fenilpropana: unit guasil (G) dari prekursor trans-koniferil-alkohol, siringil (S) unit dari trans-sihafil-alkohol, dan p-hidroksifenil (H) unit dari prekursor trans-p-kumaril alkohol.

Komposisi lignin di alam sangat bervariasi tergantung pada spesies tanaman. Pengelompokan lignin dapat berupa kayu lunak, kayu keras, dan rumput-rumputan. Lignin dapat dibagi menjadi dua kelompok utama, yaitu: guasil lignin dan guasil-siringil lignin. Guasil lignin adalah produk polimerisasi yang didominasi oleh koniferil alkohol, sedangkan guasil-siringil lignin tersusun atas beberapa bagian dari inti aromatik guasil dan siringil, bersama dengan sejumlah kecil unit p-hidroksifenil. Kayu lunak terutama tersusun atas unit guasil, sedangkan kayu keras juga tersusun atas unit siringil. Kayu lunak ditemukan lebih resisten untuk didelignifikasi dengan ekstraksi basa daripada kayu keras. Hal ini menimbulkan dugaan bahwa guasil lignin membatasi pemekaran (*swelling*) serat dan dengan demikian menghalangi serangan enzim pada siringil lignin.

Studi terbaru lignin menemukan bahwa terdapat struktur lignin yang bermacam-macam (Novikora, 2002). Lignin seperti terdiri dari daerah amorphous dan bentuk-bentuk terstruktur seperti partikel tabung dan globular. Ada indikasi pula bahwa struktur kimia dan tiga dimensi lignin sangat dipengaruhi oleh matrik polisakarida. Gambar 2.3 struktur lignin menunjukkan bahwa gugus hidroksil dan metoksil di dalam prekursor lignin dan oligomer mungkin berinteraksi dengan mikrofibril selulosa sejalan dengan fakta bahwa lignin memiliki karakteristik hidrofobik.



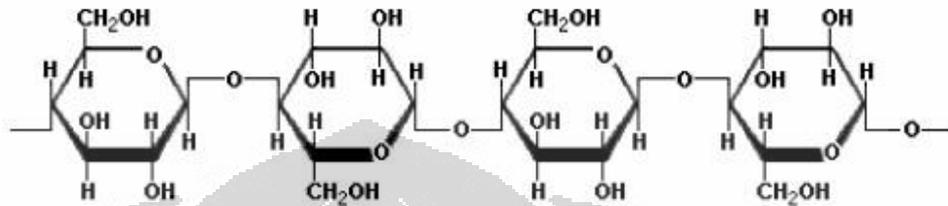
**Gambar 2.3 Struktur Kimia Lignin (Hammel, 1997)**

Tipe ikatan utama lignin di dalam kayu adalah ikatan (*linkage*) aril eter adalah yang utama  $\beta$ -eter, di mana ikatan aril gliserol sebagai tambahan, unit fenilpropana diikat oleh ikatan karbon ke karbon.

### 2.2.2 Selulosa

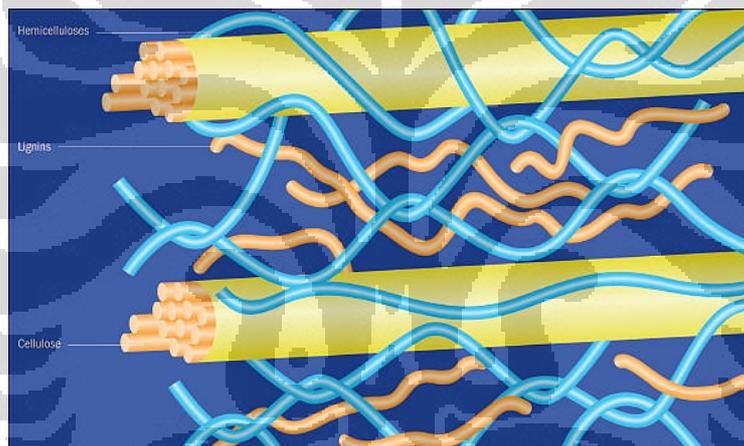
Gugus fungsional dari rantai selulosa adalah gugus hidroksil yang merupakan sisi aktif untuk interaksi pengikatan logam pada adsorpsi logam. Gugus -OH ini dapat berinteraksi satu sama lain dengan gugus -O, -N, dan -S, membentuk ikatan hidrogen. Ikatan -H juga terjadi antara gugus -OH selulosa dengan air. Gugus -OH selulosa menyebabkan permukaan selulosa menjadi hidrofilik. Rantai selulosa memiliki gugus -H di kedua ujungnya. Ujung -C1 memiliki sifat pereduksi. Struktur selulosa pada Gambar 2.4 menunjukkan bahwa selulosa distabilkan oleh ikatan hidrogen yang kuat di sepanjang rantai. Di dalam selulosa alami dari tanaman, rantai selulosa diikat bersama-sama membentuk mikrofibril yang sangat terkristal (*highly crystalline*) dimana setiap rantai selulosa diikat bersama-sama dengan ikatan hidrogen. Sebuah kristal selulosa mengandung sepuluh rantai glukosa dengan orientasi paralel. Tujuh kristal polymorphs telah dikodekan dengan  $I\alpha$ ,  $I\beta$ , II, III, IIII, IVI dan IVII (Marcessaulat, R.H. et. al.,

1981). Di alam, kristal selulosa jenis I $\alpha$  dan I $\beta$  ditemukan melimpah. Sebagai tambahan di dalam area yang sangat terkristal, selulosa alami mengandung area amorphous yang lebih sedikit.



**Gambar 2.4 Struktur Kimia Selulosa**

(<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidrates.html>)



**Gambar 2.5 Struktur Selulosa dan Lignin**

(<http://www.scidacreview.org>)

Gambar 2.5 di atas adalah gambar tiga dimensi dari selulosa dan lignin, dimana lignin berada diantara selulosa. Lignin akan di delignifikasi agar terdapat lebih banyak ruang dan gugus pengikatan agar penyerapan logam menjadi lebih baik.

### 2.3 Delignifikasi Serbuk Kayu TKKS dengan Penambahan Natrium Hidroksida

Natrium hidroksida adalah suatu alkali yang berbentuk putih padat, mudah larut dalam senyawa polar seperti air. Pada percobaan yang pernah dilakukan, modifikasi alkali dengan menggunakan natrium hidroksida pada permukaan serbuk kayu menyebabkan sedikit sekali perubahan gugus fungsi pada permukaan absorben.

Natrium hidroksida dapat memperbesar ukuran pori dari kayu sehingga menyebabkan pemisahan lignin dari serat selulosa pada proses Kraft yang disebut sebagai delignifikasi material selulosa (Biermann, Christopher J., 1993). Rata-rata ukuran pori (untuk pori dengan diameter dari 1.7 hingga 300 nm) dan rata-rata diameter pori dari serbuk kayu yang dimodifikasi menjadi sedikit lebih besar dibandingkan yang tidak dimodifikasi dengan natrium hidroksida. Hasil ini mengindikasikan bahwa struktur anatomi serbuk kayu yang dimodifikasi dengan natrium hidroksida mengalami sedikit perubahan. Oleh karena itu, perubahan hanya terjadi pada permukaan serbuk kayu gergaji (Marina Sciban et al., 2006). Selain itu, pencucian serbuk kayu dengan sedikit natrium hidroksida juga dapat menyebabkan pembebasan sisi adsorpsi baru pada permukaan serbuk kayu.

### 2.4 Sulfonasi Serbuk Kayu TKKS dengan Natrium Sulfit

Morita et al. menggunakan karbon disulfida dan *amidoximes* untuk memodifikasi permukaan kayu. Fourest dan Volesky (1996) menemukan bahwa sulfonat pada  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  berkontribusi untuk mengikat logam pada bermacam-macam tipe biomassa. Pada membran polimer yang digunakan untuk menghilangkan logam berat, sulfonasi telah dikembangkan untuk menghasilkan sisi aktif untuk mengikat logam berat (Choi et al., 2003).

Sulfonasi dapat dihasilkan dengan mengkondisikan reaksi pada *pulping* asam sulfat. Dua reaksi yang terjadi pada *pulping* asam sulfat yakni sulfonasi dan hidrolisis. Mengacu pada Sjostrom (1993), sulfonasi pada *pulping* asam sulfat dapat menghasilkan gugus sulfonat hidrofilik sama seperti gugus fenolik, dikarenakan adanya pemutusan ikatan eter antara fenil propana melalui hidrolisis yang menghasilkan gugus fenolik bebas.

Pada penelitian ini juga diharapkan muncul gugus sulfonat sehingga dapat meningkatkan kemampuan serbuk kayu TKKS dalam menangkap logam.

## 2.5 Adsorben

Adsorpsi ialah pengumpulan zat terlarut di permukaan media dan merupakan jenis adhesi yang terjadi pada zat padat atau zat cair yang kontak dengan zat lainnya. Proses ini menghasilkan akumulasi konsentrasi zat tertentu di permukaan media setelah terjadi kontak antar muka (*interface*) cairan dengan cairan, cairan dengan gas atau cairan dengan padatan dalam waktu tertentu. Zat yang menyerap disebut adsorben, sedangkan zat yang diserap disebut adsorbat.

Adsorpsi dapat dibedakan menjadi dua, yaitu adsorpsi fisika dan adsorpsi kimia. Adsorpsi fisika bersifat reversibel dengan interaksi yang lemah antara adsorben dan adsorbat. Gaya yang menyebabkan adsorpsi fisika adalah gaya Van der Waals. Lapisan yang terbentuk pada permukaan adsorben dapat berupa lapisan monolayer dan multilayer. Adsorpsi kimia mencakup pembentukan ikatan kimia. Pada adsorpsi kimia ikatan dapat sedemikian kuat sehingga spesies aslinya tidak dapat ditemukan lagi. Adsorpsi kimia bersifat irreversibel, sehingga ikatan yang sudah terbentuk sukar untuk kembali. Bentuk lapisan pada permukaan biasanya monolayer. Adsorpsi fisika mempunyai energi yang lebih rendah yakni sekitar 20 kJ/mol adsorbat, sedangkan adsorpsi kimia sekitar 200 kJ/mol adsorbat (Atkins, *Physical Chemistry*).

## 2.6 Isoterm Adsorpsi

Isoterm Adsorpsi menggambarkan hubungan antara jumlah zat yang diadsorpsi oleh adsorben dengan tekanan atau konsentrasi pada keadaan kesetimbangan dan temperatur tetap. Ada 2 jenis isoterm adsorpsi yang dikenal, yaitu isoterm adsorpsi Langmuir dan isoterm adsorpsi Freundlich (Maurice S. Onyago. 2007).

Isoterm adsorpsi Langmuir mengacu pada adsorpsi monolayer yang diasumsikan bahwa tempat adsorpsi bersifat homogen, dengan persamaan:

$$\frac{1}{x} = \frac{1}{K} + \frac{1}{K} \cdot \frac{1}{C}$$

di mana

- $a$  : jumlah adsorbat yang diadsorpsi oleh adsorben (mg)
- $k$  : konstanta kesetimbangan (afinitas serapan)
- $C_{eq}$  : konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L)
- $a_m$  : miligram (mmol) logam terserap pada keadaan jenuh atau kapasitas maksimum, dalam mg/g atau mmol/g

Sedangkan isoterm Freundlich mengacu kepada konsentrasi adsorbat di permukaan adsorben, dibandingkan dengan konsentrasi adsorbat dalam larutannya. Persamaan isoterm adsorpsi Freundlich secara matematis digambarkan sebagai berikut:

$$x = k C^n$$

di mana

- $x$  : jumlah adsorbat yang diadsorpsi oleh adsorben (mg)
- $m$  : berat adsorben (g)
- $C$  : konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan (mg/L)
- $k$  : konstanta Freundlich
- $n$  : konstanta kehomogenan

## 2.7 Logam Berat Kadmium (Cd)

Logam berat adalah unsur kimia dengan berat jenis  $5 \text{ gr/cm}^3$ , terletak di sudut kanan bawah sistem periodik, mempunyai afinitas yang tinggi terhadap unsur S dan biasanya bernomor atom 22 sampai 92 dari periode 4 sampai 7. Berdasarkan Kementerian Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1990) sifat toksisitas logam berat dapat dikelompokkan ke dalam 3 kelompok, yaitu:

- a. Bersifat toksik tinggi, yang terdiri atas unsur-unsur: Hg, Cd, Pb, Cu, dan Zn
- b. Bersifat toksik sedang, yang terdiri atas unsur-unsur: Cr, Ni, dan Co
- c. Bersifat toksik rendah, yang terdiri atas unsur-unsur: Mn, dan Fe

Adapun logam berat dalam perairan, berbahaya baik secara langsung terhadap kehidupan organisme, maupun efeknya secara tidak langsung terhadap kesehatan manusia. Hal ini berkaitan dengan sifat-sifat logam berat, yaitu:

- a. Sulit di degradasi, sehingga mudah terakumulasi dalam lingkungan perairan dan keberadaannya secara alami sulit terurai (dihilangkan)
- b. Dapat terakumulasi dalam organisme termasuk kerang dan ikan, dan akan membahayakan kesehatan manusia yang mengkonsumsi organisme tersebut
- c. Mudah terakumulasi di sedimen, sehingga konsentrasinya selalu lebih tinggi dari konsentrasi logam dalam air

Kadmium (Cd) ini pertama kali ditemukan oleh seorang ilmuwan Jerman yang bernama Friedric Strohmeyer pada tahun 1817. Logam Cd ini ditemukan dalam bebatuan *Calamine* (Seng Karbonat). Penggunaan kadmium yang paling besar (75 %) adalah dalam industri batu baterai (terutama baterai Ni-Cd). Selain itu, logam ini juga dapat digunakan campuran pigmen, *electroplating*, pembuatan *alloys* dengan titik lebur yang rendah, pengontrol pembelahan reaksi nuklir, dalam pigmen cat dengan membentuk beberapa garamnya seperti kadmium oksida (yang lebih dikenal sebagai kadmium merah), semikonduktor, stabilisator PVC, obat – obatan seperti sipilis dan malaria, dan penambangan timah hitam dan bijih seng, dan sebagainya.

Seperti halnya unsur-unsur kimia lainnya terutama golongan logam Cd mempunyai sifat fisika dan kimia tersendiri. Berdasarkan pada sifat-sifat fisiknya Cd merupakan logam yang lunak, *ductile*, berwarna putih seperti putih perak. Sedangkan berdasar pada sifat-sifat kimianya, logam Cd di dalam persenyawaan yang dibentuknya pada umumnya mempunyai bilangan valensi  $2^+$ , sangat sedikit yang mempunyai bilangan valensi  $1^+$ .

Kadmium (Cd) merupakan salah satu jenis logam berat yang berbahaya karena unsur ini berisiko tinggi terhadap pembuluh darah. Logam ini memiliki tendensi untuk bioakumulasi. Keracunan yang disebabkan oleh kadmium dapat bersifat akut dan keracunan kronis. Logam Cd merupakan logam asing dalam tubuh dan tidak dibutuhkan dalam proses metabolisme. Logam ini teradsorpsi

oleh tubuh manusia yang akan menggumpal di dalam ginjal, hati dan sebagian dibuang keluar melalui saluran pencernaan. Keracunan Cd dapat memengaruhi otot polos pembuluh darah.

## 2.8 Atomic Absorption Spectroscopy (AAS)

Atomic Absorption Spectroscopy (AAS) pertama kali dikembangkan oleh Sir Alan Walsh pada tahun 1950. AAS digunakan untuk mengidentifikasi dan menentukan secara kualitatif dan kuantitatif logam-logam dalam tingkat *trace* dalam semua jenis materi dan larutan. Jika seberkas cahaya tepat mengenai suatu medium yang mengandung atom dalam keadaan dasar dari suatu unsur, maka sebagian cahaya ini akan di adsorpsi. Banyaknya cahaya yang diadsorpsi sebanding dengan banyaknya atom-atom dalam keadaan dasar. Pada energi yang lebih tinggi fraksi atom-atom keadaan dasar ada sebagian yang tereksitasi, sebagaimana dirumuskan oleh persamaan Boltzman berikut ini:

$$(N_j/N_o) = (P_j/P_o)\exp(-E_j/k.T)$$

k = Ketetapan Boltzman

T = Suhu nyala (Kelvin)

E<sub>j</sub> = Perbedaan energi dalam energi dari tingkat tereksitasi dasar

N<sub>j</sub> = Jumlah atom pada tingkat tereksitasi

N<sub>o</sub> = Jumlah atom pada tingkat dasar

P<sub>j</sub>&P<sub>o</sub> = Faktor statistik yang ditentukan oleh jumlah tingkat yang mempunyai energi yang sama dari atom yang tereksitasi dan pada tingkat dasar (Skoog, Hooler, Nieman, 1998).

Atom yang dapat mengadsorpsi cahaya adalah atom-atom yang dalam keadaan bebas. Yang dimaksud atom bebas di sini adalah atom yang tidak bergabung dengan atom lain menjadi suatu molekul. Sebagai contoh misalnya, atom Natrium dalam air laut bergabung dengan atom Klor menjadi molekul Natrium Klorida (NaCl). Agar atom Na yang terikat dalam molekul ini dapat menjadi atom Na yang bebas maka molekul NaCl harus diputuskan ikatannya, proses ini disebut atomisasi. Cara yang paling umum digunakan untuk mengatomisasi ialah dengan energi panas, panas pada temperatur yang tinggi dapat memutuskan ikatan antar atom sehingga terbentuk atom yang bebas. Ada

beberapa cara yang dapat digunakan untuk atomisasi yaitu, dengan nyala (*flame*) dari pembakaran gas, tanpa nyala (*flameless*) yaitu dengan cara mereduksi dan panas dari pijarnya batang grafit energi listrik (grafit furnace).

Metode analisis ini bersifat cepat, selektif, dan sensitif dan mempunyai akurasi yang tinggi serta dapat digunakan secara rutin. Di dalam AAS dijumpai adanya beberapa gangguan yang dapat memengaruhi keakuratan atau kesalahan pengukuran. Pada dasarnya terdapat 3 tipe gangguan, yaitu:

1. Gangguan fisika
2. Gangguan kimia
3. Gangguan spektral

Gangguan fisika dan kimia dalam nyala akan mengubah populasi atom, sedangkan gangguan spektral akan memengaruhi pengukuran yang sebenarnya dari serapan atom. Pengaruh gangguan ini dapat dikurangi atau dihilangkan dengan cara menyeleksi kondisi percobaan atau dengan memberi perlakuan kimiawi pada sampel yang sesuai dengan permasalahannya. Demikian pula untuk mengatasi gangguan spektral yaitu dengan cara memisahkan unsur-unsur yang mengganggu.

## 2.9 FTIR

Spektroskopi inframerah merupakan teknik spektroskopi yang berguna untuk mengidentifikasi gugus fungsi. Spektrum inframerah meliputi panjang gelombang antara 2.5 – 1.6  $\mu\text{m}$  atau setara dengan bilangan gelombang 4000-650  $\text{cm}^{-1}$ .

Radiasi yang diserap oleh molekul muncul sebagai pita pada spektrum. Karena setiap tipe ikatan yang berbeda mempunyai sifat frekuensi vibrasi yang berbeda, dan karena tipe ikatan yang sama dalam dua senyawa yang berbeda terletak dalam lingkungan yang sedikit berbeda, maka tidak ada dua molekul yang berbeda strukturnya akan mempunyai bentuk serapan yang tepat sama. Dengan membandingkan spektra inframerah dari dua senyawa yang diperkirakan identik maka seseorang dapat menyatakan apakah kedua senyawa tersebut identik atau tidak. Pelacakan tersebut lazim dikenal dengan bentuk “sidik jari” dari dua spektrum inframerah. Puncak-puncak serapan di daerah sidik jari pada spektrum

inframerah merupakan kekhasan untuk setiap senyawa. Daerah sidik jari berada di daerah frekuensi rendah, yaitu 700 sampai 1500  $\text{cm}^{-1}$ . Jika puncak spektrum inframerah kedua senyawa tepat sama dalam banyak hal, maka kedua senyawa tersebut adalah identik.

Prinsip kerja FTIR adalah sebagai berikut: suatu sumber inframerah akan mengemisikan energi inframerah dan berjalan melalui bagian optik dari spektrometer. Kemudian gelombang sinar akan melewati interferometer dimana sinar tersebut dipisahkan dan digabungkan kembali untuk menghasilkan suatu pola interferensi. Kemudian intensitas dari frekuensi sinar ditransmisikan dan diukur oleh detektor adalah interferogram, yaitu suatu daerah waktu yang menggambarkan pola interferensi. Dengan adanya ADC (Analog to Digital Converter) akan mengubah pengukuran tersebut menjadi suatu format digital yang dapat digunakan oleh komputer. Kemudian interferogram diubah menjadi suatu pita spektrum tunggal (single beam spektrum) oleh FFT (Fast Fourier Transform).



## BAB 3

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Bahan

1. Serbuk kayu Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*)
2. NaOH
3. CdSO<sub>4</sub>
4. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>
5. HNO<sub>3</sub>
6. Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>
7. Akuades (Demin®)

#### 3.2 Peralatan

1. Beaker glass (100, 250, dan 500 mL)
2. Labu ukur (50, 100, 250, 500, dan 1000 mL)
3. Gelas ukur (25 dan 50 mL)
4. Pipet ukur (10 dan 25 mL)
5. Labu erlenmeyer (100 dan 250 mL)
6. Batang pengaduk
7. Spatula
8. Balp
9. Pipet tetes
10. Cawan porselen
11. Mortar dan alu
12. Botol semprot
13. Magnetic stirer
14. Corong kaca
15. Kertas saring
16. Penyaring krusibel no.1
17. Penyaring kayu (diameter 0.5 – 1 mm)
18. Oven
19. Timbangan

20. RADWAG WAS 220/C/2
21. RADWAG WPS 210/C/1
22. pH-meter (Metrohm 744)
23. Penyaring buchner dan pompa vakum
24. FT-IR

### 3.3 Prosedur Percobaan

Prosedur kerja pada penelitian ini menggunakan banyak acuan pada pengerjaannya, baik dari jurnal ilmiah atau standar kerja yang ada pada literatur, misalnya jurnal Maurice S. Onyago et.al. (2007), Solid Extraction Guide ([www.cobertassco.com](http://www.cobertassco.com)), jurnal Marina Sciban et. al. (2006) dan Eu Woo Shin et.al (2005).

#### 3.3.1 Perlakuan Awal Serbuk Kayu

Serbuk kayu *Elaeis guineensis* yang berasal dari wilayah Malimping Banten dihaluskan dan disaring dengan penyaring ukuran sekitar 0.5 – 1 mm, dan fraksi yang tersaring ini kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50 – 60 °C.

#### 3.3.2 Penambahan NaOH untuk Serbuk Kayu TKKS

Satu bagian dari serbuk kayu dicampur dengan 15 bagian dari larutan NaOH dengan variasi konsentrasi yang berbeda-beda (1, 3, 5, 7, 10) %. Campuran ini diaduk dengan *magnetic stirer* pada suhu ruang selama 3 jam. Produk yang dihasilkan kemudian disaring dengan penyaring buchner dibantu dengan vakum, dicuci dengan akuades dengan volume 4 kali lebih besar dari volume larutan untuk modifikasi (sampai netral), dan dikeringkan pada suhu 50 °C semalam. Serbuk kayu yang didapat selanjutnya disebut serbuk kayu termodifikasi. Sebagian dari serbuk kayu termodifikasi ini diambil untuk diukur karakteristiknya dengan instrumen FT-IR, sedangkan sebagian yang lain digunakan untuk aplikasi adsorpsi. Karakterisasi dengan FT-IR ini dilakukan untuk mengetahui apakah terjadi perubahan gugus fungsi pada senyawa penyusun serbuk kayu secara signifikan jika dibandingkan dengan serbuk kayu yang tidak dimodifikasi.

### 3.3.3 Penyiapan Larutan Adsorbat

Larutan Stok dari  $\text{Cd}^{2+}$  dengan konsentrasi 1000 mg/L disiapkan dengan melarutkan 0.1854 gram serbuk kadmium sulfat ( $\text{CdSO}_4$ ) dengan akuades hingga mencapai volume 100 mL. Larutan adsorbat dengan berbagai konsentrasi disiapkan dengan melarutkan larutan stok dengan akuades.

### 3.3.4 Optimalisasi Kondisi Modifikasi

Sebanyak masing-masing 0.1 gram dari serbuk kayu termodifikasi diaduk dengan masing-masing larutan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  10 mg/L selama 30 menit untuk berbagai variasi konsentrasi NaOH. Setelah 30 menit pengadukan, adsorben dipisahkan dengan filtrasi menggunakan penyaring krusibel.

Konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi diukur dengan menggunakan instrumen AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer). Masing-masing dari ion logam diencerkan sesuai dengan batas deteksi dari instrumen AAS, dengan hasil pengukuran yang diplot terhadap standar masing-masing ion logam yang sudah dibuat. Hasil dari pengukuran diolah untuk mendapatkan kondisi optimum modifikasi.

### 3.3.5 Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi

Sebanyak masing-masing 0.05 gram dari serbuk kayu diaduk dengan masing-masing larutan  $\text{Cd}^{2+}$  dengan kondisi modifikasi optimum NaOH, dengan variasi waktu kontak selama 0.5 jam, 1 jam, 2 jam, 3.5 jam. Konsentrasi larutan logam awal adalah 10 mg/L. Setelah pengadukan, adsorben dipisahkan dengan filtrasi. Konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi diukur dengan menggunakan instrumen AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer). Hasil dari pengukuran diolah untuk menentukan waktu kontrak optimum adsorpsi ion logam.

### 3.3.6 Pengaruh pH Adsorpsi

Sebanyak masing-masing 0.05 gram dari serbuk kayu diaduk dengan masing-masing larutan ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  10 mg/L dengan kondisi modifikasi optimum NaOH dan waktu optimum adsorpsi. pH divariasikan pada pH 2, 7, dan

8. Setelah pengadukan, adsorben dipisahkan dengan filtrasi. Konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi diukur dengan menggunakan instrumen AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer). Hasil dari pengukuran diolah untuk menentukan pH optimum adsorpsi ion logam.

### **3.3.7 Model Adsorpsi**

Untuk menentukan kapasitas dari adsorben untuk masing-masing ion logam digunakan model adsorpsi Langmuir dan Freundlich. Sebanyak masing-masing 0.05 gram dari serbuk kayu termodifikasi diaduk dengan masing-masing larutan logam  $Cd^{2+}$  dengan kondisi modifikasi optimum NaOH, dengan variasi konsentrasi logam 10, 30, dan 50 mg/L sesuai dengan waktu kontak optimum yang didapat. Setelah pengadukan, adsorben dipisahkan dengan filtrasi. Konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi diukur dengan instrumen AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer). Hasil dari pengukuran diolah untuk menentukan model adsorpsi dan kapasitas adsorpsi serbuk kayu.

### **3.3.8 Sulfonasi Serbuk Kayu TKKS**

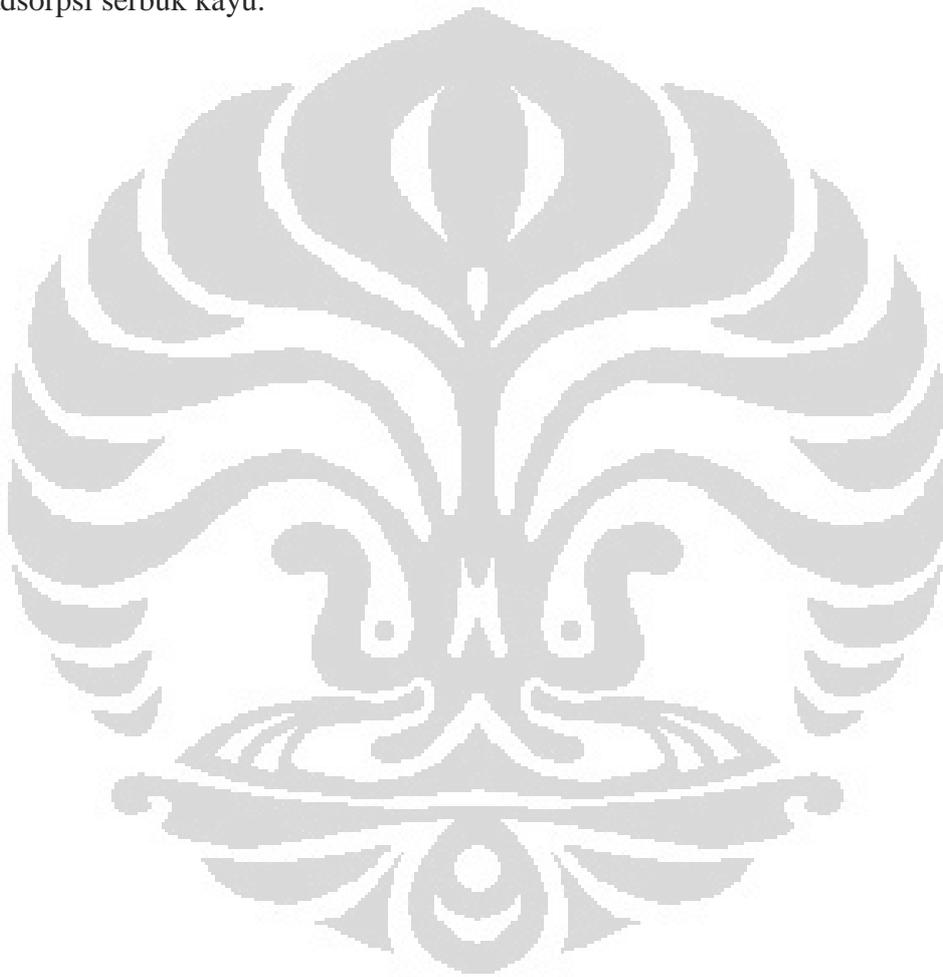
Sebanyak 25.2 gram  $Na_2SO_3$  dilarutkan dengan akuades sebanyak 300 ml, kemudian sebanyak 20 gram serbuk kayu TKKS dimasukkan ke dalam larutan tersebut. Penambahan  $HNO_3$  1 M diperlukan agar pH-nya menjadi 3. Kemudian larutan di stirer selama 1 hari pada suhu  $70\text{ }^\circ\text{C}$ . Serbuk TKKS tersebut kemudian dicuci dengan akuades hingga pH-nya menjadi netral. Serbuk TKKS yang sudah ditambahkan  $Na_2SO_3$  juga dikarakterisasi dengan FTIR untuk melihat perubahan gugus yang terjadi setelah di sulfonasi.

### **3.3.9 Pengaruh Waktu dan pH Serbuk TKKS dengan Penambahan $Na_2SO_3$**

Sebanyak 0.025 gram serbuk TKKS diaduk dengan 10 mg/L larutan ion logam  $Cd^{2+}$  sebanyak 25 ml dengan variasi pH 4, 5, dan 6. Pada masing-masing variasi pH tersebut juga dilakukan variasi waktu yakni 10, 30, 60, 100 menit. Konsentrasi awal dan akhir dari larutan ion logam  $Cd^{2+}$  diukur dengan menggunakan AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer).

### 3.3.10 Pengaruh Konsentrasi Untuk Model Adsorpsi

Sebanyak masing-masing 0.025 gram dari serbuk kayu diaduk dengan masing-masing larutan  $\text{Cd}^{2+}$  dengan variasi konsentrasi logam 10, 30, dan 50 mg/L sesuai dengan waktu kontak optimum yang didapat. Setelah pengadukan, adsorben dipisahkan dengan filtrasi. Konsentrasi ion logam sebelum dan sesudah adsorpsi diukur dengan instrumen AAS (Atomic Adsorption Spectrophotometer). Hasil dari pengukuran diolah untuk menentukan model adsorpsi dan kapasitas adsorpsi serbuk kayu.



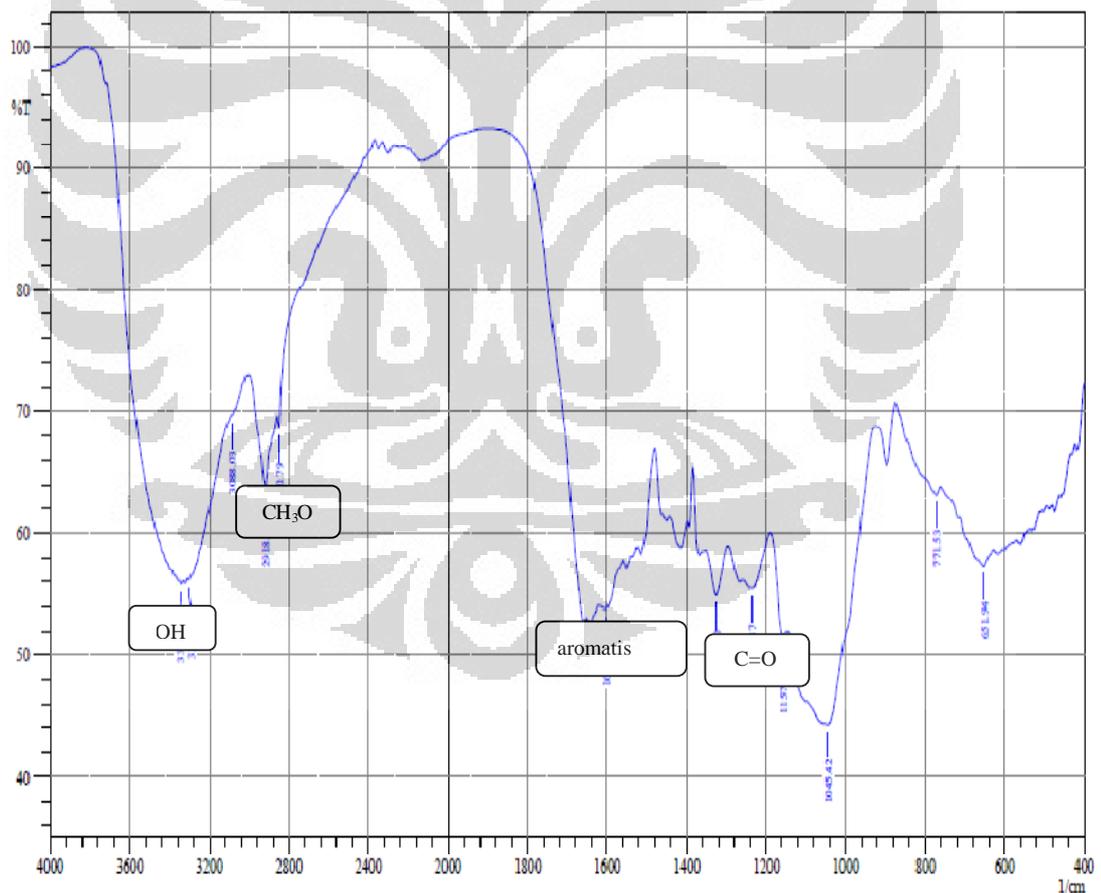
## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Karakterisasi FT-IR

Karakterisasi dengan menggunakan FT-IR bertujuan untuk mengidentifikasi gugus fungsional apa saja yang terdapat pada serbuk kayu TKKS, serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida, dan serbuk kayu dengan penambahan natrium sulfat. Selain itu juga untuk membandingkan apakah ada perubahan gugus fungsi pada serbuk kayu dengan serbuk kayu yang ditambahkan natrium hidroksida dan natrium sulfat.

##### 4.1.1 Gugus Fungsional Serbuk Kayu TKKS



Gambar 4.1. Spektrum FT-IR Serbuk Kayu TKKS

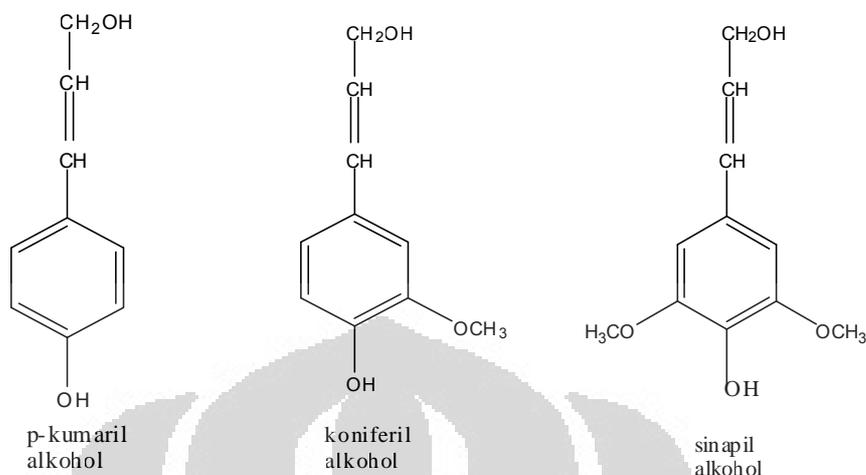
**Tabel 4.1. Data IR Serbuk Kayu TKKS**

Spektrum adsorpsi ( $\nu = \text{cm}^{-1}$ )	Identifikasi gugus fungsi	Literatur
3286,70	OH	3640-3160 $\text{cm}^{-1}$ (ulur)
2850,79	CH <sub>3</sub> -O-	2850 $\text{cm}^{-1}$ (ulur)
1597,60	Aromatis	1600-1500 $\text{cm}^{-1}$ (ulur)
1269,16	C=O	1260-1000 $\text{cm}^{-1}$ (tekuk)

Hasil identifikasi gugus fungsional serbuk kayu TKKS yang disajikan pada Gambar 4.1 dan Tabel 4.1, memperlihatkan adanya gugus hidroksil, eter, dan eter aromatik. Gugus fungsi OH mengalami vibrasi ulur pada bilangan gelombang sekitar 3286,70  $\text{cm}^{-1}$ . Pita serapan pada bilangan gelombang 2850,79  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi ulur dari metoksi. Pita serapan pada bilangan gelombang 1597,60  $\text{cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai vibrasi ulur dari gugus aromatis. Gugus aromatis ini cukup banyak teridentifikasi, hal ini diasumsikan sebagai gugus yang terdapat pada lignin. Terdapat pula pita serapan pada bilangan gelombang 1269,16  $\text{cm}^{-1}$  yang diidentifikasi sebagai karbonil dengan vibrasi tekuk.

Perbedaan jenis vibrasi yang terjadi pada masing-masing gugus fungsi disebabkan oleh jenis perubahan yang terjadi pada masing-masing gugus fungsi. Gugus fungsi yang mengalami vibrasi ulur adalah gugus fungsi yang mengalami perubahan jarak dua atom dalam molekul, misal gugus fungsi OH yang mengalami vibrasi ulur pada bilangan gelombang 3286,70  $\text{cm}^{-1}$ . Gugus fungsi yang mengalami vibrasi tekuk adalah gugus fungsi yang mengalami perubahan sudut dua ikatan kimia dengan molekul lebih dari dua atom. Misalnya C=O yang mengalami vibrasi tekuk pada bilangan gelombang 1269,16  $\text{cm}^{-1}$ .

Lignin pada serbuk kayu TKKS terdiri dari monomer penyusunnya yakni koniferil alkohol, p-kumaril alkohol, dan sinapil alkohol, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.2. Pada serbuk kayu TKKS yang merupakan jenis kayu lunak, monomer terbanyak penyusun lignin adalah koniferil alkohol (Palonen, 2004).

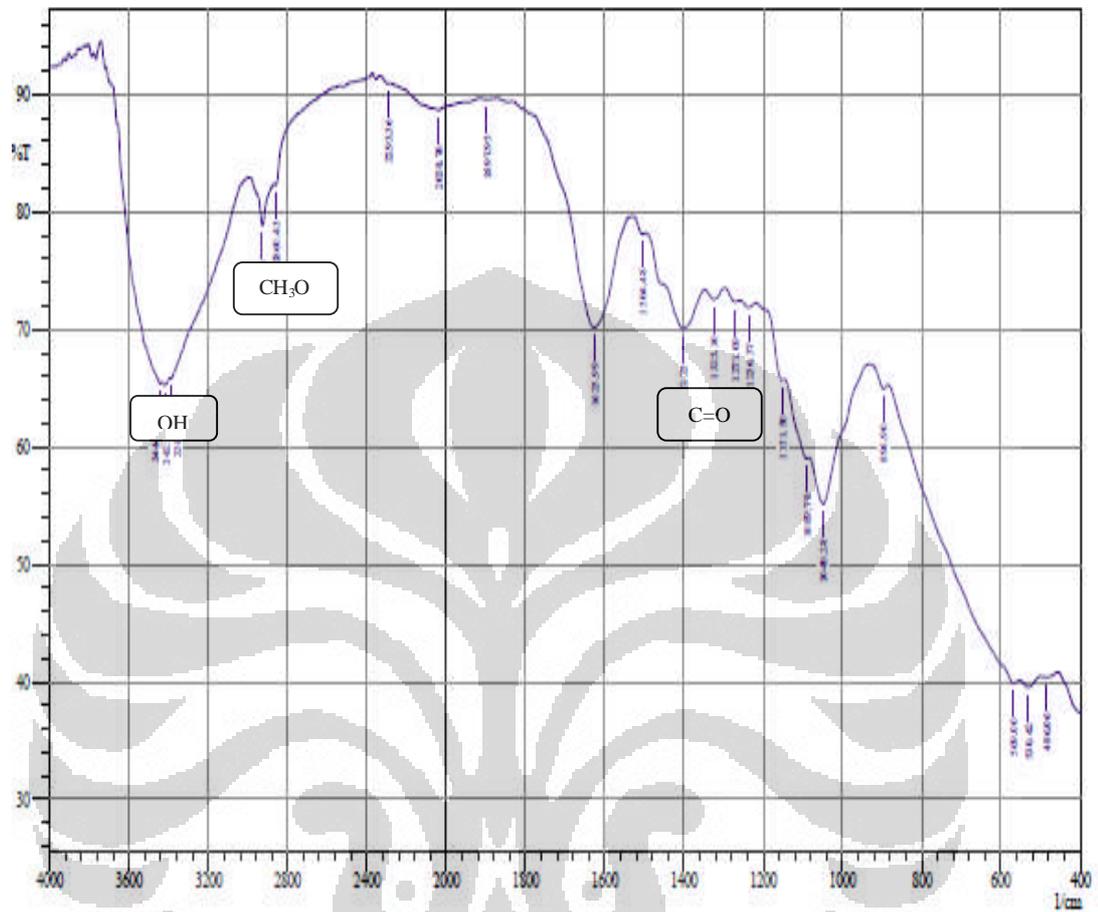


**Gambar 4.2. Monomer Penyusun Lignin**

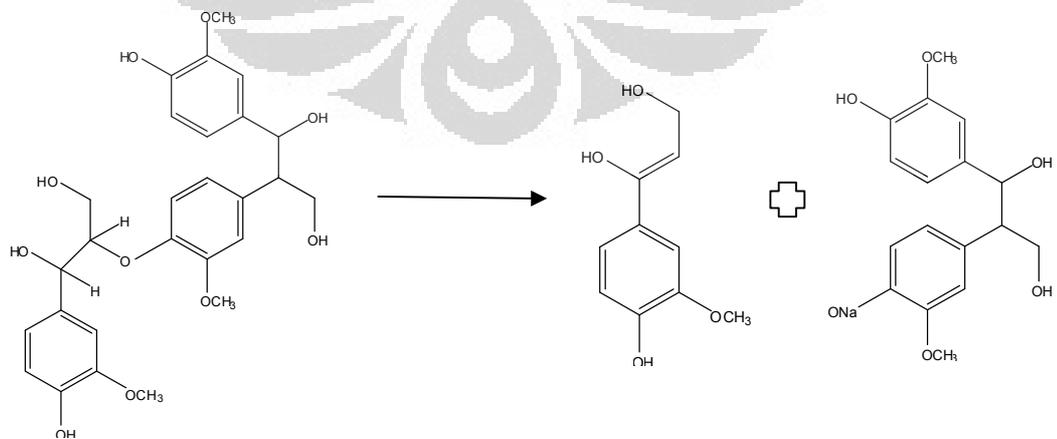
Oleh karena itu, berdasarkan spektrum FT-IR di atas, diinterpretasikan bahwa gugus fungsi yang terdapat pada serbuk kayu TKKS adalah adanya gugus-gugus fungsi: hidroksil, karbonil, aromatis, dan alkana, yang berasal dari senyawa lignin dan selulosa.

#### 4.1.2 Gugus Fungsional Serbuk TKKS dengan Penambahan Natrium Hidroksida

Spektrum FT-IR pada Gambar 4.3. menunjukkan adanya perubahan gugus fungsi yang terjadi pada serbuk kayu TKKS dengan serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH. Perubahan ini dapat terlihat dari berkurangnya gugus fungsi aromatis yang terdapat spektrum FT-IR dari serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan NaOH mengurangi jumlah gugus aromatis dari senyawa lignin, sehingga dapat disimpulkan bahwa terjadinya proses delignifikasi diindikasikan dengan terjadinya pemutusan ikatan pada gugus aromatis. Proses pemutusan ikatan dapat berlangsung seperti reaksi pada gambar Gambar 4.4.



**Gambar 4.3. Spektrum IR Serbuk TKKS dengan Penambahan NaOH**



Universitas Indonesia

#### Gambar 4.4. Reaksi Degradasi Lignin Oleh NaOH (Iman, Firmansyah)

Adapun perbedaan bilangan gelombang pada serbuk TKKS dan serbuk TKKS dengan penambahan NaOH dapat dilihat pada Tabel 4.2,

**Tabel 4.2. Perbandingan Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS dengan Serbuk Kayu TKKS dengan Penambahan NaOH**

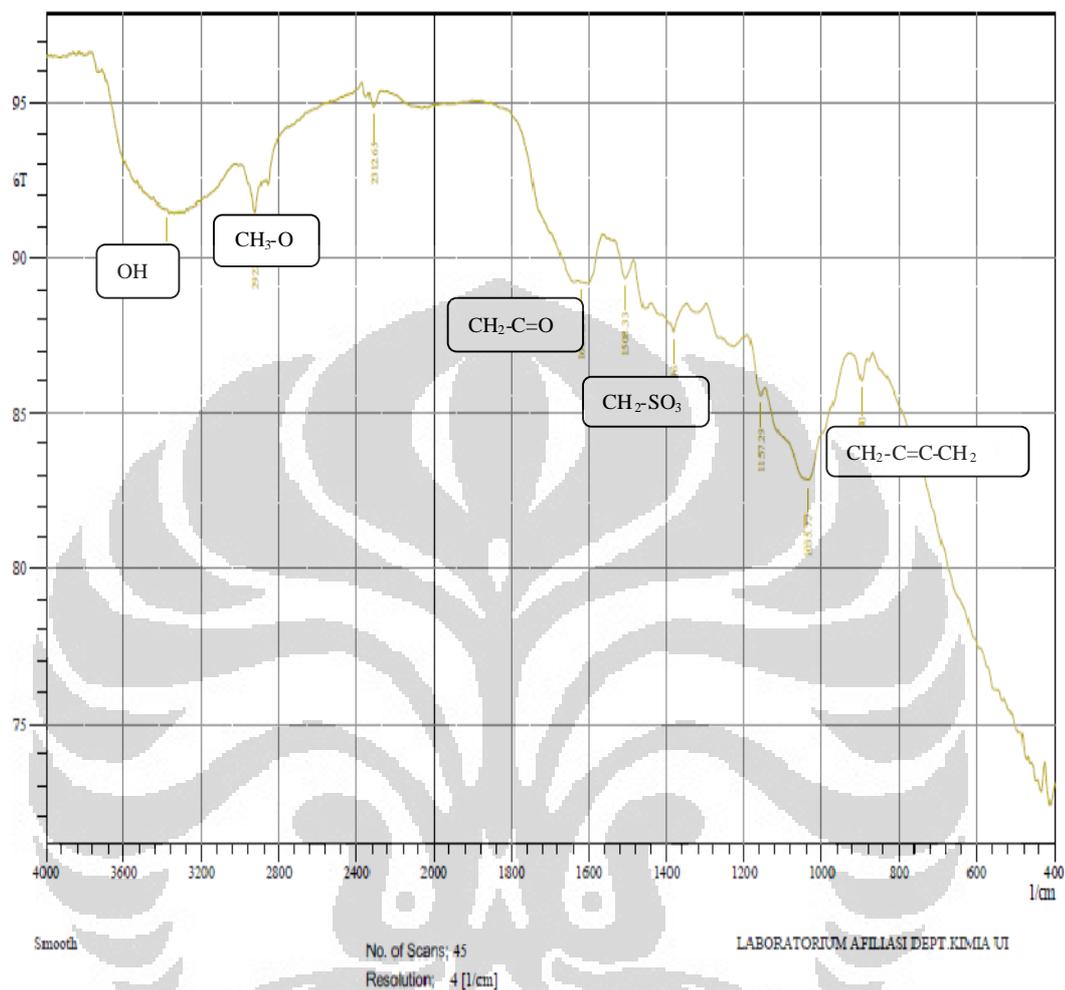
Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS( $v=cm^{-1}$ )	Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS( $v=cm^{-1}$ )	Identifikasi gugus fungsi
3286,70	3421,27	OH
2850,79	2927,94	CH <sub>3</sub> -O-
1597,60		Aromatic metoksi
1269,69	1271,09	C=O

#### 4.1.3 Gugus Fungsional Serbuk TKKS dengan Penambahan Natrium Sulfit

Identifikasi gugus fungsional serbuk kayu TKKS yang di sulfonasi dengan natrium sulfit dapat dilihat pada Gambar 4.5. dan Tabel 4.3.

**Tabel 4.3. Data Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi**

Spektrum adsorpsi ( $v=cm^{-1}$ )	Identifikasi gugus fungsi	Literatur
3377,86	OH	3640-3160 $cm^{-1}$ (ulur)
2850,79	CH <sub>3</sub> -O	2960-2850 $cm^{-1}$ (ulur)
1620,21	CH <sub>2</sub> -C=O	1760-1670 $cm^{-1}$ (ulur)
1382,86	CH <sub>2</sub> -SO <sub>3</sub>	1300-1100 $cm^{-1}$ (ulur)
1236,37	Aromatic metoksi	1275-1200 $cm^{-1}$ (ulur)
896.90	CH <sub>2</sub> -C=C-CH <sub>2</sub>	1000-675 $cm^{-1}$ (tekuk)



**Gambar 4.5. Spektrum IR Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi**

Spektrum FT-IR pada serbuk kayu TKKS tersulfonikasi pada Gambar 4.5. menunjukkan adanya gugus tambahan baru pada bilangan gelombang  $1382,86 \text{ cm}^{-1}$  yang diidentifikasi sebagai vibrasi ulur dari gugus sulfonat. Selain itu juga adanya gugus karbonil pada  $1620,21 \text{ cm}^{-1}$ . Pada bilangan gelombang  $3377,86 \text{ cm}^{-1}$  terdapat vibrasi ulur dari OH. Pada panjang gelombang  $2850,79 \text{ cm}^{-1}$  juga terdapat vibrasi ulur metoksi. Vibrasi ulur aromatik metoksi terdapat pada bilangan gelombang  $1236,27 \text{ cm}^{-1}$ . Adanya serapan pada panjang gelombang  $896,90 \text{ cm}^{-1}$  diidentifikasi sebagai vibrasi tekuk alkena.

Berdasarkan data spektrum di atas dapat dibanding pula adanya tambahan gugus antara serbuk TKKS dengan serbuk TKKS yang tersulfonasi.

**Tabel 4.4. Perbandingan Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS dengan Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi**

Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS( $\nu=\text{cm}^{-1}$ )	Spektrum Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi( $\nu=\text{cm}^{-1}$ )
3286,70	3377,86
2850,79	2850,79
1597,60	1620,21
1269,16	1236,37
	1382,86
	896.90

#### 4.2 Penambahan TKKS dengan Natrium Hidroksida

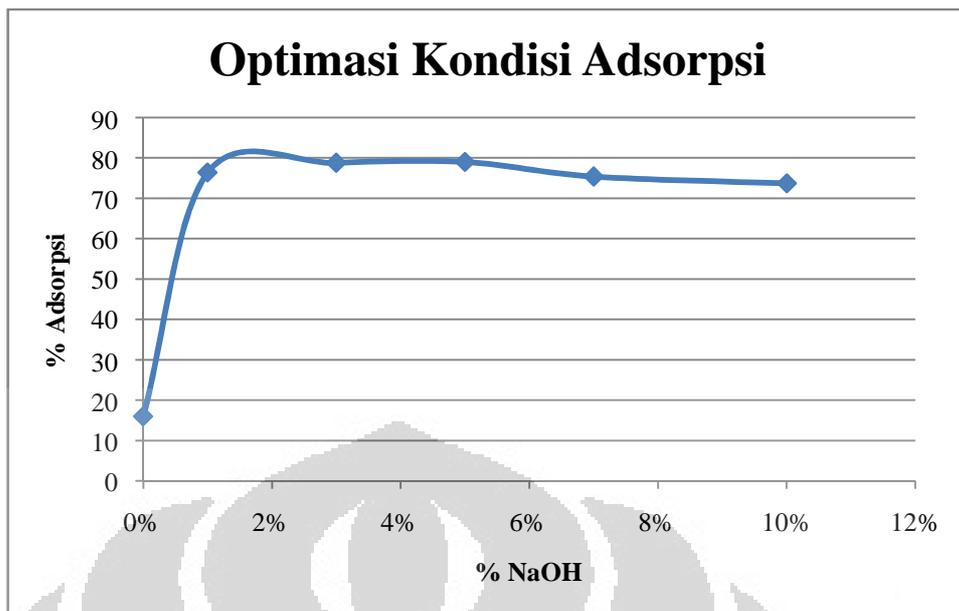
Pertama kali Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) dihaluskan dan disaring untuk mendapatkan luas permukaan yang homogen yakni sekitar 0.5 mm. Kemudian TKKS di keringkan semalam untuk membebaskan air yang mungkin saja masih ada di dalam TKKS. Selanjutnya TKKS ditambahkan dengan NaOH, yang bertujuan untuk mengembangkan (*swelling*) pori-pori dari serbuk kayu sehingga lignin dan material organik yang menempel pada serat selulosa akan terlepas. Variasi penambahan NaOH yakni 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, dan 10%, dimana perbandingan TKKS dan NaOH yang ditambahkan adalah 1:15 dalam satuan berat. Setelah itu TKKS yang sudah ditambahkan NaOH dikeringkan dengan akuades dan dikeringkan semalaman dalam oven dengan suhu 50 °C, pemilihan kondisi ini untuk menghindari kemungkinan terjadinya pelepasan gugus OH<sup>-</sup> dari selulosa yang telah ditambahkan NaOH, yang dapat menyebabkan deaktivasi termal dari gugus aktif di serbuk kayu.

Serbuk kayu sebanyak 0.1 gram yang dimodifikasi dengan NaOH 1%, 3%, 5%, 7%, dan 10% digunakan untuk mengadsorpsi 25 mL ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dengan konsentrasi 10 ppm. Masing-masing adsorpsi dilakukan selama 30 menit. Kadar awal sebelum adsorpsi dan kadar akhir setelah adsorpsi diukur dengan AAS, serta dilakukan pula pengenceran yang diperlukan agar data yang didapatkan sesuai dengan batas deteksi alat yakni 0.2 ppm – 2 ppm untuk ion logam  $\text{Cd}^{2+}$ . Hasil dari adsorpsi TKKS dengan penambahan NaOH disajikan dalam Tabel 4.5. dan Gambar 4.6.

**Tabel 4.5. Optimasi Kondisi Adsorpsi**

TKKS + NaOH	% Adsorpsi	Adsorpsi Cd/Biomassa (mg/g)
0 %	16	0.08
1 %	76.4	1.91
3 %	78.8	1.97
5 %	79.0	1.97
7 %	75.4	1.88
10 %	73.7	1.84

Lignin pada serbuk kayu berikatan dengan selulosa sehingga dapat mengganggu kemampuan selulosa untuk membentuk ikatan hidrogen antar selulosa. Karena ikatan ini pula maka selulosa tidak mempunyai banyak gugus dengan pasangan elektron bebas untuk berikatan dengan ion logam. Penambahan NaOH pada TKKS akan menyebabkan hilangnya lignin yang menempel pada selulosa, sehingga selulosa akan memiliki banyak ruang dan gugus dengan pasangan elektron bebas untuk mengikat ion-ion logam. Penambahan NaOH tidak mengubah gugus fungsi secara signifikan pada permukaan adsorben, namun dapat meningkatkan kemampuannya dalam proses adsorpsi terhadap ion logam.



**Gambar 4.6. Optimasi Kondisi Adsorpsi**

Dari Tabel 4.5. dan Gambar 4.6. di atas, terlihat bahwa terjadi perbedaan daya adsorpsi yang signifikan antara serbuk TKKS dan serbuk TKKS dengan penambahan NaOH, dengan perbandingan adsorpsinya mencapai hingga lima kali lebih besar. Penambahan 1% NaOH cukup mampu meningkatkan kapasitas adsorpsi dari TKKS terhadap ion logam  $Cd^{2+}$  serta mengalami peningkatan seiring dengan kenaikan kadar NaOH, hal ini menandakan bahwa proses *swelling* NaOH terhadap serbuk kayu terjadi dengan baik. Penambahan 5% NaOH dipilih sebagai kondisi optimum sebab memiliki daya adsorpsi paling besar yang kemudian digunakan untuk aplikasi adsorpsi lebih lanjut.

#### 4.2.1 Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS

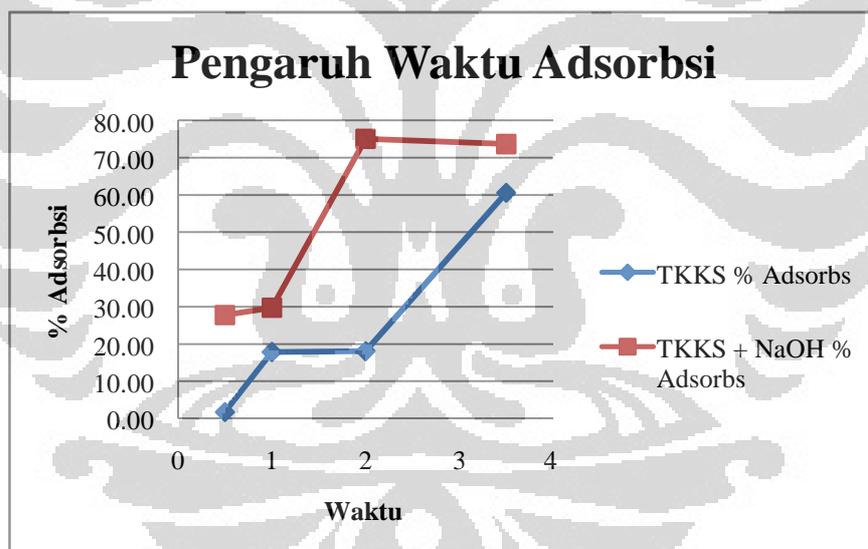
Serbuk kayu TKKS 0.05 gram yang telah ditambahkan 5% NaOH divariasikan waktu kontak dengan 25 mL larutan ion logam  $Cd^{2+}$  10 mg/L. Variasi waktu kontak yang dilakukan adalah 0.5, 1, 2, 3.5 jam. Hasil dari optimasi waktu adsorpsi ini diperlihatkan pada Tabel 4.6 dan Gambar 4.7.

Berdasarkan Gambar 4.7 terlihat bahwa pada 30 menit pertama waktu kontak, terjadi perbedaan daya adsorpsi yang signifikan antara serbuk TKKS

dengan serbuk TKKS dengan penambahan NaOH, yakni 1.73% untuk serbuk TKKS dan 27.78% untuk serbuk TKKS dengan penambahan NaOH.

**Tabel 4.6. Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi**

Waktu (jam)	TKKS		TKKS + NaOH	
	% Adsorpsi	Adsorpsi Cd/Biomassa (mg/g)	% Adsorpsi	Adsorpsi Cd/Biomassa (mg/g)
0.5	1.73	0.08	27.78	1.28
1	17.84	0.83	29.72	1.37
2	18.05	0.84	75.02	3.46
3.5	60.54	2.80	73.62	3.40



**Gambar 4.7. Pengaruh Waktu Kontak Adsorpsi**

Penyerapan ion logam  $Cd^{2+}$  semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu kontak. Pada serbuk TKKS dengan penambahan NaOH, terjadi penyerapan yang relatif konstan pada waktu kontak 2 jam dan 3.5 jam dibandingkan dengan waktu sebelumnya. Bentuk kurva yang relatif mendatar ini memberikan informasi bahwa sisi aktif dari gugus fungsi yang mengikat ion logam  $Cd^{2+}$  sudah mengalami

kejenuhan atau sistem telah mencapai kesetimbangan. Sehingga penambahan waktu kontak tidak akan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kemampuan adsorpsinya terhadap logam.

Untuk serbuk TKKS tanpa penambahan NaOH, belum didapatkan waktu optimumnya, sebab waktu kontak 2 jam dan 3.5 jam masih menunjukkan trend adsorpsi yang naik, artinya pada waktu setelah 3.5 jam masih dimungkinkan terjadi adsorpsi yang lebih besar lagi. Namun dilihat dari efektivitas waktu, waktu kontak 1 hingga 2 jam sudah mampu mengadsorpsi 10 kali lebih besar daripada waktu kontak 1 jam. Artinya, dengan waktu yang singkat, terjadi lonjakan adsorpsi yang jauh lebih besar.

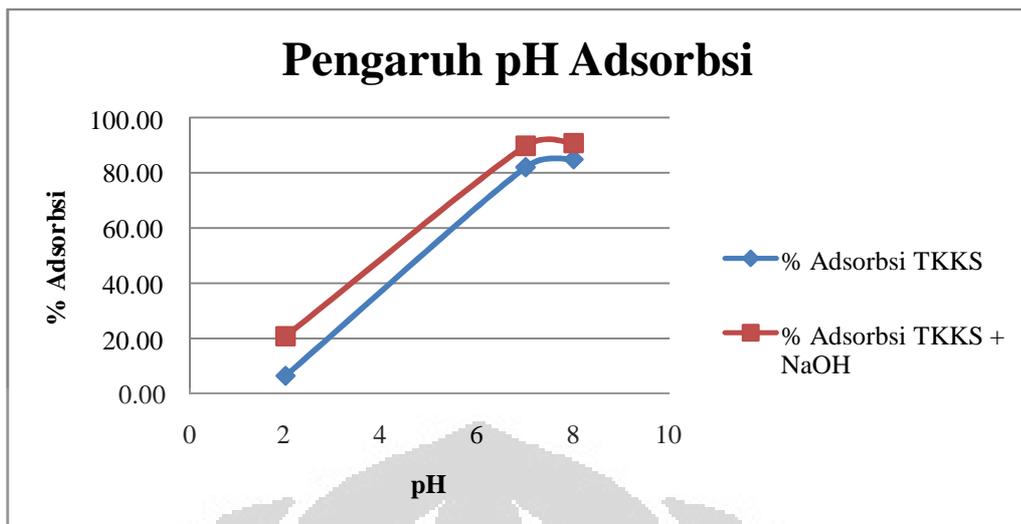
Untuk percobaan selanjutnya, waktu kontak 3.5 jam dijadikan sebagai waktu optimum untuk perlakuan serbuk TKKS dan serbuk TKKS dengan penambahan NaOH.

#### 4.2.2 Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS

Serbuk kayu TKKS 0.05 gram yang telah ditambahkan 5% NaOH dan waktu kontak optimal yakni 3.5 jam divariasikan pH-nya dengan 25 mL larutan ion logam  $Cd^{2+}$  10 mg/L. Variasi pH yang dilakukan adalah 2, 7, dan 8 (pH asam, netral, dan basa). Hasil dari optimasi pH adsorpsi serbuk kayu TKKS dan serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH ini diperlihatkan pada Tabel 4.7. dan Gambar 4.8.

**Tabel 4.7. Pengaruh pH Adsorpsi**

pH	TKKS		TKKS + NaOH	
	% Adsorpsi	Adsorpsi Cd/Biomassa (mg/g)	% Adsorpsi	Adsorpsi Cd/Biomassa (mg/g)
2	6.49	0.30	20.86	0.97
7	82.05	3.80	89.73	4.15
8	84.86	3.93	90.70	4.20



**Gambar 4.8. Pengaruh pH Adsorpsi**

pH juga merupakan faktor yang memengaruhi proses adsorpsi logam di dalam larutan, pH yang bervariasi akan memengaruhi jumlah ion  $H^+$  yang akan berkompetisi dengan kation (ion logam  $Cd^{2+}$ ) untuk berikatan dengan gugus fungsi dari selulosa. Pada pH rendah (pH 2), permukaan serbuk kayu bermuatan positif karena terjadi protonasi pada gugus anionik, seperti karboksilat. Selain itu juga adanya kompetisi ion  $H^+$  dengan kation logam, yang memiliki muatan yang sama dengan permukaan serbuk kayu, sehingga terjadi tolakan yang menyebabkan daya adsorpsinya menjadi rendah. Sedangkan pada pH tinggi (pH 7-8), permukaan padatan bermuatan negatif karena terjadi deprotonasi pada gugus hidroksil, sehingga tidak terjadi tolakan dan menyebabkan daya adsorpsinya menjadi lebih tinggi.

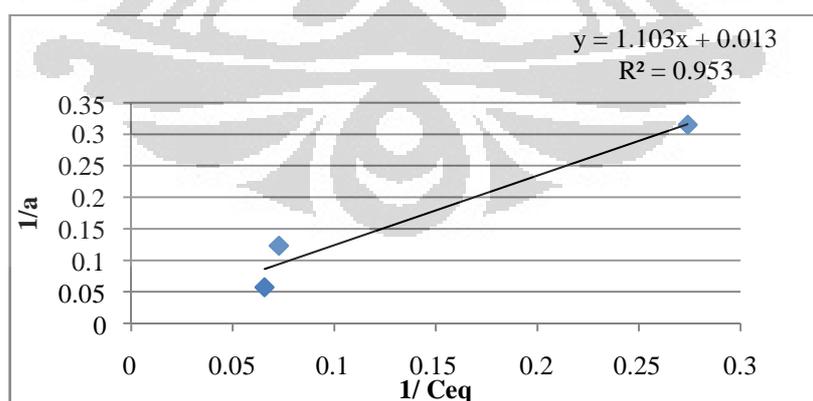
Dari Tabel 4.7. dan Gambar 4.8. di atas didapatkan bahwa serbuk TKKS dengan penambahan NaOH memiliki % adsorpsi lebih besar dari pada serbuk TKKS tanpa penambahan NaOH meski pada pH yang rendah, yakni 6.49% untuk serbuk TKKS dan 20.86% untuk serbuk TKKS dengan penambahan NaOH. Seiring dengan kenaikan pH, % adsorpsi serbuk kayu TKKS dan serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH mengalami peningkatan dan mencapai adsorpsi optimal pada pH 8, dimana % adsorpsi serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH mencapai 90.70% dan serbuk kayu TKKS mencapai 84.86%.

Hal yang perlu diperhatikan adalah pH basa pada adsorpsi ion logam harus menyesuaikan dengan kondisi pengendapan dimana ion logam dapat mengendap. Pada ion logam  $\text{Cd}^{2+}$ , kondisi pada pH 8 adalah akan mulai mengendap, sehingga pada kondisi ini adsorpsinya dapat dikatakan optimal. Jika adsorpsi dilakukan pada pH di atas pH 8 maka  $\text{Cd}^{2+}$  akan mengendap, hal ini akan mengurangi daya adsorpsinya sebab  $\text{Cd}^{2+}$  sebagian akan berubah menjadi endapan.

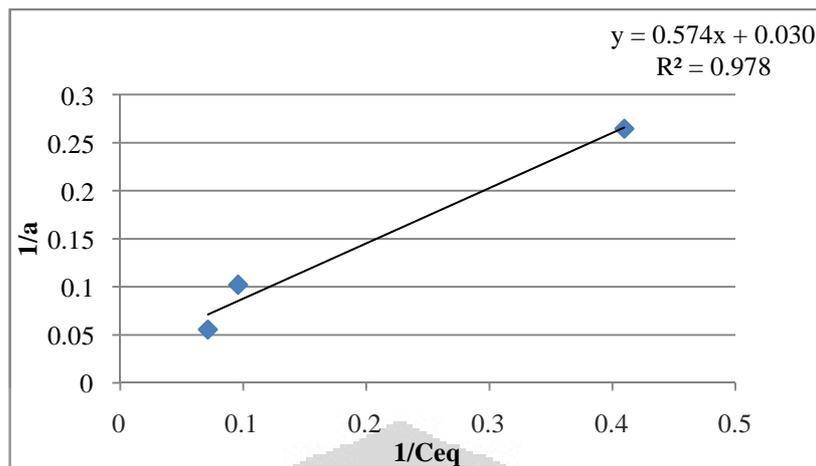
#### 4.2.3 Model Adsorpsi Serbuk Kayu TKKS

Sampel ion logam  $\text{Cd}^{2+}$  dengan variasi konsentrasi masing-masing 10, 30, dan 50 ppm digunakan untuk menentukan model adsorpsi serbuk kayu TKKS. Isoterm adsorpsi digunakan untuk mengetahui hubungan antara jumlah zat yang terserap (adsorben), serta kemungkinan sifat dari permukaan adsorben. Jenis isoterm yang digunakan yakni Isoterm Freundlich dan Isoterm Langmuir.

Isoterm Langmuir menjelaskan bahwa permukaan adsorben memiliki situs aktif tertentu yang sebanding dengan luas permukaan adsorben. Energi yang sama dimiliki setiap situs aktif dan dapat dikatakan bahwa permukaan adsorben bersifat homogen. Sedangkan isoterm Freundlich menyatakan bahwa permukaan adsorben bersifat heterogen, hal ini menandakan bahwa afinitas dari masing-masing pusat aktif tidak sama, sehingga adsorpsi pada situs yang paling aktif lebih disukai. Data isoterm Langmuir dan Freundlich dapat dilihat pada Gambar 4.7.



(a)

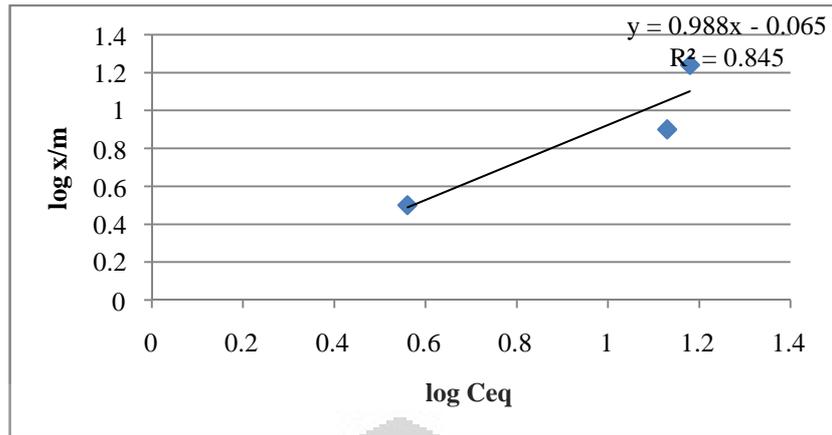


(b)

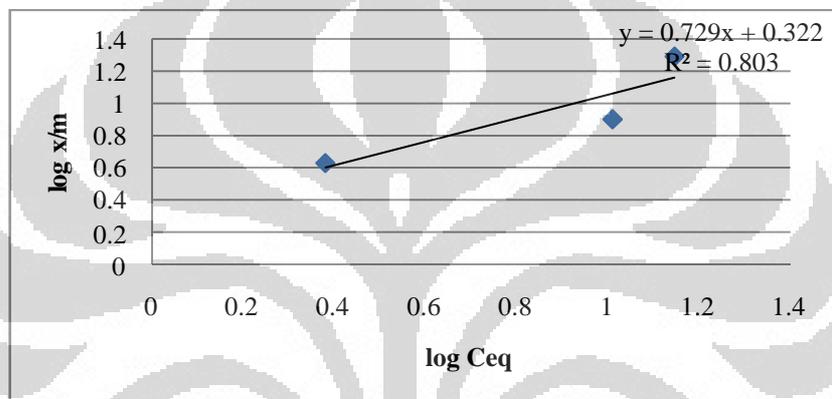
**Gambar 4.9. Kurva Isoterm Langmuir (a) serbuk kayu TKKS (b) serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida**

Dari kurva adsorpsi pada Gambar 4.7 didapatkan nilai regresi untuk serbuk kayu TKKS yakni 0.953 dan untuk serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida yakni 0.978. Nilai  $1/a$  pada sumbu y adalah jumlah adsorbat yang diserap oleh adsorben dalam mg. Nilai  $C_{eq}$  menunjukkan konsentrasi adsorbat ada keadaan kesetimbangan. Dengan menggunakan persamaan isoterm akan didapatkan nilai  $a_{max}$  sebesar 76.92 mg Cd/g untuk serbuk kayu TKKS dan 33.33 mg Cd/g untuk serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida. Nilai ini menunjukkan banyaknya 1 gram serbuk kayu untuk dapat mengadsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$ . Nilai  $k$  (afinitas serapan) yang didapat untuk serbuk kayu TKKS adalah 0.01 dan untuk serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida adalah 0.052. dilihat dari nilai  $k$ -nya, maka serbuk kayu dengan penambahan natrium hidroksida memiliki afinitas penyerapan yang lebih baik dari serbuk kayu TKKS. Melihat dari nilai regresi yang didapatkan, maka isoterm langmuir memenuhi fenomena adsorpsi dari serbuk kayu TKKS dan serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida.

Untuk data isoterm Freundlich dapat dilihat pada Gambar 4.10.



(a)



(b)

**Gambar 4.10. Kurva Isoterm Freundlich (a) serbuk kayu TKKS (b) serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida**

Untuk isoterm Freundlich, nilai regresi yang didapatkan dari persamaan di atas untuk serbuk kayu TKKS adalah 0.845 dan 0.803 untuk serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida. Nilai k yang didapat untuk serbuk kayu TKKS 1.16 dan serbuk kayu TKKS dengan penambahan natrium hidroksida 2.098. jika dilihat dari nilai regresinya, maka isoterm Freundlich tidak merepresentasikan fenomena adsorpsi pada serbuk TKKS dan serbuk TKKS dengan penambahan natrium hidroksida.

Pada data isoterm langmuir dan freundlich, di dapatkan kesimpulan bahwa serbuk kayu TKKS dan serbuk kayu TKKS dengan penambahan hidroksida, menunjukkan bahwa permukaan adsorben bersifat homogen.

### 4.3 Penambahan TKKS dengan Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>

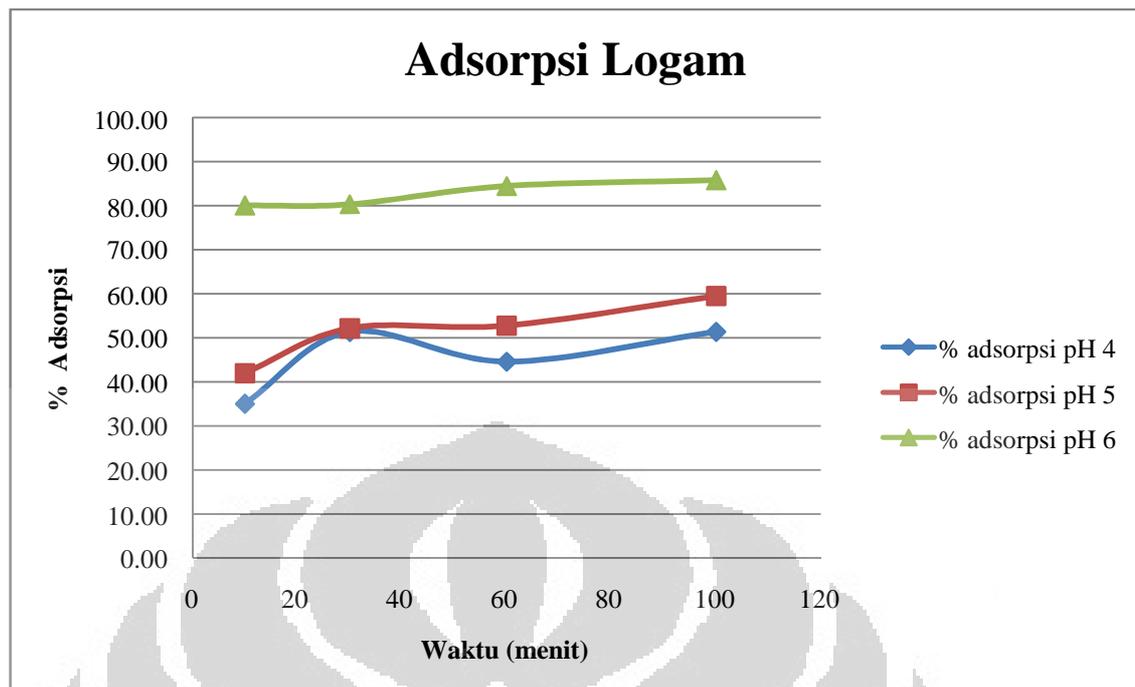
Serbuk TKKS yang ditambahkan dengan Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> bertujuan untuk memasukkan gugus sulfonat ke dalam senyawa selulosa. Gugus sulfonat ini menggantikan gugus fenolik yang ada pada selulosa. Meski mengalami penggantian gugus, namun fungsi gugus sulfonat dan fenolik adalah sama yakni sebagai penerima pasangan elektron bebas untuk mengikat logam.

#### 4.3.1 Pengaruh Waktu dan pH terhadap Adsorpsi

Pada percobaan ini, TKKS ditambahkan dengan Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> yang akan mengubah gugus fungsi dan komposisi kimia dari serbuk kayu TKKS, perubahan inilah yang meningkatkan kemampuan adsorpsi serbuk kayu TKKS terhadap ion logam. 0.025 gram TKKS tersulfonasi mengadsorpsi larutan Cd<sup>2+</sup> sebesar 10 mg/L sebanyak 25 mL. pH divariasikan pada 4, 5, dan 6. Sedangkan waktu divariasikan pada 10, 30, 60, dan 100 menit. Data adsorpsi disajikan pada Tabel 4.8. dan Gambar 4.9.

**Tabel 4.8. Adsorpsi TKKS Tersulfonasi**

Waktu (menit)	pH 4		pH 5		pH6	
	% adsorpsi	Adsorpsi Cd/Biomassa (mg/g)	% adsorpsi	Adsorpsi Cd/Biomassa (mg/g)	% adsorpsi	Adsorpsi Cd/Biomassa (mg/g)
10	35.03	3.72	41.98	4.46	80.06	8.50
30	51.34	5.45	52.16	5.54	80.33	8.53
60	44.57	4.73	52.80	5.61	84.46	8.97
100	51.34	5.45	59.51	6.32	85.81	9.11



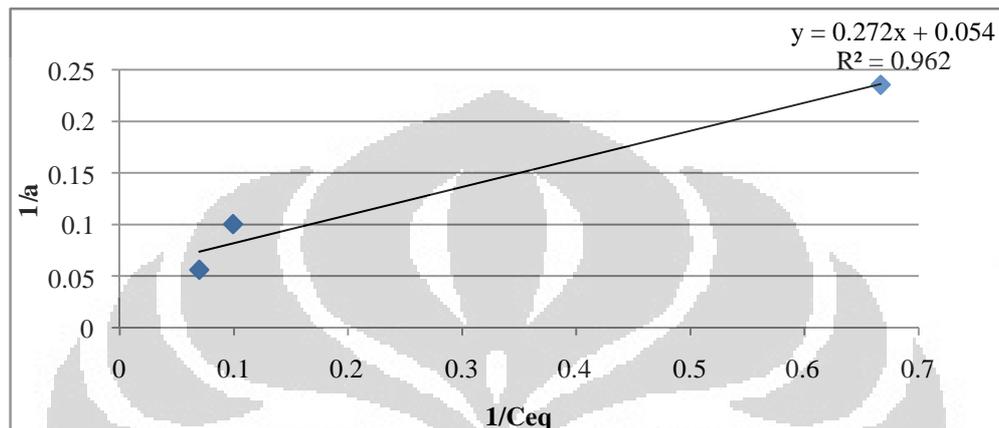
**Gambar 4.11. Adsorpsi Logam pada TKKS Tersulfonasi**

TKKS yang tersulfonisasi memiliki % adsorpsi yang lebih besar seiring dengan meningkatnya waktu kontak adsorpsi. Peningkatan ion logam pada serbuk TKKS yang ditambahkan dengan  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , disebabkan oleh adanya kontribusi grup karbonil dan sulfonat. Kontribusi pengikatan logam yang berasal dari asam kuat gugus sulfonat ini meningkat pada pH yang rendah, meski karbonil (yang termasuk asam lemah) lebih dominan pada pH netral. Hal inilah yang menjadi alasan kenapa proses pengikatan logam pada pH 4 dapat dikatakan cukup baik, karena kontribusi dari asam sulfonat yang lebih teraktivasi dan juga sedikit kontribusi dari gugus karbonil.

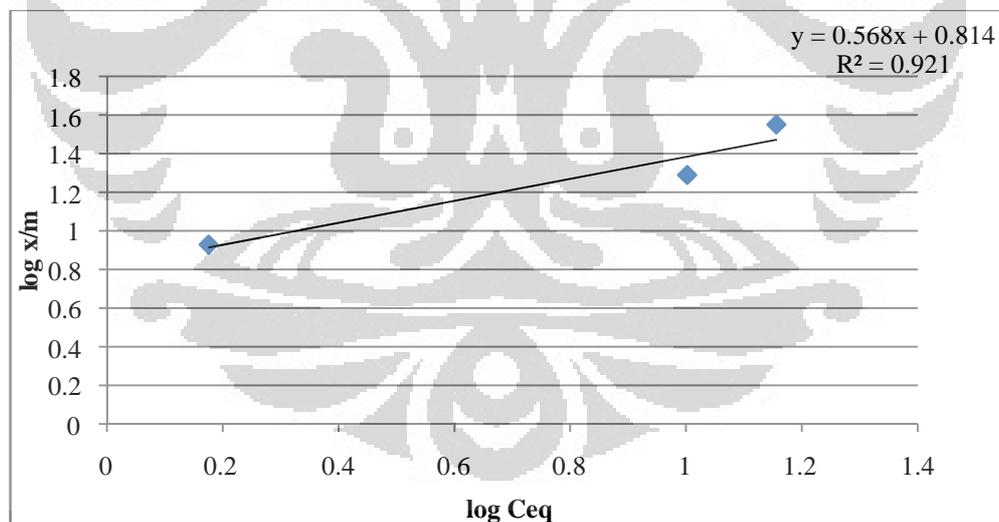
Pada data dari Tabel 4.11. dapat dilihat bahwa maksimal adsorpsi terdapat pada pH 6 dengan waktu 100 menit dan % adsorpsi mencapai 85.81. Nilai adsorpsi ini dapat meningkat dengan penambahan waktu lebih dari 100 menit, sebab belum didapatkan kurva linier dan konstan yang menunjukkan jenuhnya serbuk kayu tersulfonasi dalam menyerap logam dan telah tercapainya titik kesetimbangan.

### 4.3.2 Model Adsorpsi

Model Adsorpsi Langmuir dan Freundlich akan digunakan untuk melihat jenis permukaan adsorben dari serbuk kayu TKKS tersulfonasi. Kurva pada Gambar 4.12 menyajikan persamaan yang didapatkan dari kedua isoterm tersebut.



(a)



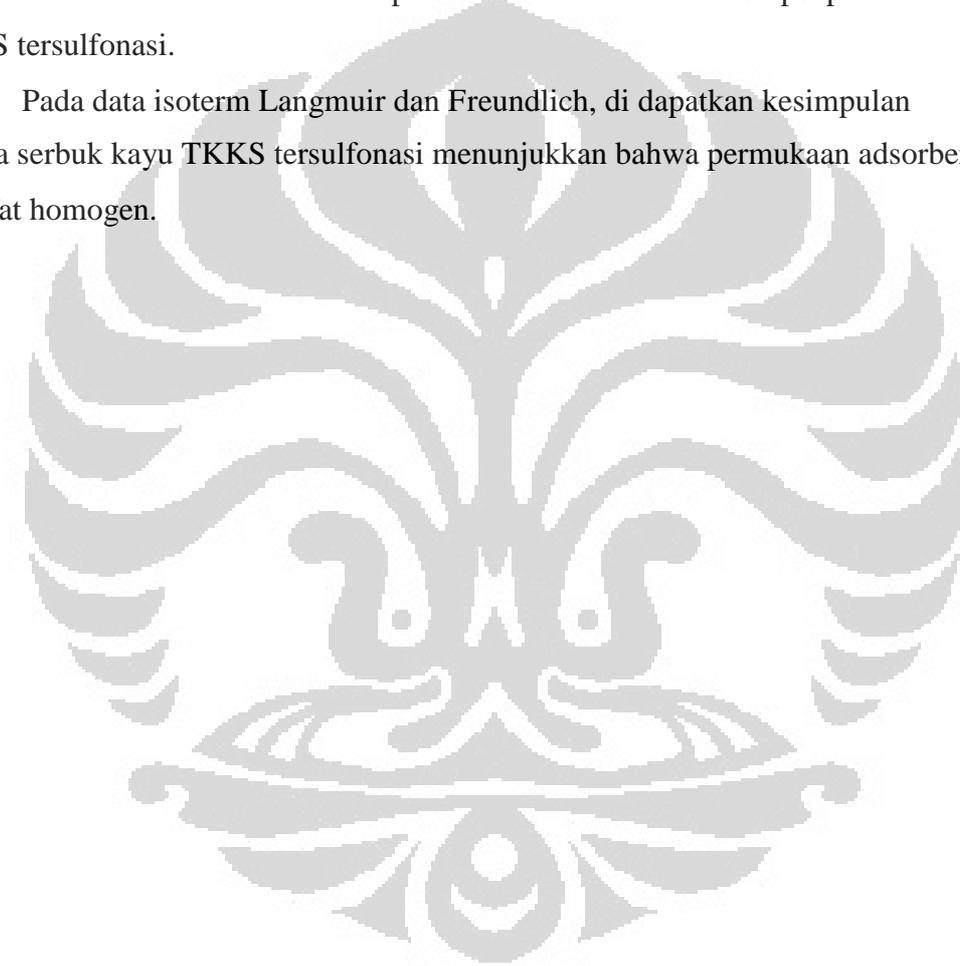
(b)

**Gambar 4.12. (a) Kurva Isoterm Langmuir (b) Kurva Isoterm Freundlich**

Dari kurva adsorpsi pada Gambar 4.10. didapatkan nilai regresi untuk isoterm Langmuir yakni 0.962. Dengan menggunakan persamaan isoterm akan didapatkan nilai  $a_{\max}$  sebesar 18.51 mg Cd/g. Nilai ini menunjukkan banyaknya 1 gram serbuk kayu untuk dapat mengadsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$ . Nilai k (afinitas serapan) yang didapat 0.198.

Untuk isoterm Freundlich, nilai regresi yang didapatkan dari persamaan di atas adalah 0.921. Nilai k yang didapat 1.132. Jika dilihat dari nilai regresinya, maka isoterm Freundlich tidak merepresentasikan fenomena adsorpsi pada serbuk TKKS tersulfonasi.

Pada data isoterm Langmuir dan Freundlich, di dapatkan kesimpulan bahwa serbuk kayu TKKS tersulfonasi menunjukkan bahwa permukaan adsorben bersifat homogen.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Kondisi optimum untuk penambahan NaOH pada serbuk kayu TKKS adalah 5% NaOH
2. Waktu optimum kontak adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  pada serbuk kayu TKKS dengan penambahan NaOH dan tanpa penambahan NaOH adalah 3.5 jam
3. pH 8 adalah pH optimum untuk adsorpsi ion logam  $Cd^{2+}$  pada serbuk kayu tanpa penambahan NaOH dan dengan penambahan NaOH
4. Pada penambahan  $Na_2SO_3$  menghasilkan gugus baru yakni gugus sulfonat yang terdeteksi pada data IR
5. Pada range pH 4-6 penambahan  $Na_2SO_3$ , didapatkan % adsorpsi yang cukup baik, hal ini dikarenakan kontribusi dari gugus sulfonat pada pH rendah serta gugus karbonil

#### **5.2 Saran**

Saran penelitian selanjutnya adalah dengan menggunakan variasi logam yang lebih banyak. Selain itu, dapat juga dengan menggunakan sampel ion logam yang ada di lingkungan, tidak harus dengan menggunakan larutan stok yang di preparasi di laboratorium. Selain itu, homogenitas dari serbuk kayu perlu diperhatikan, sebab luas permukaan yang tidak homogen sangat berpengaruh terhadap jumlah penyerapan logam.

## DAFTAR REFERENSI

- Atkins, P.W. 2002. *Physical Chemistry, 7<sup>th</sup> edition*. USA: Oxford University Press Inc.
- Choi, Y.J. 2003. *Characterization of SemiInterpenetrating Polymer Network Polystyrene CationExchange Membranes*. J. Appl. Polym. Sci. 88, 1488–1496.
- Biermann, Christopher J. 1993. *Essentials of of Pupling and Papermaking*. San Diego: Academic Press, Inc.
- Day, Underwood. 1998. *Analisa Kimia Kuantitatif edisi V*. Jakarta: Erlangga
- E, Sjostrom. 1993. *Wood chemistry: Fundamental Chemistry and Applications*. Academic Press
- Fessenden. 1982. *Kimia Organik*. Jakarta: Erlangga
- Firmansyah, Iman. 2009. *Biokonversi Lignoselulosa Dari Biomassa Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Menjadi Etanol Melalui Proses Sarifikasi dan Fermentasi Serentak (SFS)*. FMIPA Universitas Indonesia
- Fourest, E. 1996. *Contribution of sulfonate groups and alginate to heavy metal biosorption by the dry biomass of Sargassum fluitans*. Environ. Sci. Technol. 30, 277–282.
- Gellerstedt, G. 1976. *The reactions of lignin during sulfite pulping*. Svensk Paperstidn. 79, 537–543.

Hammel K.E. 1997. *Fungal degradation of Lignin*. CAB International, hlm. 33-45

Higuchi, Takayoshi. 2004. *Microbial Degradation of Lignin: Role of Lignin peroxidase, Manganase Peroxidase, and Laccase*. Proc. Jpn. Acad., Vol.80, pp. 204-211. 80\_204.pdf

Huda, Ahmad Fahmi. 2007. *Modifikasi Serbuk Kayu Pithecellobium jiringa Sebagai Adsorben Ion Logam  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ , dan  $Cr^{3+}$* . FMIPA Universitas Indonesia

Hu, Lihong. 2011. *Methods To Improve Lignins Reactivity As a Phenol Substitute And As Replacement For Other Phenolic Compounds: A Brief Review*. Bioresource Technology

Lundquist, Knut. 2011. *Different Types of Phenolic Units in Lignins*. Bioresource Technology

Maurice S. Onyago. 2007. *Adsorptive Removal of Phosphate Ions From Aqueous Solution Using Synthetic Zeolite*. [www.acs.pubs](http://www.acs.pubs)

Marchessault, R.H., et al. 1981. *Characterization of Aspen Exploded Wood Lignin*. Can. J. Chem. Vol. 60, pp.2372-3282

M. Rowell, Roger. 2005. *Cadmium Ion Sorption Onto Lignocellulosic Biosorbent Modified By Sulfonation: The Origin of Sorption Capacity Improvement*. Elsevier

Penuntun Praktikum Kimia Analisa Kuantitatif. 2003. Depok: Kimia UI

Rios, J.V. 1999. *Investigation of Metal Ion Binding by Agricultural By Product*. St. Louis

Romero, Gonzalez. 2001. *Study of The Mechanisms of Cadmium Biosorption by Dealginated Seaweed Waste*. Environ. Sci. Technol. 35, 3025– 3030.

Sastrohamidjojo, Hardjono. 1992. *Spektroskopi Inframerah*. Liberty, Yogyakarta

Sciban, Marina. 2006. *Modified Softwood Sawdust as Adsorbent of Heavy Metal Ions From Water*. Elsevier: Journal of Hazardous Material

Skoog, West. 1991. *Fundamental of Analytical Chemistry, 7<sup>th</sup> edition*. USA: Sanders College Publishing

*Spektrofotometri Infra Merah*. <http://chem-is-try.org/artikel/spektrofotometriinframerah>

Sjostrom, E. 1993. *Wood Chemistry Fundamental and Applications, Second ed.* Academic Press, Inc.

Sunardi. 2007. *Analisis Instrumentasi*. Depok: Departemen Kimia FMIPA UI

Susilawati. 2009. *Studi Biosorpsi Ion Logam Cd (II) Oleh Biomassa Alga Hijau Yang Diimmobilisasi Pada Silika Gel*. FMIPA Universitas Indonesia

Yan, F, et al. 2007. *Kelapa Sawit*. Penebar Swadaya. Jakarta.

<http://www.cobertaassco.com> Solid Extraction Guide

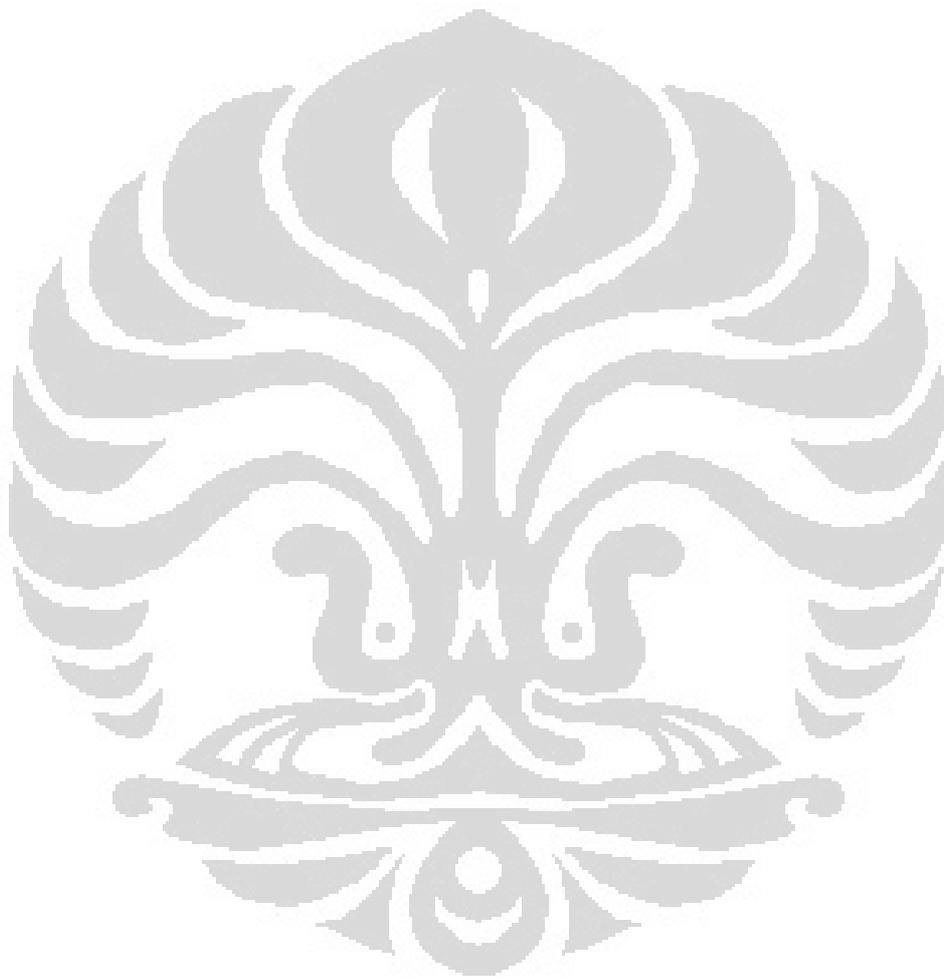
<http://elearning.unej.ac.id/courses/PNU1705/document/bablklpswt.doc>

[http://id.wikipedia.org/kelapa\\_sawit](http://id.wikipedia.org/kelapa_sawit)

[www.isroi.wordpress.com](http://www.isroi.wordpress.com)

<http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohidrates.html>

<http://www.scidacreview.org>

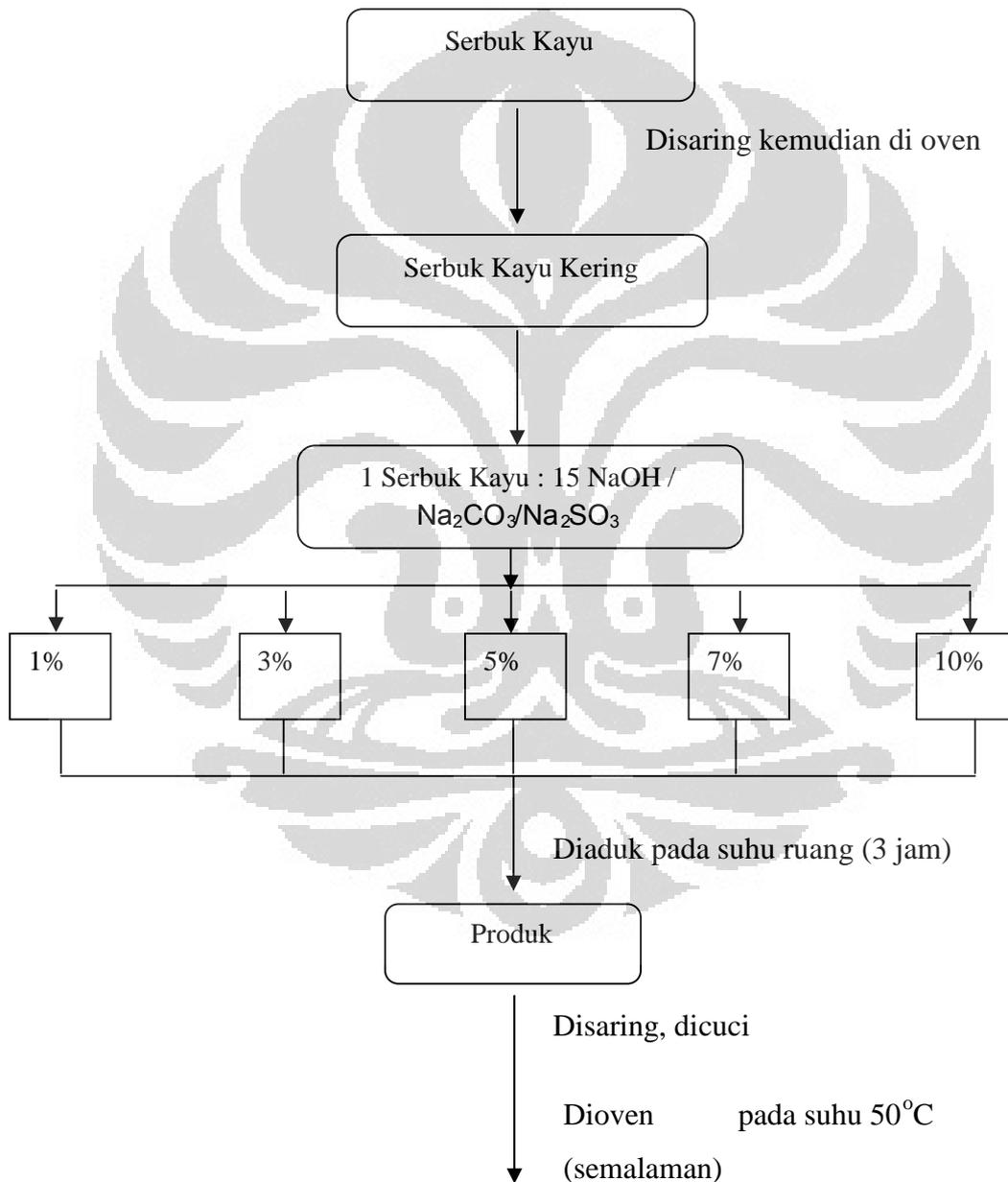


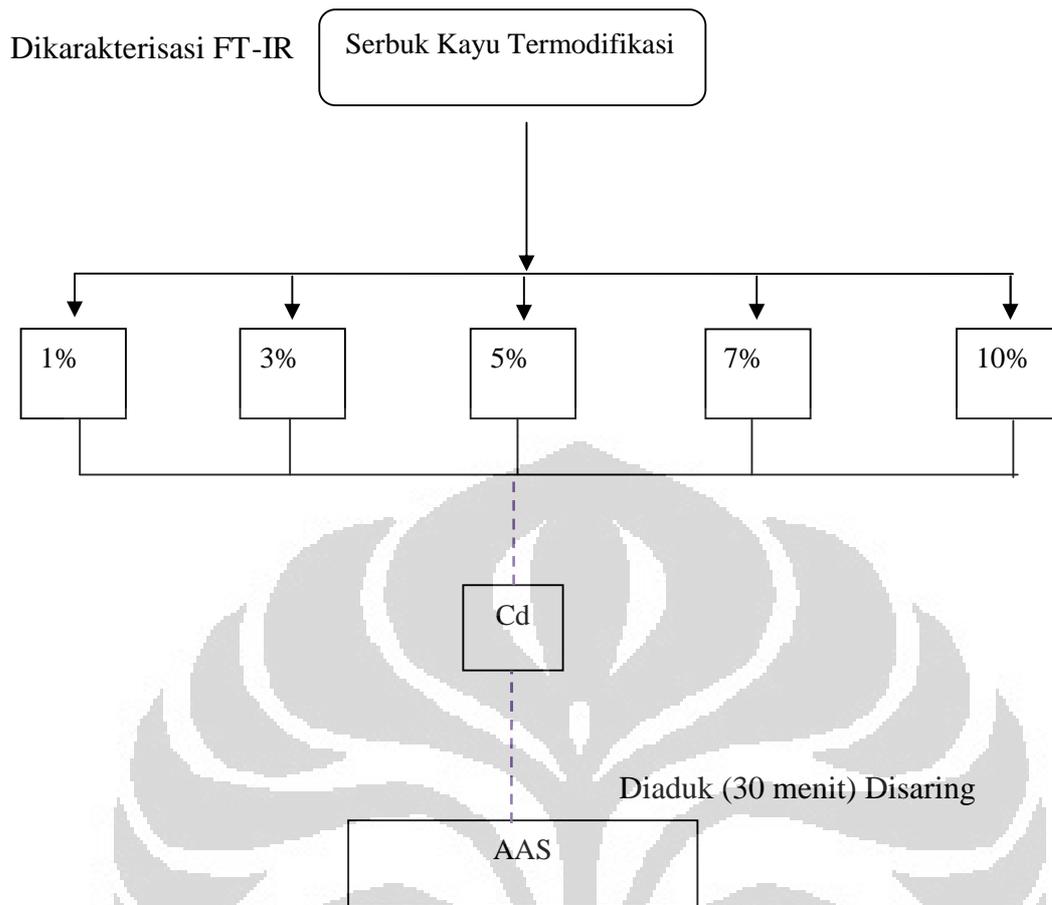
**Universitas Indonesia**

## LAMPIRAN

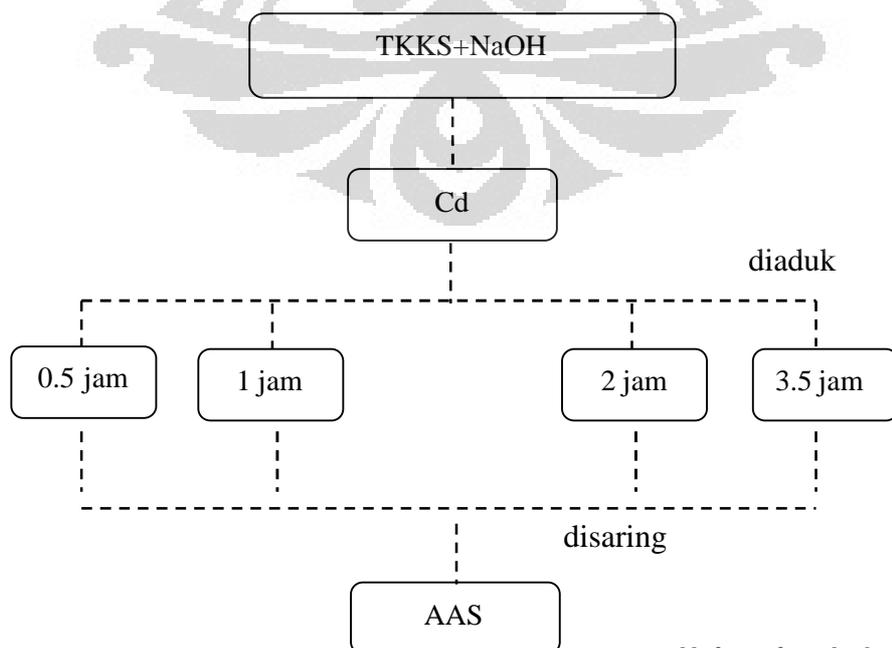
### Lampiran 1.

### Bagan Kerja Preparasi Kondisi Optimum Serbuk Kayu TKKS dengan Penambahan NaOH

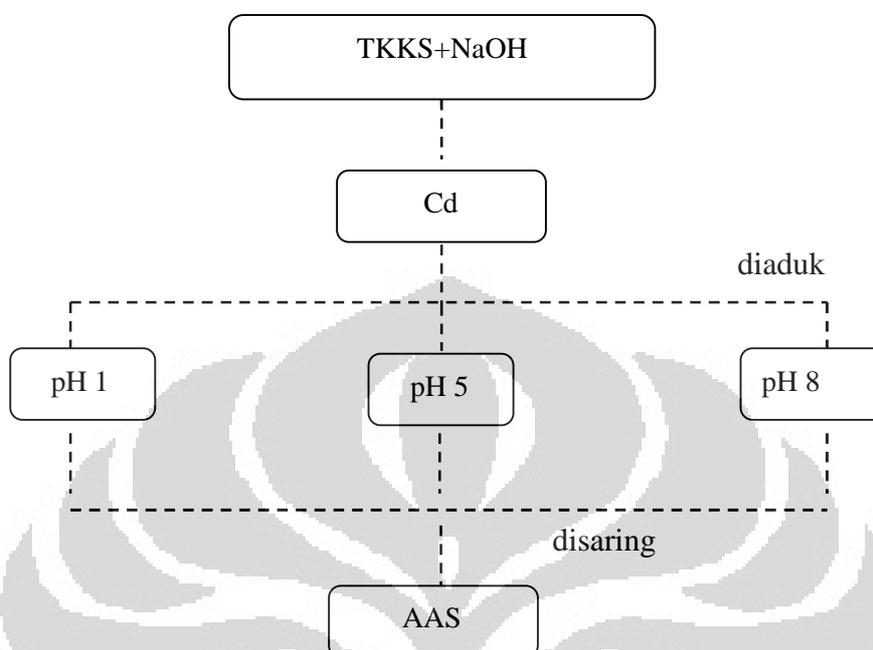
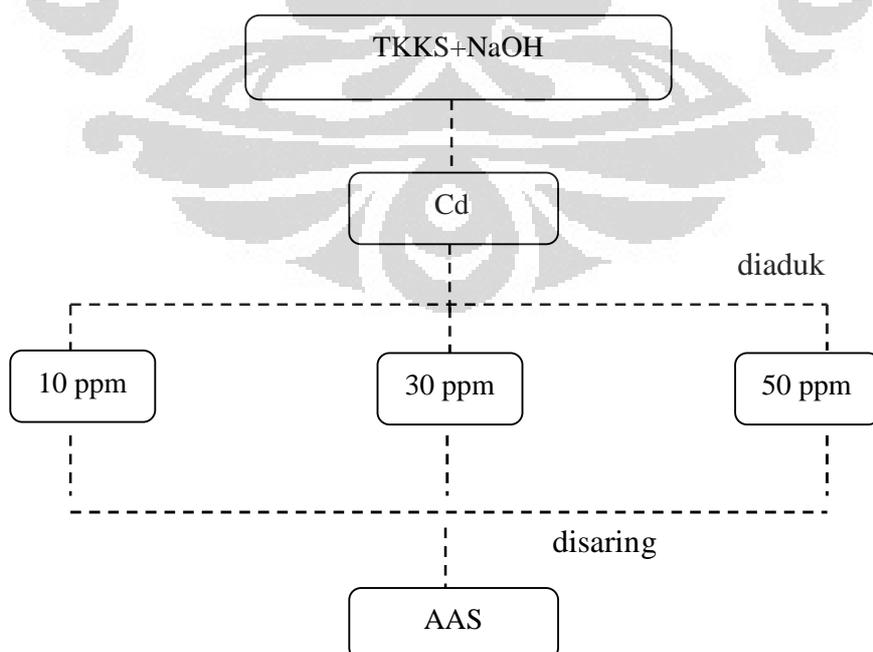




**Lampiran 2. Bagan Kerja Variasi Waktu**

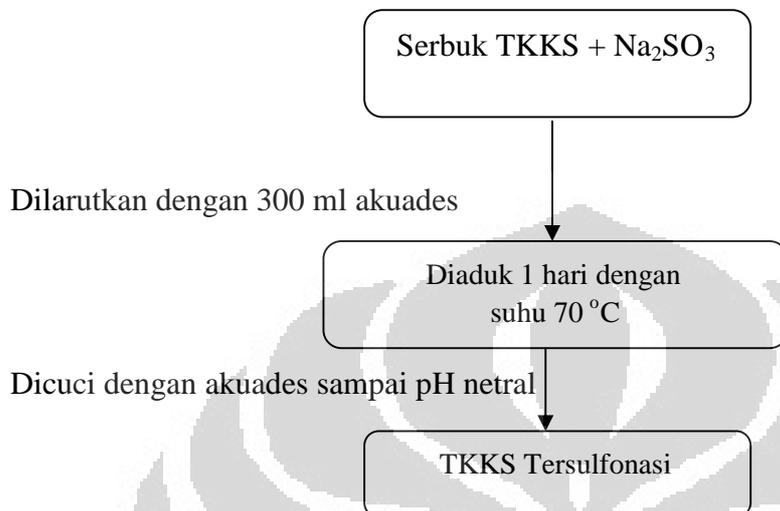


Universitas Indonesia

**Lampiran 3. Bagan Keja Variasi pH****Lampiran 4. Variasi Konsentrasi Untuk Model Adsorpsi**

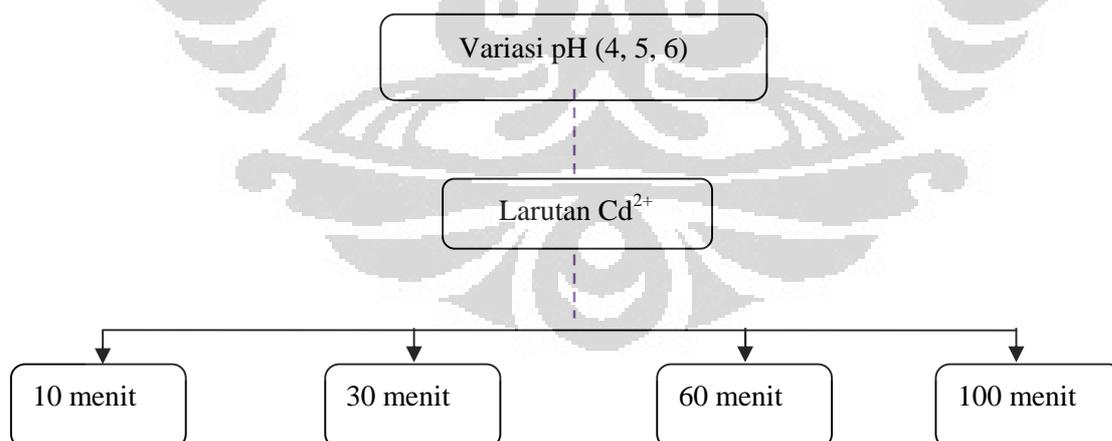
## Lampiran 5.

### Sulfonasi Serbuk Kayu TKKS dengan Penambahan $\text{Na}_2\text{SO}_3$



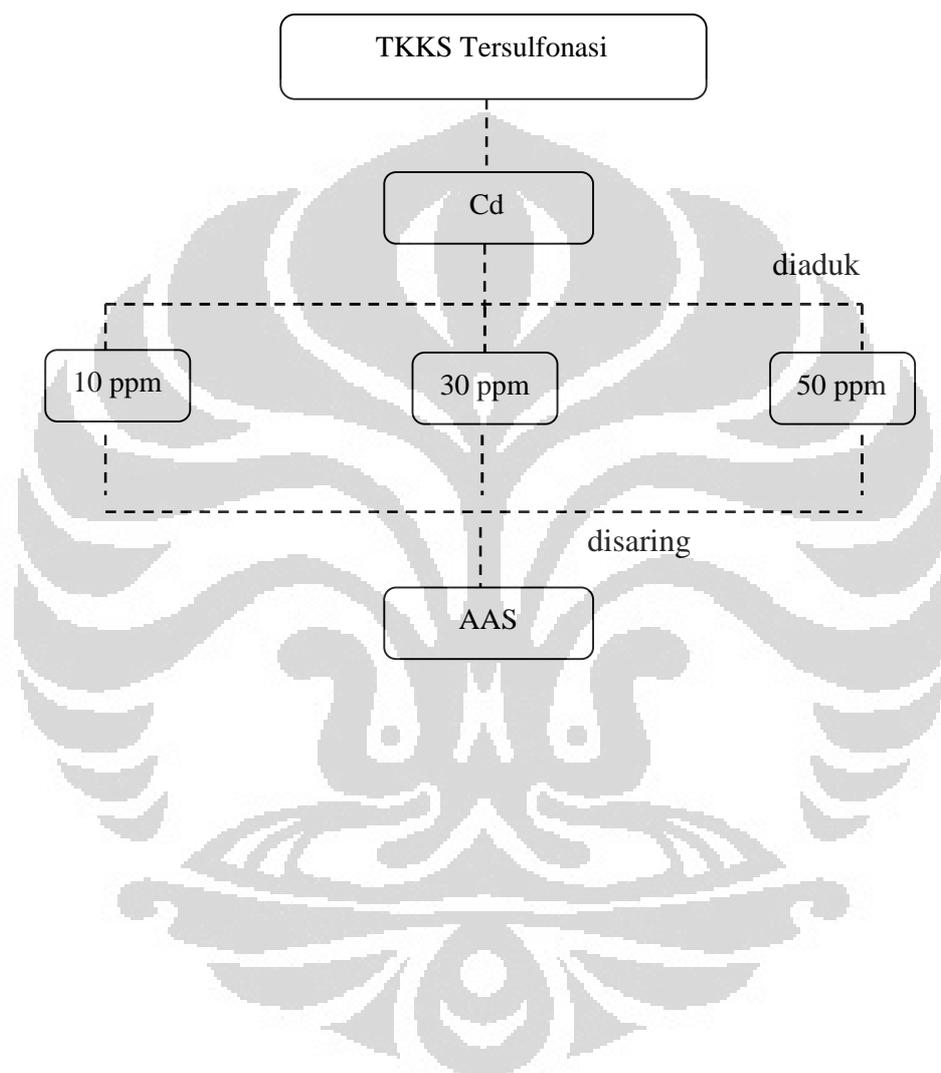
## Lampiran 6.

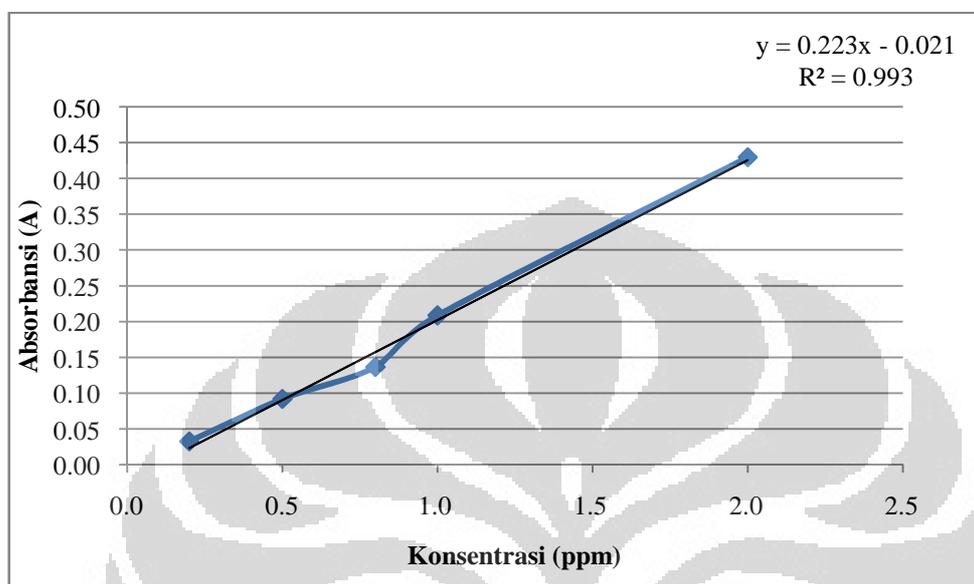
### Variasi Waktu untuk Serbuk Kayu Tersulfonasi



## Lampiran 7.

### Variasi Konsentrasi Untuk Model Adsorpsi Serbuk Kayu Tersulfonasi



**Lampiran 8. Kurva Kalibrasi Standar Logam Cd (II)**

## Lampiran 9.

### Contoh Perhitungan Konsentrasi Ion Logam Cd (II) sisa ( $C_{eq}$ ), konsentrasi Ion Logam Cd (II) teradsorpsi ( $C_b$ ) dan persen adsorpsi

#### a. Konsentrasi ion logam Cd (II) sisa ( $C_{eq}$ )

Konsentrasi ion logam Cd (II) sisa atau konsentrasi pada saat kesetimbangan adalah konsentrasi yang langsung terukur oleh SSA, dengan pengolahan data menggunakan kurva kalibrasi standar ion logam Cd (II).

Contoh: untuk penentuan konsentrasi ion logam Cd (II) sisa pada pH 8, dari hasil pengukuran SSA diperoleh absorbansi sebesar 0.0301. dengan menggunakan kurva kalibrasi standar dengan persamaan regresi linier, yaitu:  $y = 0.301x - 0.032$  dan memasukkan nilai absorbansi (sebagai  $y$ ), maka konsentrasi ion logam Cd (II) sisa (sebagai  $x$ ) yaitu:

$$x = \frac{y + 0.032}{0.301} \quad \text{X faktor pengenceran}$$

Karena larutan ion Cd (II) pada penelitian ini mengalami pengenceran, maka perhitungan konsentrasi ion logam Cd (II) sisa ( $C_{eq}$ ) harus dikali dengan faktor pengenceran. Maka akan diperoleh konsentrasi ion logam Cd (II) sisa ( $C_{eq}$ ).

#### b. Konsentrasi ion logam Cd (II) yang teradsorpsi ( $C_b$ )

Konsentrasi ion logam Cd (II) yang teradsorpsi ( $C_b$ ) adalah selisih antara konsentrasi awal larutan ion logam Cd (II) ( $C_i$ ) dengan konsentrasi ion logam Cd (II) sisa ( $C_{eq}$ ).

$$C_b = C_i - C_{eq}$$

#### c. Persen adsorpsi

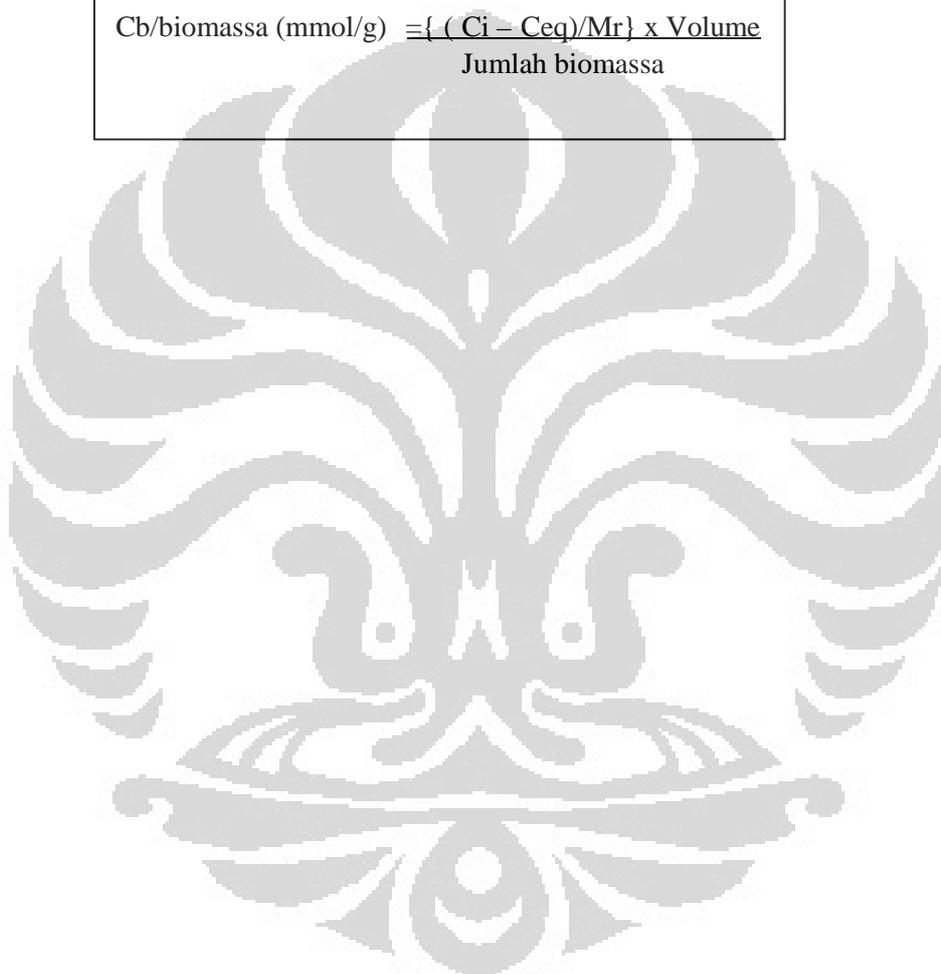
Merupakan perbandingan dalam bentuk persen antara konsentrasi ion logam Cd (II) teradsorpsi ( $C_b$ ) dengan konsentrasi mula-mula ion logam Cd (II) ( $C_i$ ).

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{C_b}{C_i} \times 100\%$$

Untuk melihat nilai dari penyerapan yang terjadi, selain menggunakan persen adsorpsi, dapat juga menggunakan perbandingan antara konsentrasi ion logam Cd (II) yang teradsorpsi ( $C_b$ ), baik dalam satuan mg ataupun mmol, dengan jumlah biomassa yang digunakan (biasanya dalam satuan g).

$$C_b/\text{biomassa (mg/g)} = \frac{(C_i - C_{eq}) \times \text{Volume}}{\text{Jumlah biomassa}}$$

$$C_b/\text{biomassa (mmol/g)} = \frac{\{(C_i - C_{eq})/M_r\} \times \text{Volume}}{\text{Jumlah biomassa}}$$



## Lampiran 10. Data Perhitungan Untuk Isoterm Adsorpsi

### Data Isoterm Langmuir Untuk Serbuk Kayu TKKS

[Cd] awal (Ci)mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] adsorpsi (Cb)		1/Ceq (1/mg/L)	a (Cb/0.05 g) mg/g	1/a g/mg
		mg/L	mg			
10	3.65	6.35	0.15875	0.273973	3.175	0.314961
30	13.76	16.24	0.406	0.072674	8.12	0.123153
50	15.24	34.76	0.869	0.065617	17.38	0.057537

### Data Isoterm Langmuir Untuk Serbuk Kayu TKKS Dengan Penambahan NaOH

[Cd] awal (Ci)mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] adsorpsi (Cb)		1/Ceq (1/mg/L)	a (Cb/0.05 g) mg/g	1/a g/mg
		mg/L	mg			
10	2.44	7.56	0.189	0.409836066	3.78	0.264550265
30	10.42	19.58	0.4895	0.09596929	9.79	0.102145046
50	14.01	35.99	0.89975	0.071377587	17.995	0.055570992

### Data Isoterm Freundlich Untuk Serbuk Kayu TKKS

[Cd] awal (Ci)mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] adsorpsi (Cb)		log Ceq log mg/L	m (Cb/0.05 g)	log x/m log mg/g
		mg/L	mg		mg/g	
10	3.65	6.35	0.15875	0.56	3.175	0.5
30	13.76	16.24	0.406	1.13	8.12	0.9
50	15.24	34.76	0.869	1.18	17.38	1.24

### Data Isoterm Freundlich Untuk Serbuk Kayu TKKS Dengan Penambahan NaOH

[Cd] awal (Ci)mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] adsorpsi (Cb)		log Ceq log mg/L	m (Cb/0.05 g)	log x/m log mg/g
		mg/L	mg		mg/g	
10	2.44	8.5	0.2125	0.38	4.25	0.628
30	10.42	15.99	0.39975	1.01	7.995	0.9
50	14.01	39.58	0.9895	1.146	19.79	1.29

### Data Isoterm Langmuir Untuk Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi

[Cd] awal (Ci)mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] adsorpsi (Cb)		1/Ceq (1/mg/L)	a (Cb/0.025 g) mg/g	1/a g/mg
		mg/L	mg			
10	1.5	8.5	0.2125	0.666666667	4.25	0.235294118
30	10.06	19.94	0.4985	0.099403579	9.97	0.100300903
50	14.33	35.67	0.89175	0.069783671	17.835	0.056069526

### Data Isoterm Freundlich Untuk Serbuk Kayu TKKS Tersulfonasi

[Cd] awal (Ci)mg/L	[Cd] sisa (Ceq) (mg/L)	[Cd] adsorpsi (Cb)		log Ceq log mg/L	m (Cb/0.025 g) mg/g	log x/m log mg/g
		mg/L	mg			
10	1.5	8.5	0.2125	0.176	8.5	0.929
30	10.06	19.94	0.4985	1.002	19.94	1.29
50	14.33	35.67	0.89175	1.156	35.67	1.551

## Lampiran 11. Gambar Instrumen AAS dan FT-IR

