

## KAJIAN INTERAKSI ION $\text{Co}^{2+}$ DENGAN SELULOSA DARI SERBUK GERGAJI KAYU

Risfidian Mohadi<sup>1\*</sup>, Nurlisa Hidayati<sup>1</sup>, Adi Saputra<sup>1</sup>, Aldes Lesbani<sup>1</sup>  
Jurusan Kimia FMIPA Universitas Sriwijaya, Kampus Indralaya Km. 32, Ogan Ilir,  
Sumatera Selatan 30662, Indonesia

\*Email: risf5@yahoo.com

**ABSTRAK:** Telah dilakukan pemisahan selulosa dari serbuk gergaji kayu dengan menggunakan metanol dan HCl dengan konsentrasi 1%, 3%, 7%, dan 11% (v/v) dalam waktu 3 jam. Selulosa hasil pemisahan dikarakterisasi dengan spektroskopi FT-IR untuk selanjutnya digunakan sebagai adsorben ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dalam medium air. Proses adsorpsi dipelajari melalui berbagai waktu interaksi, variasi konsentrasi, dan desorpsi terpisah. Spektrum infra merah menunjukkan bahwa selulosa hasil pemisahan dari serbuk gergaji kayu dengan konsentrasi asam 5% memiliki kemiripan dengan spektrum infra merah selulosa standar. Konstanta laju adsorpsi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada selulosa hasil pemisahan sebesar  $2.10^{-4}$  dengan energy adsorpsi sebesar 31,54 kJ/mol serta pada serbuk gergaji kayu sebesar  $4.10^{-4}$  dengan energy adsorpsi 31,00kJ/mol. Kapasitas adsorpsi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada selulosa hasil pemisahan sebesar  $0,55 \times 10^{-4}$  mol/g dan  $0,09 \times 10^{-4}$  mol/g untuk serbuk gergaji kayu. Desorpsi terpisah ion logam  $\text{Co}^{2+}$  menggunakan  $\text{H}_2\text{O}$ , Na-EDTA, Amonium asetat, dan HCl menunjukkan interaksi yang kuat ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada selulosa dan serbuk kayu.

**Kata kunci:** serbuk gergaji kayu, selulosa, ion logam  $\text{Co}^{2+}$ , adsorpsi, desorpsi.

**ABSTRACT:** Separation of cellulose from wood sawdust using methanol and hydrochloric acid in acid concentrations of 1%, 3%, 7%, dan 11% (v/v) for 3 hours has been carried out. The cellulose was characterized using FT-IR spectroscopy and used as adsorbent for  $\text{Co}^{2+}$  metal ion in aqueous medium. Adsorption process was studied by varying the interaction time, concentration of solution, and desorption. The FT-IR spectrum of cellulose obtained from wood using 5% HCl has similarity with FT-IR spectrum of the standard cellulose. The adsorption rate constant and adsorption energy of  $\text{Co}^{2+}$  on cellulose obtained from wood sawdust are  $2.10^{-4}$  and 31,54 kJ/mol respectively, meanwhile those values are  $4.10^{-4}$  and 31.00 kJ/mol respectively on raw wood sawdust. The adsorption capacity of cellulose and of wood sawdust are  $0,55 \times 10^{-4}$  mol/g and  $0,09 \times 10^{-4}$  mol/g, respectively. The separated desorption of  $\text{Co}^{2+}$  metal ion using  $\text{H}_2\text{O}$ , Na-EDTA, Amonium acetic, and HCl showed that  $\text{Co}^{2+}$  was strongly bound to cellulose and wood sawdust.

**Keywords:** wood sawdust, cellulose,  $\text{Co}^{2+}$  metal ion, adsorption, desorption.

## 1. PENDAHULUAN

Serbuk kayu merupakan limbah dari industri gergaji kayu. Serbuk gergaji kayu mengandung sebagai mana kayu mengandung senyawa kimia seperti selulosa, hemiselulosa, lignin[1]. Terdapatnya selulosa dan hemiselulosa menjadikan serbuk gergaji kayu berpotensi untuk digunakan sebagai adsorben ion logam di lingkungan karena keberadaan gugus fungsional -OH pada selulosa[2].

Logam-logam berat yang terdapat di dalam lingkungan perairan dapat berasal dari industri pertambangan, pestisida dan industri pelapisan logam. Keberadaan logam berat dalam air akan mempengaruhi kualitas air, bila air yang tercemar logam berat melebihi konsentrasi standard dikonsumsi, maka akan terjadi penyerapan logam berat ke dalam jaringan tubuh makhluk hidup. Akibatnya akan terjadi keracunan bahkan bioakumulasi tergantung jenis logam, konsentrasi pencemarannya dan metabolismenya di dalam tubuh makhluk hidup.

Adsorpsi menggunakan adsorben adalah proses yang paling populer dan efektif untuk menghilangkan logam berat dari limbah cair. Banyak peneliti terdahulu telah melakukan penelitian mengenai adsorpsi ion logam dan makromolekul alami, seperti yang dilakukan oleh Mohadi dkk.[3] memanfaatkan kitosan hydrogel sebagai adsorben Cu dan Fe dan Mitani *et.al.* [4], yang menggunakan kitosan untuk mengadsorpsi Hg. Munaf *et.al.*[5] menggunakan adsorben sekam padi untuk menyerap logam Cr, Zn, Cu dan Cd. Penelitian lain menggunakan berbagai jenis adsorben, misalnya dari bahan anorganik seperti pasir kuarsa, karbon aktif, zeolit alam, tanah diatome dan montmorilonit juga penggunaan adsorben

organik seperti senyawa organik tanah berupa asam fulvat, asam humat dan humin [6] maupun kulit udang, selulosa dan lignin dari serbuk gergaji kayu, pelepah pisang dan serabut kelapa. Namun pada penelitian tersebut umumnya hanya sebatas proses adsorpsi saja tanpa adanya kajian terutama jenis ikatan yang terjadi antara molekul adsorben dengan adsorbat. Berdasarkan hal tersebut maka dalam penelitian ini dikaji proses adsorpsi antara ion logam  $Co^{2+}$  dengan selulosa dari serbuk gergaji kayu. Kemudian jenis ikatan yang terjadi ditentukan melalui metode desorpsi terpisah dengan beberapa reagen pendesorpsi.

## 2. PERCOBAAN

### 2.1 Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji kayu, selulosa, metanol, HCl, akuades, kobalt (II) klorida, Na-EDTA, dan amonium asetat. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *sentrifuge*, Spektrofotometer Serapan Atom Perkin Elmer AA200, spektrofotometer FT-IR Shimadzu 8201 PC, botol maserasi, *shaker*, *oven*, dan peralatan gelas standard laboratorium.

### 2.2 Metode

#### *Pemisahan Selulosa dari Serbuk Gergaji Kayu Dengan Metode Maserasi*

Serbuk kayu yang diambil dari limbah hasil pengolahan kayu di daerah Palembang, dikeringkan dan diayak dengan ukuran 60 mesh. Serbuk kayu kemudian dimaserasi.

Serbuk kayu sebanyak 80 g dimasukkan dalam botol 1 L kemudian dimaserasi menggunakan pelarut metanol 1 L sampai serbuk kayu terendam. Proses maserasi

dilakukan sampai larutan tidak lagi berwarna, kemudian disaring sehingga diperoleh filtrat dan residu. Residu lalu dikeringkan dan direndam dengan HCl 1 L dengan selama 3 jam. HCl yang digunakan bervariasi dengan konsentrasi 1%, 3%, 7% dan 11 % (v/v). Residu hasil perendaman dengan variasi HCL disaring, kemudian dikeringkan dan didapat residu berupa selulosa yang dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi FT-IR. Hasil karakterisasi dibandingkan dengan selulosa standar [7].

#### ***Pengaruh Waktu Interaksi Selulosa Dengan Ion Logam $Co^{2+}$***

Sebanyak 0,1 g adsorben selulosa hasil pemisahan dari serbuk gergaji kayu diinteraksikan dengan ion logam  $Co^{2+}$  pada konsentrasi 100 mg/L sebanyak 10 mL dengan dishaker dalam waktu 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180 menit. Campuran disaring dan filtrat diambil untuk diukur kadar ion logam  $Co^{2+}$  yang tersisa di dalam larutan dengan Spektrofotometer Serapan Atom. Hal yang sama dilakukan untuk serbuk kayu.

#### ***Pengaruh Konsentrasi Ion Logam $Co^{2+}$ Dengan Selulosa***

Sebanyak 0,1 g adsorben selulosa hasil pemisahan dari serbuk gergaji kayu diinteraksikan dengan ion logam  $Co^{2+}$  pada variasi konsentrasi 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 mg/L sebanyak 10 mL dan dishaker pada temperatur ruang dengan waktu maksimum hasil penentuan pengaruh waktu interaksi. Campuran disaring, lalu filtrat diukur kadar ion logam  $Co^{2+}$  yang tersisa dalam larutan dengan Spektrofotometer Serapan Atom. Hal yang sama dilakukan untuk adsorben serbuk gergaji kayu.

#### ***Kajian Jenis Ikatan Adsorpsi Ion Logam $Co^{2+}$ Dengan Selulosa Melalui Desorpsi Terpisah***

Sebanyak 1 g adsorben selulosa hasil pemisahan serbuk kayu diinteraksikan dengan 10 mL ion logam  $Co^{2+}$  pada

konsentrasi maksimum hasil penentuan pengaruh konsentrasi dishaker selama waktu maksimum hasil penentuan pengaruh waktu interaksi. Campuran disaring hingga diperoleh filtrat dan residu (I), filtrat kemudian diukur kadar ion logam  $Co^{2+}$  yang tersisa dalam larutan dengan Spektrofotometer Serapan Atom. Residu (I) dikeringkan pada temperatur 50°C, kemudian dilakukan desorpsi secara terpisah dengan menggunakan 0,2 g residu (I) dengan air demineral, larutan HCl 0,1M, Na-EDTA 0,1M, amonium asetat 0,1M sebanyak 10 mL. Waktu interaksi adalah waktu maksimal hasil dari pengaruh waktu interaksi pada temperatur kamar. Setelah proses interaksi, masing-masing filtrat larutan dianalisis kandungan ion logam  $Co^{2+}$  dengan menggunakan Spektrofotometer Serapan Atom.

### **3. HASIL dan PEMBAHASAN**

#### ***Karakterisasi selulosa dari serbuk gergaji kayu***

Serbuk gergaji kayu hasil ayakan direndam menggunakan metanol secara berulang dengan mengganti larutan metanol yang digunakan sampai larutan rendaman terlihat bening. Penggunaan metanol dalam proses pemisahan serbuk kayu bertujuan melarutkan senyawa-senyawa seperti lemak, karbohidrat, protein dan metabolit sekunder yang tidak diinginkan karena metanol bersifat polar. Residu yang ditinggalkan berupa campuran selulosa dan hemiselulosa (Lenihan, 2009).

Pemisahan selulosa dari hemiselulosa dilakukan dengan merendam kembali residu menggunakan asam klorida selama tiga jam pada berbagai variasi konsentrasi HCl yakni 1%, 3%, 7%, dan 11% (v/v). Selulosa hasil pemisahan dikarakterisasi

dengan spektrofotometer FT-IR dan spektra hasil analisis dibandingkan dengan spektra selulosa standar sebagaimana tersaji pada Gambar 1.

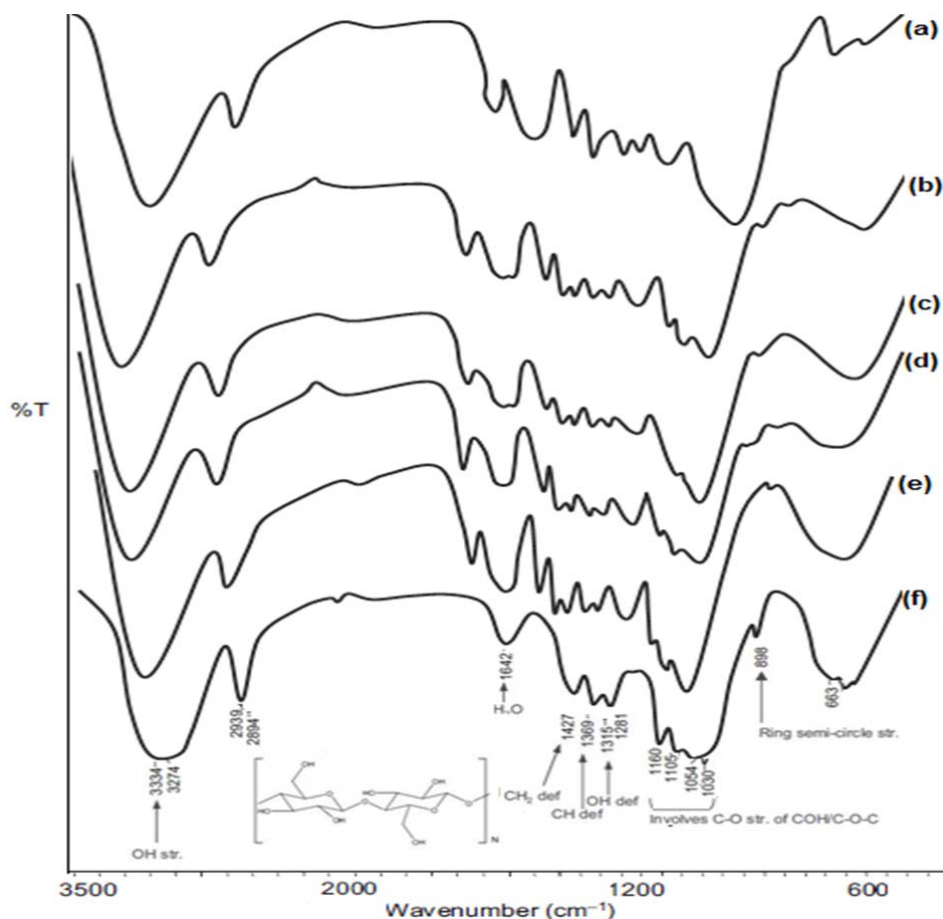
Bilangan gelombang  $3350,7 \text{ cm}^{-1}$ , merupakan vibrasi regangan (*stretching*) dari gugus hidroksil (OH). Bilangan gelombang pada daerah  $2900 \text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi  $\text{-CH}$  dari gugus alkil dari selulosa.

Spektra FT-IR selulosa hasil pemisahan dengan konsentrasi HCl 1%, 3%, 7% dan 11% (v/v) memperlihatkan kemiripan dengan selulosa standar, namun perbedaan yang paling jelas terlihat yakni munculnya absorbansi pada bilangan gelombang  $1734 \text{ cm}^{-1}$  pada semua selulosa

hasil pemisahan sedangkan pada selulosa standar tidak terlihat, absorbansi tersebut merupakan penunjuk khas bagi hemiselulosa. Lebih lengkap beberapa pita serapan khas dari karbohidrat yang berasal dari tanaman tersaji pada tabel 1.

Tabel 1. Pita serapan khas dari karbohidrat yang berasal dari tanaman[8].

Jenis karbohidrat	Bilangan gelombang ( $\text{cm}^{-1}$ )
$\beta$ -D-selulosa	916, 908
Selulosa	1170–1150, 1050, 1030
Lignin	1590, 1510
Hemiselulosa	1732, 1240
Pektin	1680–1600, 1260, 955

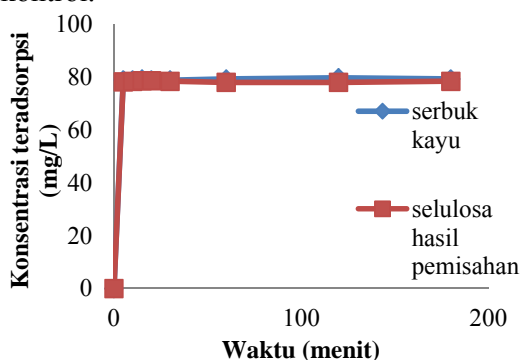


Gambar 1. Spektra FT-IR (a) serbuk gergaji kayu, selulosa hasil pemisahan dengan konsentrasi HCl (b) 1%, (c) 3%, (d) 7%, (e) 11%, dan (f) selulosa standar.

Bilangan gelombang  $1642\text{ cm}^{-1}$  merupakan  $\text{H}_2\text{O}$  dan dimungkinkan juga absorbansi khas dari pektin. Bilangan gelombang  $1427\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan perubahan formasi dari  $\text{CH}_2$  pada struktur monomer selulosa. Diperkuat pula oleh perubahan formasi gugus  $\text{CH}$  pada bilangan gelombang  $1369\text{ cm}^{-1}$  sedangkan perubahan formasi  $\text{OH}$  ditandai dengan regangan pada bilangan gelombang  $1315\text{ cm}^{-1}$  sedangkan regangan  $\text{CO}$  dari  $\text{COH}$  dan atau  $\text{C-O-C}$  ditandai dengan munculnya vibrasi pada bilangan gelombang  $1160\text{--}1030\text{ cm}^{-1}$  dan untuk regangan dari cincin selulosa ditandai dengan vibrasi pada bilangan gelombang  $898\text{ cm}^{-1}$ [9].

### Pengaruh Waktu Interaksi Ion Logam $\text{Co}^{2+}$ dengan Selulosa

Pengaruh waktu adsorpsi terhadap adsorpsi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dilakukan dengan menginteraksikan  $0,1\text{ g}$  adsorben dengan  $10\text{ mL}$  larutan ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dengan memvariasikan waktu adsorpsi mulai dari  $5$  menit sampai dengan  $180$  menit. Waktu kesetimbangan interaksi perlu ditentukan untuk mengetahui interaksi optimum ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada selulosa hasil pemisahan serbuk kayu dan serbuk kayu sebagai kontrol.



**Gambar 2.** Pengaruh waktu interaksi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dengan selulosa hasil pemisahan dan serbuk kayu.

Dari grafik pada gambar 2 terjadinya kesetimbangan ditandai dengan tidak adanya perubahan konsentrasi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dan baik pada permukaan selulosa

dan pada serbuk kayu maupun dalam larutan. Hasil pengamatan pengaruh waktu interaksi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dengan selulosa hasil pemisahan dan serbuk kayu dapat. Kesetimbangan interaksi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dengan serbuk kayu pada menit ke  $60$  untuk interaksi antara ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dengan serbuk kayu. Sedangkan pada interaksi antara selulosa hasil pemisahan dengan ion logam  $\text{Co}^{2+}$  menunjukkan kesetimbangan interaksi terjadi pada menit ke  $30$ . Konstanta laju adsorpsi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada selulosa hasil pemisahan dan serbuk kayu sebagai mana tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Data konstanta laju adsorpsi ion logam  $\text{Co}^{2+}$ .

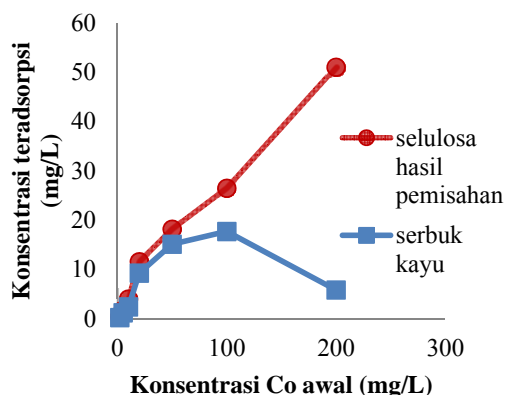
Adsorben	Konstanta laju
Selulosa hasil pemisahan	0,0002
Serbuk kayu	0,0004

Pada Tabel 2 terlihat bahwa konstanta laju adsorben pada ion logam  $\text{Co}^{2+}$  lebih besar pada selulosa hasil pemisahan dibandingkan dengan serbuk kayu. Hal ini dimungkinkan karena selulosa dan serbuk kayu masih memiliki gugus fungsional yang masih beragam dan kompleks dari berbagai jenis karbohidrat sehingga memiliki reaktifitas yang lebih tinggi.

### Pengaruh Konsentrasi Interaksi Ion Logam $\text{Co}^{2+}$ Dengan Selulosa

Untuk menentukan kapasitas interaksi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada selulosa hasil pemisahan dan serbuk kayu maka dilakukan interaksi antara selulosa hasil pemisahan dan serbuk kayu dengan ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dengan berbagai variasi konsentrasi ion logam terlihat pada Gambar 3. Terlihat bahwa konsentrasi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  terus meningkat sejalan dengan bertambahnya konsentrasi ion logam  $\text{Co}^{2+}$ , hal ini dimungkinkan terjadi karena interaksi gugus aktif adsorben dengan adsorbat dan ketika semua gugus aktif adsorben telah tertutupi oleh adsorbat

maka terjadi penurunan kemampuan pada serbuk kayu.



**Gambar 3.** Pengaruh konsentrasi pada interaksi ion logam  $Co^{2+}$  dengan selulosa hasil ekstraksi dan serbuk gergaji kayu.

Namun pada interaksi adsorbat dengan selulosa konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi masih terus meningkat sejalan dengan beratambahnya konsentrasi  $Co^{2+}$  hal ini diduga karena terjadinya adsorpsi *multilayer*  $Co^{2+}$  pada selulosa yang kaya dengan gugus  $-OH$  dan dalam hal ini interaksi keduanya berbeda dengan kaidah interaksi asam basa keras lunak yang dikemukakan oleh Pearson (1968) dimana  $Co^{2+}$  diklasifikasikan ke dalam asam madya sedangkan  $OH$  adalah basa keras [10].

Tabel 3. Data kapasitas adsorpsi, konstanta kesetimbangan adsorpsi dan energi adsorpsi ion logam  $Co^{2+}$  pada selulosa hasil pemisahan dan serbuk gergaji kayu.

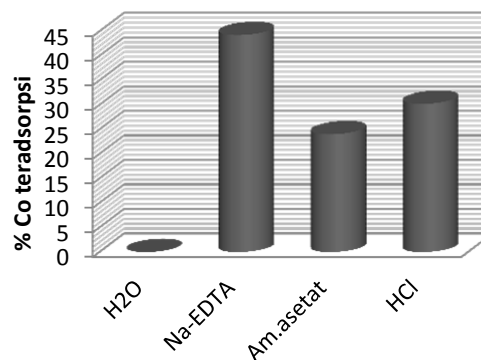
Adsorben	Parameter		Energi (kJ/mol)
	b (mol/g)	K	
Selulosa hasil pemisahan	$0,55 \cdot 10^{-4}$	310463,2	31,54
Serbuk gergaji kayu	$0,09 \cdot 10^{-4}$	250293,3	31,00

Kapasitas adsorpsi dan konstanta kesetimbangan adsorpsi  $Co^{2+}$  pada selulosa dan serbuk gergaji kayu dapat ditentukan dari persamaan slope dan intersept menggunakan data interaksi ion logam dengan selulosa pada berbagai konsentrasi ion logam. Energi total adsorpsi per mol dapat dihitung dari harga konstanta kesetimbangan adsorpsi, selengkapnya tersaji pada Tabel 3.

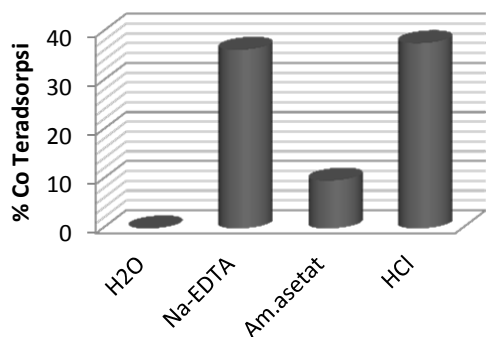
Pada Tabel 3 terlihat bahwa ion logam  $Co^{2+}$  memiliki energi yang rendah untuk selulosa hasil pemisahan yakni 31,54 kJ/mol. dibandingkan dengan interaksi ion logam  $Co^{2+}$  dengan serbuk kayu. Untuk kapasitas adsorpsi antara selulosa hasil pemisahan dengan serbuk kayu pada ion logam  $Co^{2+}$  terlihat bahwa selulosa hasil pemisahan memiliki kapasitas adsorpsi yang lebih besar dibandingkan dengan serbuk kayu.

### Penentuan Jenis Interaksi Melalui Studi Desorpsi

Proses desorpsi dilakukan secara terpisah dengan menggunakan reagen pendesorpsi yakni  $H_2O$ , Na-EDTA, Amonium asetat dan HCl. Air digunakan sebagai pendesorpsi yang mampu melepas ion logam yang terjebak dalam material selulosa hasil pemisahan, sehingga mekanisme yang terjadi ialah mekanisme penjenjaban. Reagen pendesorpsi HCl akan membuktikan terjadinya reaksi asam basa.



**Gambar 4.** Desorpsi ion logam  $Co^{2+}$  pada adsorben selulosa



**Gambar 5.** Desorpsi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada adsorben serbuk kayu

Reagen pendesorpsi amonium asetat digunakan untuk membuktikan adanya mekanisme pertukaran ion logam dalam proses adsorpsi karena amonium merupakan penukar kation yang kuat untuk berbagai ion logam. Sedangkan larutan Na-EDTA digunakan sebagai zat pendesorpsi dikarenakan EDTA merupakan ligan yang sangat kuat sehingga dapat membentuk kompleks.

Desorpsi terpisah ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada selulosa dan serbuk gergaji kayu yang tersaji pada Gambar 4 dan 5 memperlihatkan bahwa reagen pendesorpsi EDTA dan HCl menghasilkan persentase terdesorpsi lebih besar dibandingkan reagen lainnya pada selulosa hasil pemisahan dan serbuk gergaji kayu. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme adsorpsi pada ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada keduanya didominasi oleh mekanisme pembentukan kompleks karena interaksi menghasilkan ikatan yang kuat antara ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dan adsorben selulosa hasil pemisahan dan serbuk gergaji kayu.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan bahwa pemisahan selulosa dari serbuk gergaji kayu menggunakan HCl pada konsentrasi 1-11% (v/v) menghasilkan selulosa yang masih

mengandung hemiselulosa dan pektin. Energi adsorpsi ion logam  $\text{Co}^{2+}$  pada selulosa hasil pemisahan dan serbuk gergaji kayu yakni sebesar 31,540 kJ/mol dan 31,00 kJ/mol. Interaksi adsorpsi yang terjadi pada ion logam  $\text{Co}^{2+}$  dengan adsorben selulosa hasil pemisahan menunjukkan keterlibatan pembentukan kompleks dengan ikatan kimia yang kuat.

#### 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dikti untuk pendanaan penelitian ini melalui Hibah Penelitian Fundamental melalui dana desentralisasi DP2M Dikti tahun 2013, serta kepada rekan sejawat dan mahasiswa yang terlibat dalam proyek penelitian ini.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Klemm, D., Schmauder, H.P., Heinze, T. Cellulose. (Eds), Polysaccharides II. *J. Poly. Eukaryot.*, 2002 (6). 275-320.
- [2] Crini, G. Recent development in polysaccharide based materials used as adsorbents in wastewater treatment. *J. Prog. in Poly. Sci.* 2005, 30 (1),30-70.
- [3] Mohadi, R., Hidayati, N., Rageltha, M. Synthesis and characterization of composite Fe-chitosan and its application for wastewater treatment. *proceeding of 1st international conference on advances in wastewater treatment and reuse, Tehran. Iran.* 2009.
- [4] Mitani, T., Yamashita, T., Okumura, C and Ishii, H. Effect of counter ion ( $\text{SO}_4^{2-}$  and  $\text{Cl}^-$ ) on the adsorption of copper and nickel ions by swollen chitosan beads. *J. Agric. Biol. Chem.*, 1995. (55) 2419-2426.
- [5] Munaf, E and Zein, R. The use of rice husk for removal of toxic metal

- from waste water. *J. Envi. Tec.* 1997(16) 1-4.
- [6] Mohadi, R., Hidayati, N., Melany, R.G., Preparasi dan karakterisasi kompleks kitosan hidrogel-tembaga(II), *J. Ilmia Kimia "Molekul"*. 2007. 1(6) 35-43.
- [7] Lenihan.P. Dilute acid hidrolisis of lignocellulosic biomass, *J. Chem. Eng.* 2009 (156) 359-403.
- [8] Stuart, B. *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and applications.* John Wiley & Sons, Ltd. 2004.
- [9] Zugenmaier, P. *Crystalline cellulose and derivatives.* Springer-Verlag. 2008.
- [10] Huheey, J.E, Keitler, E.A, and Keitler, R.L. *Inorganic Chemistry,* Fourth edition, Harper Collins Collage Publisher, New York. 1993.