



Peran Adsorben Selulosa Tongkol Jagung (*Zea mays*) dengan Polivinil Alkohol (PVA) untuk Penyerapan Ion Logam Timbal (Pb^{2+})

Dewi Martina^a, Rum Hastuti^{a*}, Didik Setiyo Widodo^a

^a Analytical Chemistry Laboratory, Chemistry Department, Faculty of Sciences and Mathematics, Diponegoro University, Jalan Prof. Soedarto, Tembalang, Semarang

* Corresponding author: rum.hastuti@live.undip.ac.id

Article Info

Keywords:
corn cobs, PVA,
adsorben, and lead
metal

Kata Kunci:
tongkol jagung,
PVA, adsorben, dan
logam timbal

Abstract

The preparation of corncob cellulose adsorbent (*Zea mays*) with polyvinyl alcohol (PVA) for the absorption of lead metal ions (Pb^{2+}) has been performed. This research aims to make and characterize corncob (TJ) and corncob-PVA (TJ-PVA) adsorbents and determine the adsorbent's ability to absorb Pb^{2+} metal. The stages of this research included the preparation, characterization of TJ and TJ-PVA adsorbents as well as the determination of Pb^{2+} ion absorbing capacity on 10–150 min contact time variation, 5–20 ppm concentration, and pH 1–6. Characterization with FTIR indicates the presence of a major cellulose group ie OH. GSA results showed a surface increase of 21.57%, a mean pore diameter decrease of 68% and a total pore volume decrease of 60.30%. The best adsorption of Pb^{2+} by TJ adsorbent was obtained at contact time 90 min, concentration 5.79 ppm with Pb^{2+} adsorbed equal to 83.37%, and pH 5. While for TJ-PVA adsorbent, the best adsorption occurred at contact time 60 minutes, concentration 5.79 ppm with Pb^{2+} adsorbed of 66,88%, and pH 5. It can be concluded that TJ-PVA adsorbents can be used as metal ion adsorbents.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang peran adsorben selulosa tongkol jagung (*Zea mays*) dengan polivinil alkohol (PVA) untuk penyerapan ion logam timbal (Pb^{2+}). Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengkarakterisasi adsorben tongkol jagung (TJ) dan tongkol jagung-PVA (TJ-PVA) serta menentukan kemampuan adsorben terhadap penyerapan logam Pb^{2+} . Tahapan penelitian ini meliputi pembuatan, karakterisasi adsorben TJ dan TJ-PVA serta penentuan kemampuan menyerapan ion Pb^{2+} pada variasi waktu kontak 10–150 menit, konsentrasi 5–20 ppm, dan pH 1–6. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan adanya gugus utama selulosa yaitu OH. Hasil GSA menunjukkan adanya kenaikan luas permukaan sebesar 21,57%, penurunan diameter pori rata-rata sebesar 68% dan penurunan volume pori total sebesar 60,30%. Adsorpsi Pb^{2+} terbaik oleh adsorben TJ diperoleh pada waktu kontak 90 menit, konsentrasi 5,79 ppm dengan Pb^{2+} teradsorpsi sebesar 83,37%, dan pH 5. Sedangkan untuk adsorben TJ-PVA, adsorpsi terbaik terjadi pada waktu kontak 60 menit, konsentrasi 5,79 ppm dengan Pb^{2+} teradsorpsi 66,88%, dan pH 5. Dapat disimpulkan bahwa adsorben TJ-PVA dapat digunakan sebagai adsorben ion logam.

1. Pendahuluan

Air limbah dari perindustrian dan pertambangan merupakan sumber utama polutan logam berat. Logam berat dapat membahayakan bagi kesehatan manusia jika

konsentrasi melebihi ambang batas yang diijinkan [1]. Timbal (Pb^{2+}) termasuk logam berat karena memiliki massa jenis sekurang-kurangnya lima kali massa jenis air. Massa jenis timbal adalah 11,34 g/cm³ [2]. Pemakaian

timbangan dalam kehidupan manusia cukup luas, meliputi pembuatan kabel telepon, digunakan dalam baterai, pewarnaan cat, dan sebagai bahan *additive* untuk bahan bakar kendaraan. Dampak negatif yang dapat ditimbulkan oleh Pb bagi kesehatan manusia adalah menghambat sintesis hemoglobin dan memperpendek umur sel darah merah sehingga menyebabkan anemia, anak yang terpapar Pb akan mengalami degradasi kecerdasan atau idiot, pada orang dewasa Pb mengurangi kesuburan, bahkan menyebabkan kemandulan atau keguguran pada wanita hamil [3].

Pencegahan terhadap yang semakin meluas bahaya pencemaran Pb dapat diupayakan melalui pengurangan atau reduksi kadar Pb di perairan. Perkembangan teknologi *recovery* logam berat terkini diarahkan untuk memanfaatkan bahan baku yang berpotensi sebagai limbah di lingkungan melalui teknik adsorpsi. Adsorpsi merupakan fenomena yang melibatkan interaksi fisik, kimia dan gaya elektrostatik antara adsorbat dengan adsorben pada permukaan adsorben. Gaya tarik-menarik suatu padatan dibedakan menjadi dua jenis gaya yaitu gaya fisika dan gaya kimia yang masing-masing menghasilkan adsorpsi fisika (*physisorption*) dan adsorpsi kimia (*chemisorption*). Adsorpsi memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan metode lainnya, diantaranya memerlukan biaya yang relatif murah, proses relatif sederhana, efektivitas dan efisiensi tinggi dan adsorben dapat dipergunakan ulang (*regenerasi*) [4, 5].

Penelitian-penelitian tentang studi adsorpsi logam dengan menggunakan adsorben telah banyak dilakukan. Fatma [6] telah meneliti sabut kelapa untuk penyerapan ion logam kadmium. Abia dan Abia dan Asuquo [7] meneliti serat buah kelapa sawit sebagai adsorben ion logam Cd(II) dan Cr(III). Fatoni *dkk.* [8] meneliti jerami padi sebagai adsorben logam kadmium.

Beberapa contoh hasil penelitian di atas, adsorben yang digunakan merupakan limbah hasil pertanian atau perkebunan yang mengandung selulosa. Sebagai limbah hasil pertanian tongkol jagung menurut Irawadi [9] mempunyai selulosa (40-60%), hemiselulosa (20-30%), dan lignin (15-30%). Tingginya persentase selulosa yang mengandung gugus hidroksil (OH) pada tongkol jagung yang belum banyak dimanfaatkan, dapat dipakai sebagai alternatif bahan baku pembuatan adsorben.

Polivinil Alkohol (PVA) merupakan material yang larut dalam air banyak berisi sejumlah golongan hidroksil. PVA secara luas dapat diaplikasikan karena banyak keuntungannya seperti murah harganya, tidak beracun, mudah didegradasi, daya tahan tinggi, dan stabilitas kimia baik [10].

Berdasarkan uraian di atas, pemanfaatan tongkol jagung sebagai adsorben dengan penambahan PVA diharapkan dapat meningkatkan karakteristik adsorben dalam kemampuan adsorpsi, permukaan pori-pori, dan efektifitas adsorpsi untuk mengatasi ion logam berat timbal (Pb^{2+}) dalam limbah cair industri logam.

Penelitian ini bertujuan untuk membuat dan mengkarakterisasi adsorben tongkol jagung (TJ) dan

adsorben tongkol jagung dengan polivinilalkohol (TJ-PVA), serta Menentukan kemampuan adsorben terhadap penyerapan logam timbal.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan gelas, timbangan elektrik, magnetik stirrer, oven, ayakan 150 mesh, AAS, FTIR, dan BET. Tongkol jagung, polivinil alkohol, aquademineral, HCl, dan air limbah artifisial.

Pembuatan Adsorben Tongkol Jagung

Proses pembuatan adsorben tongkol jagung diawali dengan pemilihan tongkol jagung yang baik atau tidak busuk, kemudian dilakukan pencucian dengan akuades, dikeringkan dengan cara dijemur. Setelah tongkol jagung kering kemudian dipotong kecil-kecil dan digiling atau dihancurkan. Tongkol jagung yang telah hancur lalu diayak dengan ayakan berukuran 150 mesh hingga diperoleh serbuk tongkol jagung yang kemudian dilakukan karakterisasi dengan FTIR dan BET.

Pembuatan Adsorben Tongkol Jagung-Polivinil Alkohol

Serbuk Polivinil alkohol ditimbang $\pm 1,00$ gram. Ditambahkan HCl 0,1 M, dipanaskan pada suhu $60^{\circ}C$ disertai pengadukan hingga terbentuk gel. Setelah gel terbentuk adsorben tongkol jagung dimasukkan $\pm 0,5$ gram secara bertahap hingga terbentuk suatu pasta yang homogen. Pasta dikeringkan pada suhu $105^{\circ}C$ untuk menghilangkan airnya hingga diperoleh campuran yang bebas air berbentuk serbuk dan siap untuk dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR dan BET.

Optimasi Penyerapan Logam Berat Pb^{2+} Oleh Adsorben: Optimasi

Penyerapan dilakukan pada kedua adsorben dengan berat TJ = 0,5 gram dan TJ-PVA = 1,5 gram.

Waktu Kontak

Adsorben dengan berat yang telah ditentukan ditambahkan 50 mL larutan logam Pb^{2+} dengan konsentrasi 15 ppm. Diaduk kembali dengan variasi waktu 10-120 menit dengan interval 30 menit, kemudian disaring dan filtrat dianalisis dengan AAS.

Konsentrasi

Adsorben dengan berat yang telah ditentukan ditambahkan 50 mL larutan logam Pb^{2+} dengan konsentrasi yang divariasikan yaitu 5, 10, 15, dan 20 ppm dan diaduk dengan waktu terbaik, kemudian disaring dan filtrat dianalisis dengan AAS.

pH

Adsorben dengan berat yang telah ditentukan ditambahkan 50 mL larutan logam Pb^{2+} dengan variasi pH 1,2,3,4,5 dan 6 diaduk pada waktu dan konsentrasi terbaik, kemudian disaring dan filtrat dianalisis dengan AAS.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembuatan Adsorben Tongkol Jagung

Tongkol jagung yang telah dikeringkan dan dihancurkan kemudian di ayak dengan menggunakan ayakan berukuran 150 mesh. Ukuran tersebut dipilih karena berdasarkan teori semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin besar luas permukaan padatan persatuan volume tertentu, sehingga akan semakin banyak zat yang diadsorpsi [11]. Langkah selanjutnya adalah penentuan kadar air dan selulosa seperti terlihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 1: Pengukuran kadar selulosa dan air pada tongkol jagung

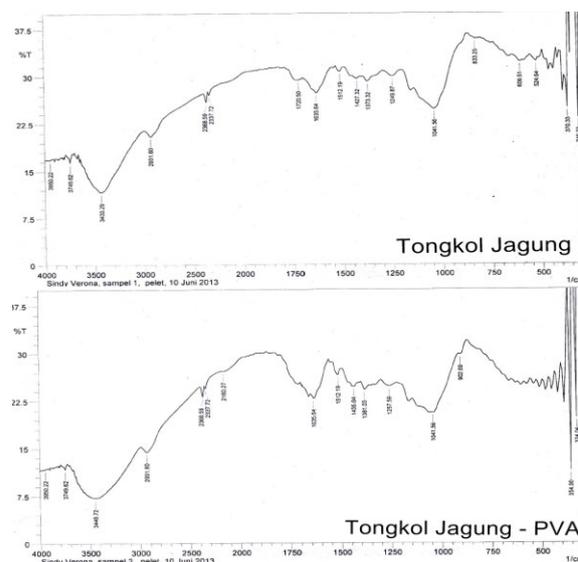
No	Parameter Uji	Hasil Uji (%)
1	Selulosa	37,38
2	Air	6,06

Kadar selulosa yang diperoleh berdasarkan pengujian yaitu sebesar 37,38 % sedangkan menurut Irawadi [9] kandungan selulosa pada jagung adalah sebesar 40-60% dan menurut Lorenz dan Kulp [12] sebesar 41%, hasil yang diperoleh dari pengujian lebih rendah jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, perbedaan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor diantaranya adalah perbedaan jenis jagung, keadaan tanah, faktor cuaca, dan lingkungan. Kadar air yang diperoleh yaitu sebesar 6,06 %, kadar air ini lebih rendah jika dibandingkan menurut Lorenz dan Kulp [12] yaitu kadar air tongkol jagung sebesar 9,60 %. Nilai ini menunjukkan bahwa kandungan air didalam tongkol jagung sudah sangat rendah sehingga adsorben menjadi lebih baik. Kadar air yang terdapat dalam adsorben TJ dipengaruhi oleh jumlah uap air di udara, lamanya proses penjemuran, penggilingan, dan pengayakan. Tempat penyimpanan yang kering dan terlindungi dari kontak udara langsung dapat menghindari penggumpalan dan menjaga kelembaban adsorben, sehingga jamur tidak dapat tumbuh karena akan berpengaruh pada penurunan mutu adsorben.

Adsorben TJ yang telah ditentukan kadar air dan selulosanya kemudian diberi perlakuan tambahan yaitu dengan menambahkan HCl dan PVA. PVA berfungsi sebagai perekat dan penambah gugus OH sehingga kemampuan serapnya akan semakin besar. Sedangkan HCl berfungsi sebagai katalis untuk menyatukan tongkol jagung dan PVA agar terbentuk suatu pasta yang homogen. Berdasarkan perlakuan diatas maka dilakukan penentuan gugus aktif dalam tongkol jagung yang diberi perlakuan maupun yang tanpa perlakuan dengan menggunakan alat FTIR dan BET.

Karakterisasi Adsorben Tongkol Jagung Menggunakan FTIR

Analisis dengan menggunakan Fourier Transformed Infra Red (FTIR) atau yang lebih dikenal sebagai spektroskopi inframerah bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi yang terdapat pada adsorben TJ dan TJ-PVA. Hasil analisis dari adsorben TJ dan TJ-PVA terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Spektra FTIR Adsorben TJ dan TJ- PVA

Spektrum inframerah selulosa dicirikan oleh serapan pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm^{-1} (ulur O-H), $2800\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$ (ulur C-H), $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ (ulur C-O) dan 897 cm^{-1} (ikatan β -glukosida) [13].

Hasil yang diperoleh pada spektra FTIR tersebut menunjukkan bahwa penambahan PVA kedalam tongkol jagung tidak menunjukkan adanya pergeseran bilangan gelombang. Hal ini dikarenakan PVA mempunyai gugus yang sama dengan selulosa yaitu gugus OH sehingga tidak terlihat adanya perubahan bilangan gelombang. Namun terjadi perubahan pada % transmittansi yang berhubungan dengan absorbansi. Hubungan antara absorbansi dan transmittansi dapat digambarkan dengan persamaan $A = \log 1/T$, dimana A sebanding dengan C. Berdasarkan spektra di atas, terlihat bahwa %T pada TJ-PVA lebih rendah yaitu sekitar 7,5% sedangkan pada TJ sekitar 11%. Hal ini menunjukkan bahwa absorbansi pada adsorben TJ-PVA lebih besar jika dibandingkan dengan tongkol TJ. Ini menunjukkan bahwa jumlah gugus OH lebih banyak karena penambahan PVA yang dapat memperbaiki kualitas adsorben tongkol jagung.

Karakterisasi Adsorben Tongkol Jagung Menggunakan BET

Analisis dengan menggunakan Brunauer, Emmett dan Teller (BET) bertujuan mengetahui luas permukaan adsorben TJ dan TJ-PVA. Hasil analisis dengan menggunakan BET dapat dilihat pada tabel 2.

Berdasarkan data pada tabel 2 terlihat pada adsorben TJ-PVA mengalami kenaikan luas permukaan sebesar 21,57%. Kenaikan luas permukaan karena penambahan gugus OH dari PVA, sehingga kemampuan adsorpsinya akan semakin besar dalam menyerap ion logam. Rata-rata pori dan total volume pori mengalami penurunan yaitu sebesar 68% dan 60,30%. Hal ini terjadi karena adanya penambahan PVA. PVA selain dapat berperan sebagai adsorben karena menambah jumlah gugus OH dapat juga berperan sebagai perekat sehingga menutupi sebagian pori-pori.

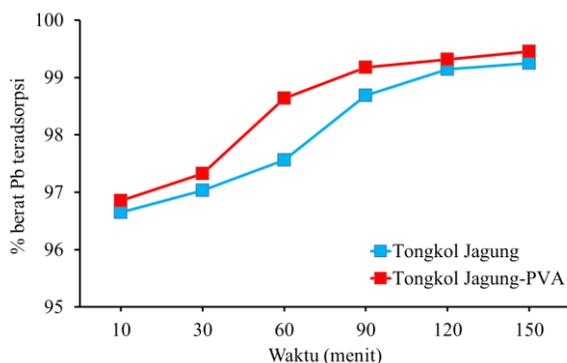
Tabel 2: Perbedaan luas permukaan, ukuran pori rata-rata dan total volume pori yang ada pada hasil analisis BET adsorben tongkol jagung

Hasil	Tongkol Jagung	
	Tanpa penambahan PVA	Penambahan PVA
Luas permukaan (m ² /g)	2,764	3,524
Rata-rata pori (nm)	25,8189	8,03739
Total volume pori (cc/g)	1,784 x 10 ⁻²	7,082 x 10 ⁻³

Optimasi Penyerapan Ion Logam Berat Timbal (Pb²⁺) Oleh Adsorben Tongkol Jagung dan Tongkol Jagung-PVA

Adsorpsi Ion Pb²⁺ Pada Pengaruh Waktu Kontak

Kondisi terbaik untuk waktu kontak dilakukan pada variasi waktu antara 10 sampai 150 menit dengan selang waktu 30 menit agar diperoleh waktu terbaik untuk penyerapan logam Pb²⁺. Menurut Khopkar [14] waktu kontak antara ion logam dengan adsorben sangat mempengaruhi kemampuan serap. Semakin lama waktu kontak maka penyerapan juga akan meningkat sampai pada waktu tertentu akan mencapai maksimum dan setelah itu akan turun kembali. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion logam Pb²⁺ oleh adsorben TJ dan TJ-PVA dilihat pada gambar 2.



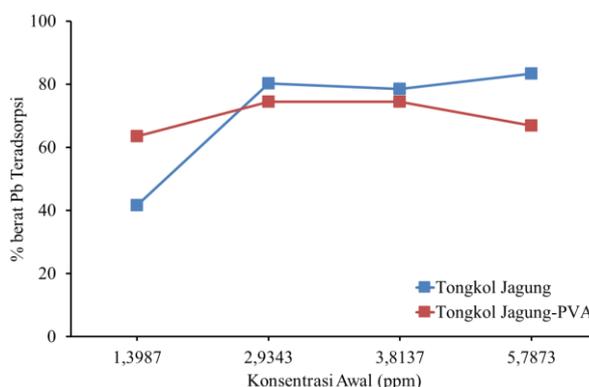
Gambar 2. Grafik Waktu

Gambar 2 merupakan grafik hubungan antara waktu dengan % berat Pb teradsorpsi. Adsorpsi ion logam Pb²⁺ oleh adsorben TJ-PVA mengalami penyerapan terbaik pada waktu 60 menit. Penyerapan diatas 90-150 menit terjadi kenaikan yang tidak signifikan. Sedangkan untuk adsorben TJ waktu terbaik yang diperoleh yaitu pada waktu 90 menit, setelah itu mengalami kenaikan yang tidak signifikan. Waktu kontak antara adsorben dan adsorbat yang melebihi waktu terbaik dapat menyebabkan desorpsi. Desorpsi merupakan pelepasan adsorbat dari permukaan adsorben. Fenomena ini terjadi akibat jenuhnya permukaan adsorben, sehingga molekul adsorbat yang telah terjerap kembali kedalam larutan [11].

Waktu adsorpsi terbaik untuk adsorben TJ-PVA lebih singkat jika dibandingkan dengan adsorben TJ. Waktu

adsorpsi yang lebih singkat menunjukkan penyerapan yang terjadi lebih cepat, ini disebabkan karena gugus aktif OH pada tongkol jagung dan PVA saling berikatan dengan logam Pb sehingga dapat melakukan adsorpsi lebih cepat, faktor lain yang mempengaruhi adalah luas permukaan. Luas permukaan dapat mempengaruhi banyaknya logam yang terserap dikarenakan semakin luas permukaan adsorben, berarti semakin banyak logam yang akan diserap hal ini sesuai dengan hasil analisis BET pada tabel VI.2 yaitu luas permukaan mengalami kenaikan sebesar 21,57%.

Adsorpsi Ion Pb²⁺ Pada Pengaruh Variasi Konsentrasi Adsorpsi ion logam Pb²⁺ pada variasi konsentrasi dilakukan pada kondisi waktu kontak terbaik, yaitu pada waktu 90 menit untuk adsorben TJ dan 60 menit untuk adsorben TJ-PVA. Semakin besar konsentrasi larutan logam Pb²⁺ maka kemampuan dari adsorben TJ dan TJ-PVA juga semakin meningkat.

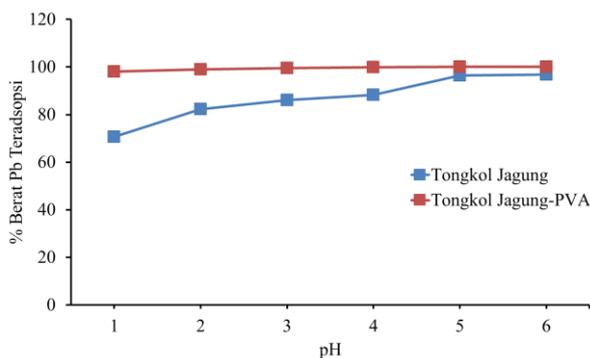


Gambar 3. Grafik Konsentrasi

Terlihat pada gambar 3, % berat Pb teradsorpsi cenderung terus naik yaitu sebesar 83,37% dan 66,88% untuk TJ dan TJ-PVA namun Adsorben TJ-PVA memiliki % berat lebih kecil disebabkan karena adanya sifat perekat pada PVA. Kecenderungan yang semakin naik ini karena semakin besar konsentrasi larutan logam, akan semakin banyak molekul ion logam yang berinteraksi dengan adsorben. Pada penelitian ini, konsentrasi 5,7873 ppm belum dapat dikatakan sebagai konsentrasi terbaik, karena adsorpsi yang lebih besar masih mungkin diperoleh pada konsentrasi yang lebih tinggi. Hal ini diperkuat dengan hasil penelitian Rajawane [15] yang menyebutkan bahwa adsorpsi Pb²⁺ oleh kulit buah kakao yang masih terus meningkat seiring dengan bertambahnya konsentrasi logam sampai 35 ppm.

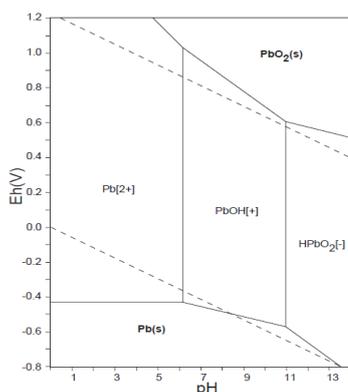
Adsorpsi Ion Pb²⁺ pada pengaruh variasi pH

Pengaruh pH tanpa penambahan PVA dan dengan penambahan PVA dapat di lihat pada gambar VI.4



Gambar 4. Grafik pH

Gambar 4 merupakan grafik hubungan antara pH dan % berat Pb teradsorpsi. Adsorben TJ dan TJ-PVA kondisi terbaik terjadi pada pH 5. Pada pH di atas 5 jumlah ion OH⁻ semakin banyak sehingga terjadi ikatan antara Pb²⁺ dengan OH⁻. Hasil kali kelarutan Pb(OH)₂ yaitu 3 x 10⁻¹⁶ dan diperkirakan Pb²⁺ selain membentuk endapan Pb(OH)₂ membentuk kompleks di dalam larutan sisa seperti terlihat pada grafik spesiasi logam Pb²⁺ pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Spesiasi Logam Pb²⁺

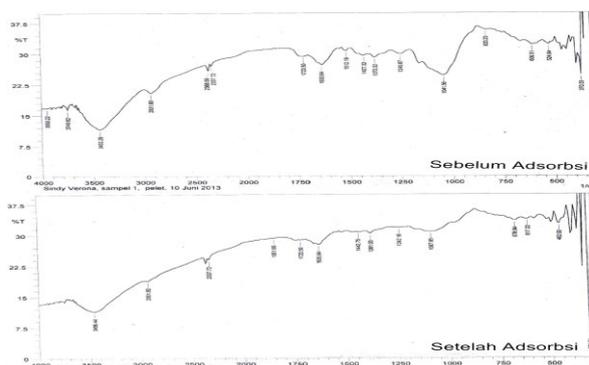
Penentuan pH terbaik dilakukan pada pH 1-6. Variasi ini dilakukan karena penyerapan logam Pb terjadi lebih baik pada kondisi asam dan akan terjadi pengendapan pada kondisi basa [16]. Dengan terjadinya pengendapan maka efisiensi adsorpsi akan berkurang, karena yang diperoleh bukan hanya karena terjadinya pengikatan ion Pb²⁺ oleh adsorben, akan tetapi juga karena terbentuknya endapan Pb(OH)₂ yang menyebabkan kandungan Pb²⁺ dalam filtrat berkurang.

Adsorpsi Pb²⁺ dengan menggunakan adsorben TJ-PVA dapat menyerap logam lebih banyak dibandingkan dengan adsorben TJ. Hal ini dipengaruhi oleh bertambahnya gugus OH yang ada pada adsorben TJ-PVA sehingga dapat menyerap ion logam Pb²⁺ lebih banyak, disamping itu luas permukaan juga sangat mempengaruhi proses adsorpsi karena semakin luas permukaan adsorben maka semakin banyak logam yang akan diserap.

Hasil pada gambar 4 diperoleh dari adsorben TJ-PVA memiliki kemampuan serap logam Pb²⁺ yang lebih baik jika dibandingkan dengan adsorben TJ. Hal ini dapat disebabkan karena adsorben TJ-PVA memiliki gugus

yang bermuatan negatif lebih banyak sehingga logam yang bermuatan positif dapat berinteraksi dengan adsorben. Interaksi elektrostatis antara ion logam dengan adsorben tongkol jagung kemungkinan berupa adsorpsi fisika karena adanya gaya Van der Waals.

Karakterisasi adsorben TJ-PVA setelah menyerap logam Pb dengan FTIR tidak terjadi perubahan spektra yang ditunjukkan tidak adanya pergeseran bilangan gelombang. Hal ini menunjukkan adsorpsi yang terjadi antar tongkol jagung dengan ion logam Pb²⁺ adalah adsorpsi fisik, dimana ion logam hanya terperangkap pada permukaan atau pori-pori tongkol jagung dan tidak membentuk ikatan baru. Berikut merupakan spektra FTIR tongkol jagung setelah mengadsorpsi logam Pb²⁺



Gambar 6. Spektra FTIR sebelum dan sesudah mengadsorpsi logam Pb²⁺

4. Kesimpulan

Adsorben TJ dan TJ-PVA telah berhasil dibuat berbentuk pasta. Karakterisasi menggunakan BET mengalami kenaikan luas permukaan sebesar 21,57%, penurunan rata-rata pori sebesar 68% dan penurunan total volume pori sebesar 60,30%. Kemampuan adsorben TJ dan TJ-PVA terhadap penyerapan logam Pb pada waktu kontak 90 dan 60 menit, konsentrasi diperoleh hasil yang sama yaitu 5,7873 ppm dengan % Pb teradsorpsi 83,37% dan 66,88%, sedangkan untuk kondisi pH pada pH 5.

5. Daftar Pustaka

- [1] SY Quek, DAJ Wase, CF Forster, The use of sago waste for the sorption of lead and copper, *Water Sa*, 24, 3, (1998) 251-256
- [2] Arthur Israel Vogel, G. Svehla, Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis, Longman Scientific & Technical, 1987.
- [3] Danny Zulkifli Herman, Tinjauan terhadap tailing mengandung unsur pencemar Arsen (As), Merkuri (Hg), Timbal (Pb), dan Kadmium (Cd) dari sisa pengolahan bijih logam, *Indonesian Journal on Geoscience*, 1, 1, (2006) 31-36
- [4] Wempie Gressangga, Suhartana Suhartana, Parsaoran Siahaan, Studi Kemampuan Adsorpsi Zeolit Alam Terdealuminasi terhadap Senyawa Fenol dan 2-Metoksifenol pada Asap Cair Sekam Padi: Eksperimen dan Komputasi AB Initio, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 14, 3, (2011) 94-99

- [5] Westriani Prambaningrum, Khabibi Khabibi, Muhammad Cholid Djunaidi, Adsorpsi Ion Besi (III) dan Kadmium (II) Menggunakan Gel Kitosan, *Jurnal Kimia Sains dan Aplikasi*, 12, 2, (2009) 47-51
- [6] Fatma Fatma, Studi Pemanfaatan Sabut Kelapa untuk Penyerapan Ion Kadmium dari Limbah Pabrik Pelapis Seng, *Jurnal Penelitian Sains*, 12, (2002)
- [7] A. A. Abia, E. D. Asuquo, Kinetics of Cd²⁺ and Cr³⁺ Sorption from Aqueous Solutions Using Mercaptoacetic Acid Modified and Unmodified Oil Palm Fruit Fibre (*Elaeis guineensis*) Adsorbents, *Tsinghua Science & Technology*, 12, 4, (2007) 485-492 [http://dx.doi.org/10.1016/S1007-0214\(07\)70072-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1007-0214(07)70072-X)
- [8] A Fatoni, N Hindryawati, N Sari, Pengaruh pH Terhadap Adsorpsi Ion Logam Kadmium (II) oleh Adsorben Jerami Padi, *J, Kimia Mulawarman*, 7, 5, (2010) 59-61
- [9] TT Irawadi, Selulase, *PAU-Biotek. Institut Pertanian Bogor. Bogor*, (1990)
- [10] Xiaoli Li, Yanfeng Li, Zhengfang Ye, Preparation of macroporous bead adsorbents based on poly(vinyl alcohol)/chitosan and their adsorption properties for heavy metals from aqueous solution, *Chemical Engineering Journal*, 178, (2011) 60-68 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2011.10.012>
- [11] PW Atkins, Kimia Fisika jilid II. Kartohadiprodo II, penerjemah; Rohhadyan T, editor, in, Oxford: Oxford University Press. Terjemahan dari: Physical Chemistry, 1999.
- [12] Klaus J Lorenz, Karel Kulp, Handbook of cereal science and technology, Marcel Dekker, New York, 1991.
- [13] Robert M Silverstein, G Clayton Bassler, Terence C Morrill, Spectroscopic identification of organic compounds, *Wiley, New York*, (1981) 196
- [14] SM Khopkar, Analitik, Konsep Dasar Kimia, UI Press, Jakarta, 1990.
- [15] Angga Rajawane, Biosorpsi Logam Berat Pb (II) Menggunakan Kulit Buah Kakao, IPB, Bogor
- [16] Santosh Kumar, Leaching behaviour of elements from sub-bituminous coal fly ash, Department Of Mining Engineering, National Institute of Technology Rourkela, Rourkela