



Pengaruh Penambahan PVA-Sulfonasi pada Tongkol Jagung (*Zea Mays*) sebagai Adsorben Ion Logam Pb²⁺

Devika Tesnar Winda^a, Rum Hastuti^{a*}, Abdul Haris^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,
sulfonated-PVA,
adsorben, and lead
metal

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

Abstract

Research on the effect of the addition of sulfonated-PVA on corn cobs (*Zea mays*) as Pb²⁺ metal ion adsorbent has been done. This research aim to get adsorbent corn cobs (A1) and adsorbent-PVA sulfonation corn cobs (A2), to get adsorbent effectiveness data to absorbtion of metal Pb²⁺. Method used at this research is adsorption with variation of contact time (10-150 minutes), concentration of 5-20 ppm, and pH of 1-6 . This research include some steps, preparation and characterization of adsorben A1 and A2 and also application to get effectiveness data. Adsorbent characterization with FTIR showed cellulose primary group such as hydroxyl (OH) and using BET showed the increase of surface area of 13 % decreasing in pore mean to 83 % and total decreasing in pore volume to 81 %. Pb²⁺ adsorption with A2 adsorbent was in best condition at contact time 90 minutes, concentration at 20 ppm with Pb²⁺ adsorbent of 83 % at pH 6. Where as A2 adsorbent was in best condition at contact time of 30 minutes, concentration at 20 ppm with Pb²⁺ adsorbent of 100% at pH 6. It is concluded that the A2 adsorbent can be used as Pb²⁺ metal ion adsorbent.

Abstrak

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan PVA-sulfonasi pada tongkol jagung (*Zea mays*) sebagai adsorben ion logam Pb²⁺. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan adsorben tongkol jagung (A1) maupun adsorben tongkol jagung-PVA sulfonasi (A2) dan mendapatkan data efektivitas adsorben dalam menyerap ion logam Pb²⁺. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah adsorpsi dengan parameter waktu kontak 10-150 menit, konsentrasi 5-20 ppm, dan pH 1-6 . Tahapan penelitian ini meliputi pembuatan dan karakterisasi adsorben A1 dan A2 serta aplikasi untuk mendapatkan data efektivitas adsorben. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan adanya gugus utama selulosa yaitu OH dan BET menunjukkan adanya kenaikan luas permukaan sebesar 13%, penurunan rata-rata pori dan penurunan total volume pori sebesar 83% dan 81%. Adsorpsi Pb²⁺ oleh adsorben A1 kondisi terbaik terjadi pada waktu kontak 90 menit, konsentrasi 20 ppm dengan persentase berat Pb teradsorpsi 83%, dan pH 6. Sedangkan pada adsorben A2 terbaik terjadi pada waktu kontak 30 menit, konsentrasi 20 ppm dengan persentase berat Pb teradsorpsi 100%, dan pH 6. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa adsorben A2 dapat digunakan sebagai adsorben ion logam Pb²⁺.

1. Pendahuluan

Limbah berbagai industri seperti industri pelapisan logam, industri peleburan, industri cat, industri pupuk fosfat, dan industri alloy akan menghasilkan limbah yang

mengandung logam berat seperti Pb yang bersifat toksik tinggi, untuk itu perlu perhatian khusus pada saat pengolahan limbah tersebut sebelum dibuang ke lingkungan. Timbal yang terhirup atau tertelan oleh

manusia dan masuk ke dalam tubuh, akan beredar mengikuti aliran darah dan diserap kembali di dalam ginjal dan otak. Komponen ini beracun terhadap seluruh segi kehidupan. Sifat racunnya dapat merusak sistem saraf, sistem reproduksi, hati, otak, dan mempengaruhi kerja ginjal [1].

Berbagai usaha dilakukan untuk mengatasi pencemaran logam berat ini, di antaranya dengan metode fisiokimia (metode pemisahan campuran) seperti presipitasi kimia, osmosis balik, dan pertukaran ion. Metode lain yang dapat digunakan adalah adsorpsi dengan menggunakan adsorben. Adsorpsi merupakan proses penyerapan yang terjadi pada permukaan suatu padatan (zat lain). Teknologi aplikasi adsorpsi dengan bahan biomaterial telah banyak dikembangkan untuk menurunkan kadar logam berat, salah satunya adalah bahan berserat seperti kulit buah kakao, serbuk kayu jati, dan tongkol jagung. Tongkol jagung yang mengandung selulosa, dapat dinaikkan nilai tambahnya dengan memanfaatkannya sebagai adsorben [2].

Beberapa penelitian telah dilakukan seperti modifikasi selulosa pada tongkol jagung yang mampu menyerap biru metilena dari limbah tekstil dengan kapasitas adsorpsi 518.07 µg/g adsorben telah dilakukan oleh Fahrizal [3]. Penelitian lain dilakukan oleh Sulistyawati [4] yang memodifikasi tongkol jagung dengan larutan asam nitrat dan memanfaatkannya sebagai adsorben logam Pb(II), tongkol jagung sebagai biomaterial untuk dekontaminasi logam beracun air limbah dilakukan oleh Goyal dan Srivastava [5] menggunakan tongkol jagung untuk penyerapan logam Cr³⁺ melalui metode adsorpsi dengan variasi asam, konsentrasi, dan suhu, sedangkan Buasri *dkk.* [6] menggunakan tongkol jagung yang dimodifikasi dengan asam fosfat untuk meningkatkan kapasitas biosorpsi Zn(II) dari air limbah.

Tongkol jagung mengandung selulosa yang dapat digunakan sebagai penyerap karena gugus OH yang terikat dapat berinteraksi dengan komponen adsorbat. Mekanisme jerapan yang terjadi antara gugus OH yang terikat pada permukaan dengan ion logam yang bermuatan positif merupakan mekanisme pertukaran ion. Adsorpsi ion logam oleh bahan-bahan biomaterial dapat ditingkatkan dengan mengolah bahan-bahan tersebut dengan suatu bahan kimia tertentu seperti dengan penambahan PVA-sulfonasi. PVA-sulfonasi merupakan suatu resin penukar ion yang diperoleh dengan mereaksikan larutan PVA dengan asam sulfat 11 M. Dalam PVA tersulfonasi memiliki gugus SO₃H dan akan ditemui ikatan silang (*crosslink*) yang berguna untuk aplikasi pertukaran ion [7].

Berdasarkan uraian di atas adsorben tongkol jagung yang ditambahkan PVA-sulfonasi akan mempunyai gugus reaktif OH, COOH, dan HSO₃. Gugus-gugus tersebut diharapkan dapat meningkatkan kemampuan penyerapan ion logam untuk mengatasi logam timbal dalam limbah cair industri logam.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan adsorben tongkol jagung maupun adsorben tongkol jagung-PVA sulfonasi dan data karakterisasi dengan

FTIR dan BET serta untuk mendapatkan data efektivitas adsorben dalam menyerap ion logam Pb²⁺.

2. Metode Penelitian

Alat & Bahan

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

Pembuatan Adsorben Tongkol Jagung

Pembuatan adsorben tongkol jagung diawali dengan pemilihan tongkol jagung yang berkualitas baik atau tidak busuk, kemudian tongkol jagung tersebut dicuci dengan air bersih dan dikeringkan dengan cara diangin-anginkan. Setelah kering tongkol jagung dipotong kecil-kecil, digiling hingga halus, kemudian diayak hingga berukuran 150 mesh sebagai adsorben A1 dan dikarakterisasi dengan FTIR dan BET.

Penambahan PVA-sulfonasi pada Adsorben Tongkol Jagung

PVA dilarutkan dalam aquades panas. Secara pertetes tambahkan H₂SO₄ 11 M, dipanaskan pada suhu 60°C disertai dengan pengadukan. Setelah itu adsorben serbuk tongkol jagung dimasukkan secara bertahap hingga mengental dan terbentuk pasta sebagai adsorben A2, selanjutnya adsorben A2 tersebut dikeringkan sehingga diperoleh serbuk tongkol jagung-PVA sulfonasi kemudian dikarakterisasi dengan menggunakan FTIR dan BET.

Penentuan Kemampuan Penyerapan Adsorben Terhadap Ion Logam Pb

Adsorben A1 maupun adsorben A2 diaplikasikan untuk penyerapan ion logam Pb dengan variasi waktu kontak, konsentrasi, dan pH.

Waktu kontak

Adsorben selanjutnya ditambahkan 50 ml larutan Pb²⁺ dengan konsentrasi 20 ppm, dan diaduk kembali dengan variasi waktu 10, 30, 60, 90, dan 120 menit. Larutan disaring dan filtrat dianalisis dengan AAS.

Konsentrasi

Adsorben ditambahkan 50 ml larutan Pb²⁺ dengan konsentrasi yang divariasikan yaitu 5, 10, 15, 20 ppm dan diaduk sampai batas waktu serapan terbaik. Larutan disaring dan filtrat dianalisis dengan AAS.

pH

Adsorben ditambahkan 50 ml larutan Pb²⁺ dengan variasi pH 1-6 diaduk sampai batas waktu dan konsentrasi terbaik. Larutan disaring dan filtrat dianalisis dengan AAS.

3. Hasil dan Pembahasan

Pembuatan Adsorben Tongkol Jagung maupun Adsorben Tongkol Jagung-PVAsulfonasi

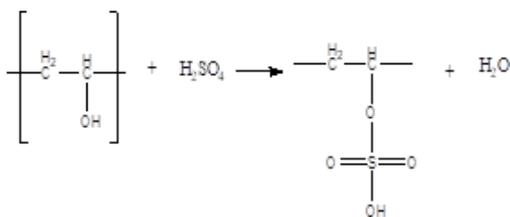
Tongkol jagung yang telah dicuci dengan akuades kemudian dikeringkan dan dijemur agar memudahkan dalam proses pemotongan. Setelah itu tongkol jagung dipotong kecil-kecil dan digiling kemudian serbuk tongkol jagung diayak menggunakan ayakan berukuran 150 mesh. Ukuran 150 mesh dipilih karena berdasarkan teori semakin kecil ukuran partikel maka akan semakin banyak zat yang diadsorpsi [8]. Hasil analisis tersaji pada tabel 1.

Tabel 1: Kadar selulosa dan air pada tongkol jagung

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

Berdasarkan tabel 1 kadar selulosa dan kadar air yang diperoleh lebih kecil dibandingkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Lorenz dan Kulp [9], kadar selulosa pada tongkol jagung dilaporkan sebesar 41 % dan kadar air pada tongkol jagung sebesar 9,60 %. Perbedaan ini disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain keadaan tanah, bibit jagung, faktor lingkungan (cuaca), dan lama penyimpanan.

Tongkol jagung yang telah ditentukan kadar selulosa dan kadar airnya selanjutnya diberi perlakuan tambahan yaitu dengan menambahkan PVA-sulfonasi. Sulfonasi PVA dengan asam sulfat pekat akan menghasilkan suatu resin penukar ion [10]. Penambahan PVA-sulfonasi diharapkan gugus OH yang ada pada adsorben tongkol jagung dapat tergantikan oleh atom S yang mengikat 3 atom O, sehingga dapat meningkatkan muatan negatif total pada adsorben dan dapat mengikat logam Pb lebih banyak. Reaksi PVA yang ditambahkan asam sulfat dapat dilihat pada gambar 1.



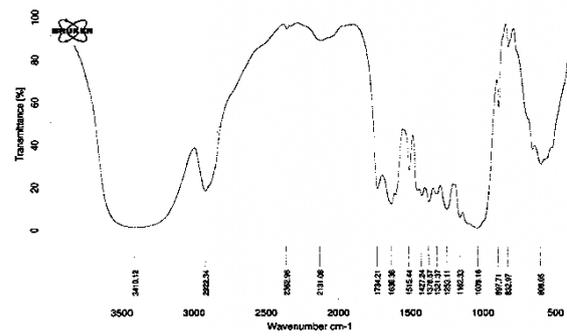
Gambar 1. Reaksi PVA dengan asam sulfat

Gugus SO₃H pada PVA-sulfonasi, berupa ikatan silang yang berperan sebagai penukar ion. Reaksi sulfonasi merupakan suatu reaksi substitusi yang bertujuan untuk mensubstitusi atom H dengan gugus SO₃H pada molekul organik melalui ikatan kimia pada atom karbonnya.

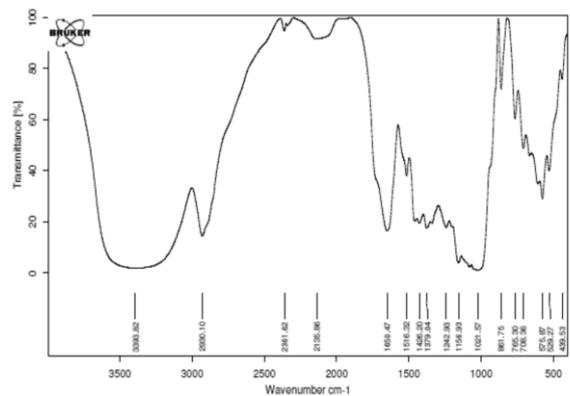
Karakterisasi Adsorben Menggunakan FTIR

Analisis dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) bertujuan untuk menentukan gugus fungsi yang ada pada adsorben tongkol jagung (A1) dan adsorben tongkol jagung-PVAsulfonasi (A2). Hasil analisis spektra FTIR dari

adsorben A1 dan adsorben A2 dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Spektra FTIR adsorben A1



Gambar 3. Spektra FTIR adsorben A2

Dari gambar 2 dan 3 menunjukkan spektrum inframerah oleh serapan pada bilangan gelombang sekitar 3400 cm⁻¹ (ulur O-H), 2800-3000 cm⁻¹ (ulur C-H), 1000-1100 cm⁻¹ (ulur C-O) dan 897 cm⁻¹ (ikatan β-glikosida) selain itu pada gambar 3 terdapat tambahan spektra 1379 cm⁻¹ yang merupakan rentang vibrasi S=O ulur dan vibrasi S-O pada spectra 765 cm⁻¹.

Hasil yang didapat pada spektra FTIR tersebut menunjukkan bahwa penambahan PVA-sulfonasi kedalam adsorben A1 menunjukkan adanya gugus baru yaitu gugus S=O dan gugus S-O yang merupakan gugus sulfonasi yang berperan dalam pertukaran ion.

Karakterisasi Adsorben Menggunakan BET

Analisa dengan BET (*Brunauer, Emmet, Teller*) bertujuan untuk mengetahui luas permukaan, rata-rata pori, dan total volume pori adsorben. Karakterisasi adsorben A1 dan adsorben A2 dengan BET terlihat pada tabel 2.

Tabel 2: Hasil analisis BET

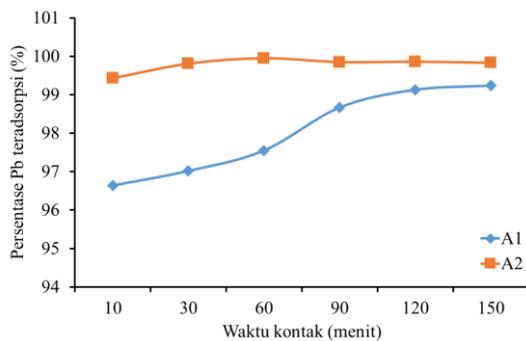
Hasil	Adsorben	
	A1	A2
Luas permukaan (m ² /g)	2,764	3,177
Rata-rata pori (nm)	258,189	42,5132
Total volume pori (cc/g)	1,784.10 ⁻²	3,377.10 ⁻³

Dari hasil analisis BET adsorben A1 dan adsorben A2 memiliki perbedaan nilai ukuran rata-rata pori, luas permukaan dan total volume pori. Adsorben A1

menghasilkan luas permukaan sebesar 2,764 m²/g sedangkan luas permukaan adsorben A2 menghasilkan luas permukaan sebesar 3,177 m²/g, dengan kenaikan luas permukaan sebesar 13%. PVA-sulfonasi berperan dalam meningkatkan gugus OH dan gugus SO₃H yang menyebabkan luas permukaan adsorben dengan penambahan PVA-sulfonasi lebih besar. Rata – rata pori adsorben dan total volume pori adsorben A1 lebih besar daripada adsorben A2 karena PVA-sulfonasi bersifat sebagai perekat yang melekat pada adsorben tongkol jagung, sehingga menyebabkan sebagian pori-pori pada adsorben A2 akan tertutupi oleh PVA-sulfonasi. Hal ini menyebabkan rata-rata pori dan total volume pori menjadi lebih kecil.

Penentuan Kemampuan Penyerapan Ion Logam Pb²⁺ pada Pengaruh Waktu Kontak

Variasi waktu kontak dilakukan antara 10 sampai 150 menit dengan selisih perbedaan waktu 30 menit dengan tujuan untuk mengetahui waktu kontak terbaik. Pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan penyerapan ion logam Pb²⁺ oleh adsorben A1 maupun dengan adsorben A2 dapat dilihat pada gambar 4.



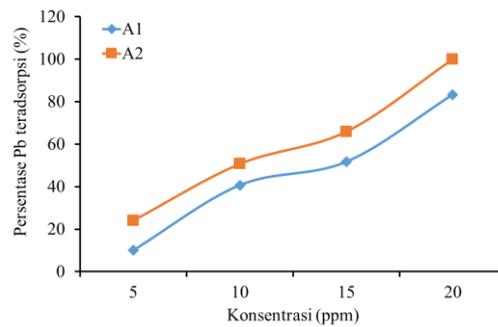
Gambar 4. Grafik hubungan kemampuan penyerapan logam Pb²⁺ dengan variasi waktu kontak

Adsorpsi ion logam Pb²⁺ oleh adsorben A1 mengalami kenaikan secara perlahan dan kenaikan penyerapan logam Pb²⁺ terbesar terjadi pada waktu 60–90 menit dengan selisih persentase penyerapan 1,1% sehingga waktu terbaik adsorben tongkol jagung dalam menyerap Pb²⁺ adalah waktu 90 menit. Adsorpsi ion logam oleh adsorben A2 meningkat dengan bertambahnya waktu kontak, meskipun terjadi penurunan setelah 60 menit. Pada awal adsorpsi (10–60 menit) gugus aktif pada permukaan adsorben terbuka seutuhnya untuk Pb²⁺. Hal ini menyebabkan lebih banyak ion Pb²⁺ yang terserap pada permukaan adsorben. Selanjutnya pada waktu di atas 60 menit, permukaan adsorben jenuh dengan Pb²⁺ maka tidak terjadi lagi peningkatan daya serap bahkan adsorben mengalami desorpsi. Waktu kontak antara adsorbat dan adsorben yang melebihi waktu optimum dapat menyebabkan desorpsi. Penyerapan ion logam Pb²⁺ oleh adsorben A2 mengalami proses penyerapan terbaik pada waktu kontak 30 menit, hal ini karena pada waktu 10–30 menit selisih penyerapan Pb²⁺ paling besar yaitu 0,4%. Proses penyerapan adsorben A1 lebih lama dibandingkan dengan menggunakan adsorben A2. Hal ini dikarenakan adsorben A2 memiliki gugus OH dan gugus SO₃H

sehingga dapat meningkatkan muatan negatif pada adsorben dan dapat mengikat logam Pb²⁺ lebih banyak. Selain itu luas permukaan adsorben A2 lebih besar sehingga semakin banyak logam yang akan diserap.

Penentuan Kemampuan Penyerapan Ion Logam Pb²⁺ pada Pengaruh Konsentrasi

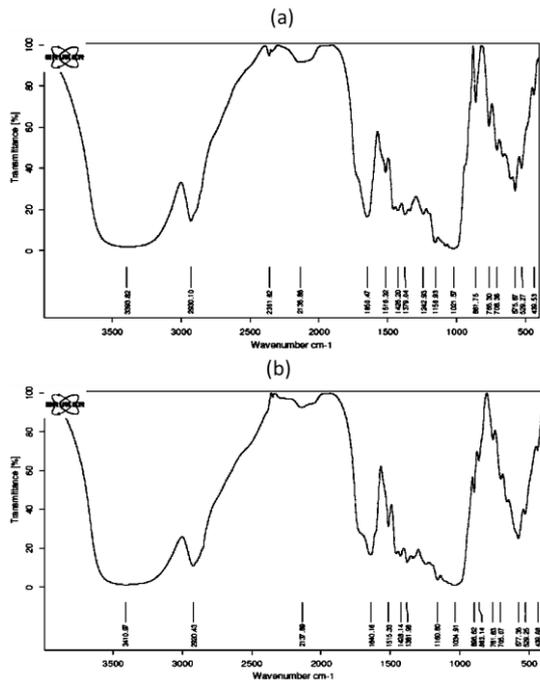
Penentuan konsentrasi dilakukan dengan kondisi waktu terbaik pada waktu kontak 90 menit untuk adsorben A1 dan waktu kontak 30 menit untuk adsorben A2. Kemampuan adsorben tongkol jagung dalam menyerap Pb²⁺ semakin meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi. Hasil adsorpsi ion logam timbal oleh adsorben A1 maupun adsorben A2 dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan kemampuan penyerapan logam Pb²⁺ dengan variasi konsentrasi

Semakin besar konsentrasi larutan ion logam, maka akan semakin besar persen ion logam teradsorb dan semakin banyak molekul ion logam yang berinteraksi dengan adsorben, selain itu peluang ion logam yang terserap oleh adsorben akan semakin banyak. Peningkatan adsorpsi pada adsorben A1 dan adsorben A2 disebabkan karena ion Pb(II) semakin banyak yang terdapat dalam larutan, sehingga interaksi ion Pb(II) ke permukaan adsorben akan semakin banyak. Interaksi elektrostatik antara permukaan aktif adsorben dengan ion Pb semakin besar dengan banyaknya konsentrasi ion Pb dalam larutan. Namun demikian pada penelitian ini belum didapatkan konsentrasi optimum logam teradsorpsi oleh adsorben. Konsentrasi 20 ppm merupakan konsentrasi tertinggi yang diambil dalam dalam penelitian, tetapi belum dapat dikatakan sebagai konsentrasi optimum, karena kemampuan adsorpsi yang lebih besar masih mungkin diperoleh pada konsentrasi yang lebih tinggi.

Kemampuan penyerapan adsorben A1 sebesar 83% dengan berat massa sebesar 0,5 gram sedangkan kemampuan penyerapan adsorben A2 sebesar 100% dengan berat massa sebesar 6,85 gram. Pada adsorben A2 memiliki gugus bermuatan negatif lebih banyak sehingga logam yang bermuatan positif dapat berinteraksi lebih baik dengan adsorben dan kemampuan penyerapan adsorben A2 menjadi lebih tinggi. Pergeseran bilangan gelombang pada spektra FTIR adsorben A2 sebelum dan sesudah penyerapan ion logam Pb tidak terjadi. Berikut hasil FTIR adsorben tongkol jagung-PVAsulfonasi sebelum dan sesudah mengadsorpsi logam Pb²⁺ dapat dilihat pada gambar 6.

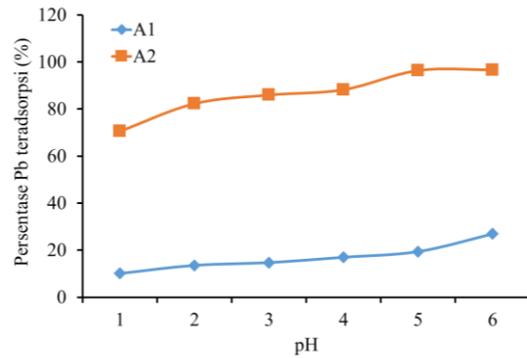


Gambar 6. Spektra FTIR adsorben A2 (a) sebelum dan (b) setelah adsorpsi

Karakterisasi dengan FTIR dari adsorben A2 sebelum dan sesudah penyerapan logam Pb menunjukkan adsorpsi yang terjadi antara adsorben A2 dengan ion logam Pb^{2+} adalah adsorpsi fisik, dimana ion logam hanya terperangkap pada permukaan atau pori-pori tongkol jagung dan tidak membentuk ikatan baru.

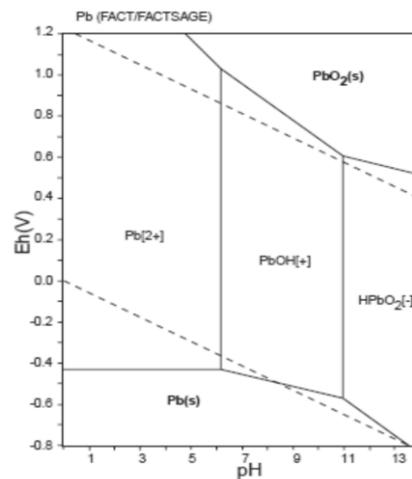
Penentuan Kemampuan Penyerapan Ion Logam Pb^{2+} pada Pengaruh pH

Penentuan pH terbaik dalam sistem adsorpsi merupakan parameter penting mengontrol proses adsorpsi untuk menentukan kemampuan adsorpsi. Untuk mengetahui pengaruh pH pada adsorpsi tongkol jagung terhadap Pb^{2+} , dilakukan variasi pH 1- 6 dengan tujuan untuk mengetahui pH terbaik. Variasi ini dilakukan pada kondisi asam karena adsorpsi logam Pb^{2+} terjadi lebih baik pada kondisi asam dan akan terjadi pengendapan pada kondisi basa [11]. Menurut Sukardjo [12], adsorpsi ion Pb^{2+} yang dilakukan pada pH tinggi (pH > 6) lebih cenderung memberikan hasil yang kurang sempurna karena pada pH tersebut terbentuknya senyawa oksidasi dari unsur-unsur pengotor lebih besar menutupi permukaan adsorben dan akan menghalangi proses penyerapan partikel-partikel terlarut pada adsorben. Pengaruh pH terhadap adsorpsi ion logam Pb^{2+} oleh adsorben A1 maupun adsorben A2 dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan kemampuan penyerapan logam Pb^{2+} dengan variasi pH

Pada gambar 7 dapat dilihat pada adsorben A1 maupun A2 terjadi peningkatan kemampuan penyerapan pada range pH 1-6. Pada pH asam terjadi kompetisi antara ion Pb^{2+} dengan H_3O^+ untuk berikatan dengan situs negatif pada permukaan adsorben. Sedangkan menurut Sulistyawati [4] pada pH tinggi dapat menyebabkan reaksi antara Pb^{2+} dengan OH^- , sehingga membentuk endapan $Pb(OH)_2$. Endapan ini dapat menghalangi proses adsorpsi yang berlangsung.



Gambar 8. Grafik spesiasi logam Pb^{2+}

Dari grafik spesiasi logam Pb, pH diatas 6 kelarutan ion Pb akan semakin berkurang karena bereaksi dengan OH membentuk $Pb(OH)_2$. Selain itu, hasil kali kelarutan ion logam Pb^{2+} dan OH melampaui harga K_{sp} $Pb(OH)_2$ yaitu 3×10^{-16} dan diperkirakan Pb^{2+} selain membentuk endapan $Pb(OH)_2$ membentuk kompleks di dalam larutan. Adsorben A2 memiliki luas permukaan adsorben yang lebih besar daripada adsorben A1 sehingga semakin banyak logam yang akan diserap, disamping itu juga dipengaruhi oleh bertambahnya gugus-gugus yang ada pada adsorben A2 sehingga Pb yang teradsorpsi lebih banyak.

4. Kesimpulan

Adsorben A1 dan A2 telah berhasil dibuat. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan adsorben A1 memiliki gugus utama yaitu gugus OH dan adsorben A2 menunjukkan adanya gugus HSO_3 . Karakterisasi menggunakan BET mengalami kenaikan luas permukaan

sebesar 13%, penurunan rata-rata pori sebesar 83% dan penurunan total volume pori sebesar 81%. Kemampuan adsorben A1 dan A2 terhadap penyerapan logam Pb pada waktu kontak 90 dan 30 menit, konsentrasi diperoleh hasil yang sama yaitu 20 ppm dengan persentase Pb teradsorpsi 83% dan 100%, sedangkan untuk kondisi pH pada pH 6.

5. Daftar Pustaka

- [1] MS Saeni, Zat-zat Pencemar Udara, Bahan Pengajaran Kimia Lingkungan, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, *Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Pusat Antar Universitas Ilmu Hayat, Institut Pertanian Bogor*, (1989) 131-133
- [2] Angga Rajawane, Biosorpsi Logam Berat Pb (II) Menggunakan Kulit Buah Kakao, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB, Bogor
- [3] Fahrizal, Pemanfaatan tongkol jagung sebagai biosorben zat warna biru metilena, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB, Bogor
- [4] Sari Sulistyawati, Modifikasi Tongkol Jagung Sebagai Adsorben Logam Berat Pb (II), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, IPB, Bogor
- [5] Pritee Goyal, Shalini Srivastava, Characterization of novel Zea mays based biomaterial designed for toxic metals biosorption, *Journal of Hazardous Materials*, 172, 2, (2009) 1206-1211
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.125>
- [6] Achanai Buasri, Nattawut Chaiyut, Kessarinn Tapang, Supparoeek Jaroensin, Sutheera Panphrom, Equilibrium and kinetic studies of biosorption of Zn (II) ions from wastewater using modified corn cob, *Apacbee Procedia*, 3, (2012) 60-64
<http://dx.doi.org/10.1016/j.apcbee.2012.06.046>
- [7] Konrad Dorfner Dorfner, Walter de Gruyter, Ion Exchangers, Berlin, 1991.
- [8] PW Atkins, Kimia Fisika jilid II. Kartohadiprodo II, penerjemah; Rohhadyan T, editor, in, Oxford: Oxford University Press. Terjemahan dari: Physical Chemistry, 1999.
- [9] Klaus J Lorenz, Karel Kulp, Handbook of cereal science and technology, Marcel Dekker, New York, 1991.
- [10] Burcu Uysal, Birsen Buyuktas, Kinetics of catalytic Meerwein-Ponndorf-Verley reduction of aldehydes and ketones using boron triethoxide, *Chemical Papers*, 64, 1, (2010) 123-126
<http://dx.doi.org/10.2478/s11696-009-0098-3>
- [11] Santosh Kumar, Leaching behaviour of elements from sub-bituminous coal fly ash, Department Of Mining Engineering, National Institute of Technology Rourkela, Rourkela
- [12] Sukardjo, Kimia koordinasi, PT Bina Aksara, 1985.