



Pengaruh Penambahan Polivinil Alkohol pada Biomassa Tongkol Jagung-Bulu Ayam sebagai Adsorben Campuran Ion Logam Timbal (Pb^{2+}) dan Ion Logam Krom Total

Aulannisa Elqudsy^a, Rum Hastuti^{a*}, Didik Setyo 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	Abstract
<p>Keywords: polyvinyl alcohol (PVA), BET, FTIR</p>	<p>Research on the effect of addition of polyvinyl alcohol (PVA) on the biomass of corncob-chicken feather for the adsorption of mixture of lead ion (Pb^{2+}) and total chromium ion has been done. The objectives of this study were to obtain a crosslinked corncob-chicken feather adsorbent (A_1) and corncob-chicken feather - PVA adsorbent (A_2), to obtain the adsorbent character using FTIR and BET and to obtain data of effectiveness of adsorbent in absorbing mixture of Pb^{2+} ion and chromium ion total. The research was conducted through several stages, i.e. the making of A_1 and A_2 adsorbent, characterization using FTIR and BET. Furthermore, adsorbents A_1 and A_2 were used for the absorption of mixture of Pb^{2+} metal ion and total chromium metal ion with variation of contact time and concentration. FTIR data showed that the adsorbent A_1 had more OH group than A_2. The result of BET analysis showed that A_2 adsorbent decreased surface area and total pore volume by 39.83% and 21.95% and increased the average pore size of 30.12%. The adsorbent adsorption capacity of A_1 was $5,22 \times 10^{-5}$ mol / g for Pb^{2+} and 1.05×10^{-4} mol/g for total chromium metal ions, whereas by A_2 adsorbent was $4,10 \times 10^{-5}$ mol/g for Pb^{2+} and $7,77 \times 10^{-5}$ mol/g for total chromium metal ions. Based on the results of the research can be concluded that the adsorbent A_2 had a better metal ion adsorption capability than the adsorbent A_1.</p>
<p>Kata Kunci: polivinil alkohol (PVA), BET, FTIR</p>	<p>Abstrak</p> <p>Penelitian tentang pengaruh penambahan polivinil alkohol (PVA) pada biomassa tongkol jagung-bulu ayam untuk adsorben campuran ion timbal (Pb^{2+}) dan ion krom total telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan adsorben tongkol jagung-bulu ayam yang terikat silang (A_1) dan adsorben tongkol jagung bulu ayam-PVA (A_2), memperoleh data karakter menggunakan FTIR dan BET serta mendapatkan data efektivitas adsorben dalam menyerap campuran ion Pb^{2+} dan ion krom total. Penelitian dilakukan melalui beberapa tahap yaitu pembuatan adsorben A_1, pembuatan adsorben A_2, karakterisasi menggunakan FTIR dan BET. Selanjutnya adsorben A_1 dan A_2 digunakan untuk penyerapan campuran ion logam Pb^{2+} dan ion logam krom total dengan variasi waktu kontak dan konsentrasi. Data FTIR menunjukkan bahwa adsorben A_1 mempunyai gugus OH yang lebih banyak dibandingkan A_2. Hasil analisis BET menunjukkan adsorben A_2 mengalami penurunan luas permukaan dan total volume pori sebesar 39,83% dan 21,95% serta peningkatan rata-rata ukuran pori sebesar 30,12%. Daya adsorpsi adsorben A_1 adalah sebesar $5,22 \times 10^{-5}$ mol/g untuk Pb^{2+} dan $1,05 \times 10^{-4}$ mol/g untuk ion logam krom total, sedangkan oleh adsorben A_2 adalah sebesar $4,10 \times 10^{-5}$ mol/g untuk Pb^{2+} dan $7,77 \times 10^{-5}$ mol/g untuk ion logam krom total. Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa adsorben A_2 mempunyai kemampuan adsorpsi ion logam yang lebih baik dibandingkan adsorben A_1.</p>

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. Meskipun konsentrasi belum melebihi ambang batas, keberadaan logam berat tetap memiliki potensi bahaya untuk jangka waktu yang panjang karena logam berat telah diketahui bersifat akumulatif dalam sistem biologis. Oleh sebab itu, saat ini lembaga-lembaga pemerintahan juga memberikan perhatian yang serius dan membuat aturan yang ketat terhadap pengolahan air limbah industri sebelum dibuang ke perairan terbuka [1].

Logam berat yang ada di dalam limbah contohnya adalah kromium dan timbal. Keracunan timbal telah di kenal sebagai salah satu masalah kesehatan lingkungan yang cukup serius di seluruh dunia, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia [2]. Kromium merupakan unsur yang sangat toksik. Penyebaran kromium biasanya terdapat pada garam kromat seperti Na_2CrO_4 . Garam ini akan larut dalam air dan akan diserap oleh aliran darah yang akan menyebabkan kanker paru-paru dalam periode 10-15 tahun [3]. Pencegahan semakin meluasnya pencemaran timbal dan krom dapat diupayakan melalui pengurangan atau reduksi kadar timbal diperairan. Perkembangan teknologi *recovery* logam berat terkini diarahkan untuk memanfaatkan bahan baku yang berpotensi sebagai limbah dilingkungan sebagai adsorben.

Adsorpsi merupakan fenomena yang melibatkan interaksi fisik, kimia dan gaya elektrostatik antara adsorbat dengan adsorben pada permukaan adsorben. Adsorpsi memiliki beberapa kelebihan jika dibandingkan dengan metode lainnya, diantaranya memerlukan biaya yang relatif murah, proses relatif sederhana, efektivitas dan efisiensi tinggi serta dapat dipergunakan ulang (regenerasi). Adsorben yang sering digunakan merupakan limbah hasil pertanian, perkebunan, dan peternakan seperti bulu ayam dan tongkol jagung.

Produksi jagung di Indonesia setiap tahunnya menunjukkan peningkatan. Menurut data Kementerian Pertanian (2007), produksi jagung rata-rata diperkirakan sebanyak 12.193.101 ton per tahun. Dari produksi jagung tersebut diperkirakan akan menghasilkan limbah sebanyak 8.128.734 ton tongkol jagung per tahun. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian guna mengurangi volume limbah tongkol jagung dan meningkatkan nilai tambahnya. Salah satu upaya yang dilakukan untuk memanfaatkan limbah pertanian tersebut ialah diolah menjadi sebagai adsorben. Zat yang berguna sebagai adsorben pada tongkol jagung yaitu selulosa (41%) dan hemiselulosa (36%) yang cukup tinggi [4].

Permasalahan lain yang muncul yaitu peningkatan usaha peternakan ayam dapat menimbulkan peningkatan limbah bulu. Bulu ayam mengandung protein serat atau keratin yaitu: protein kasar (80,00%), lemak kasar (7,79%) dan serat kasar (0,88%) [5]. Salah satu protein yang terkandung dalam bulu ayam adalah

keratin yang mengandung gugus-gugus N-H, C=O, O-H, COOH dan S-H [6]. Sifat-sifat keratin yang dikaitkan dengan gugus asam amino dan hidroksil yang terikat, maka menyebabkan sifat polielektrolit kation sehingga dapat berperan sebagai penukar ion dan sebagai adsorben terhadap logam berat dalam air limbah [7].

Berdasarkan uraian di atas ini menunjukkan tongkol jagung-bulu ayam dapat digunakan sebagai adsorben untuk mengadsorpsi ion logam berat. Oleh karena itu, pengembangan penelitian ini diadaptasi dari penelitian sebelumnya yaitu penambahan polivinil alkohol pada tongkol jagung-bulu ayam diharapkan dapat meningkatkan daya adsorpsi dan memperluas permukaan pori-pori dalam tongkol jagung-bulu ayam untuk mengatasi ion logam berat tembaga dan krom total dalam limbah cair industri logam. Karakterisasi adsorben biomassa tongkol jagung-bulu ayam menggunakan BET (*Brunauer Emmett Teller*), dan FT-IR *spectroscopy*, sedangkan limbah campuran logam berat yang sudah diberi perlakuan adsorpsi dapat dianalisis menggunakan AAS.

2. Metode Penelitian

Preparasi Adsorben Biomassa Bulu Ayam.

Bulu ayam dicuci dengan air dan deterjen, kemudian dijemur sampai kering dan hilang baunya. Setelah kering, bulu ayam tersebut dipotong kecil-kecil dan digiling, sehingga diperoleh adsorben yang halus. Adsorben yang sudah halus direndam dengan dietileter sampai terendam selama 24 jam kemudian disaring dengan menggunakan corong *Buchner*. Residu yang didapat dikeringkan kemudian dikarakterisasi dengan FTIR, sehingga adsorben siap digunakan.

Preparasi Adsorben Serbuk Tongkol Jagung.

Tongkol Jagung dicuci dan dikeringkan hingga kering selama ± 24 jam kemudian dihaluskan dengan *Ballmill* dan disaring dengan ukuran 150 mesh hingga diperoleh serbuk tongkol jagung. Hasil yang didapat dikeringkan kemudian dikarakterisasi dengan FTIR, sehingga adsorben siap digunakan.

Preparasi Adsorben Tongkol Jagung – Bulu Ayam (A₁)

Serbuk tongkol jagung direndam dalam larutan asetat-bulu ayam selama 30 menit. Setelah itu diambil dan direndam dalam larutan NaOH 1 M selama 24 jam. Kemudian, direndam selama 24 jam dalam larutan pengikat silang glutaraldehid 0,02% (v/v).

Preparasi Adsorben Tongkol Jagung – Bulu Ayam dan PVA (A₂)

Serbuk tongkol jagung direndam dalam larutan bulu ayam-PVA selama 30 menit. Setelah itu diambil dan direndam dalam larutan NaOH 1 M selama 24 jam. Kemudian, direndam selama 24 jam dalam larutan pengikat silang glutaraldehid 0,02% (v/v).

Optimasi Penyerapan Campuran Ion Logam Pb²⁺ dan Ion Logam Krom Total Oleh Adsorben A₁ dan A₂

Waktu kontak

Adsorben A₁ maupun A₂ selanjutnya ditambahkan 50 ml campuran larutan Pb²⁺ dan ion logam krom total (1:1) dengan diatur pada pH 5, dan diaduk kembali dengan variasi waktu 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

Konsentrasi

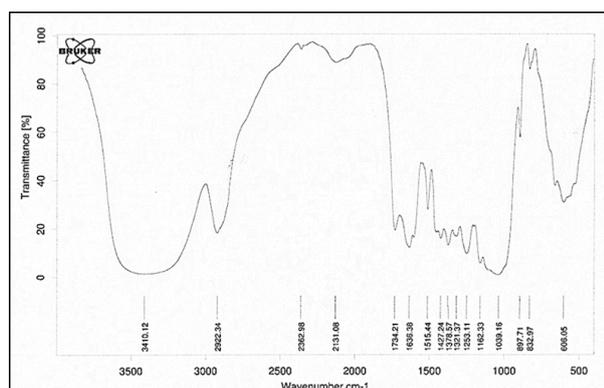
Adsorben A₁ maupun A₂ ditambahkan campuran larutan Pb²⁺ dan ion logam krom total pada pH 5 dengan konsentrasi yang divariasikan yaitu 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm dan direndam sampai batas waktu serapan optimum. Larutan disaring dan filtratnya dianalisis dengan AAS.

3. Hasil Dan Pembahasan

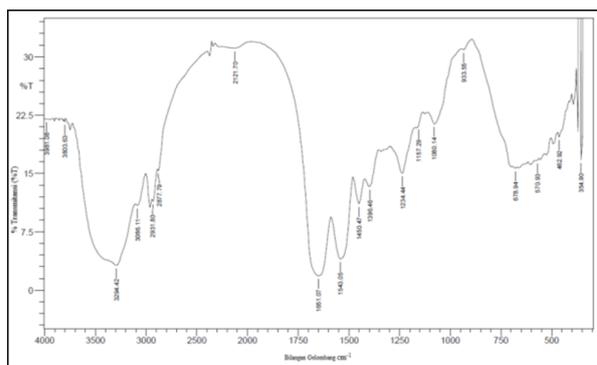
Karakterisasi Adsorben Menggunakan FTIR

Analisis dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) bertujuan untuk menentukan gugus fungsi yang ada pada tongkol jagung, bulu ayam, adsorben tongkol jagung-bulu ayam (A₁) dan adsorben tongkol jagung-bulu ayam modifikasi PVA (A₂). Hasil analisis spektra FTIR dapat dilihat pada gambar 1.

Dari gambar 1 pada spektra 3410 cm⁻¹ menunjukkan rentang vibrasi ulur OH, vibrasi C-H ulur muncul pada serapan 2922 cm⁻¹, vibrasi C-O ulur muncul pada serapan 1039 cm⁻¹, vibrasi CH₂ muncul pada serapan 1427 cm⁻¹ dan ikatan β-glikosida muncul pada serapan 887 cm⁻¹ [8]. Berdasarkan hasil spektra FTIR dapat disimpulkan bahwa di dalam tongkol jagung terdapat gugus-gugus selulosa.

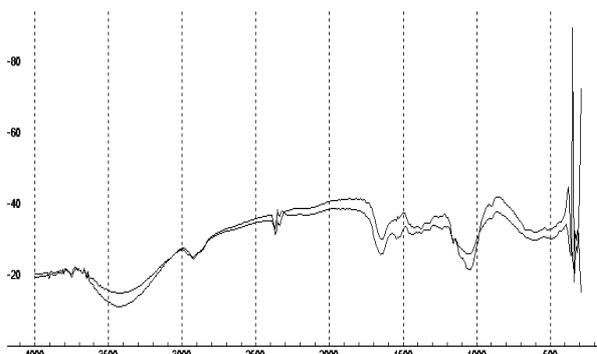


Gambar 1. Spektra FTIR Tongkol Jagung



Gambar 2. Spektra FTIR bulu ayam [9]

Dari gambar 2 pada spektra 3294 cm⁻¹ menunjukkan rentang vibrasi ulur O-H simetris N-H diperkuat dengan adanya N-H tekuk yang menyerap dekat pada 1543 cm⁻¹. Vibrasi ulur C-H muncul pada serapan 2931 cm⁻¹ yang diperkuat C-H tekuk pada 1450 cm⁻¹. Adanya pita serapan pada daerah 1651 cm⁻¹ yang diidentifikasi sebagai gugus C=O, pada serapan 1234 cm⁻¹ menandai vibrasi ulur rentangan dari C-O asam karboksilat [10]. Berdasarkan hasil spektra FTIR dapat disimpulkan bahwa di dalam bulu ayam terdapat gugus-gugus keratin.



Gambar 3. Spektra FTIR adsorben A₁ dan adsorben A₂

Hasil yang diperoleh pada spektra FTIR, pada gambar 3 menunjukkan adanya gugus yang mempunyai pergeseran kimia seperti yang ditunjukkan oleh spektra FTIR bulu ayam (gambar 6) dan tongkol jagung (gambar 5) sehingga dapat disimpulkan bahwa baik A₁ maupun A₂ mengandung keratin dan selulosa. Jika A₁ dan A₂ dibandingkan, tidak terlihat adanya perubahan bilangan gelombang. Hal ini dikarenakan PVA mempunyai gugus yang sama dengan selulosa yaitu gugus OH. Namun terjadi perubahan pada % transmittansi yang berhubungan dengan absorbansi. Hubungan antara absorbansi dan transmittansi dapat digambarkan dengan persamaan $A = \log 1/T$, dengan A (absorbansi) sebanding dengan C (konsentrasi) dan berbanding terbalik dengan T (transmittansi).

Berdasarkan gambar 3, terlihat bahwa % T pada adsorben A₁ sebesar 14% lebih tinggi dibandingkan dengan adsorben A₂ sebesar 10%. Hal ini menunjukkan bahwa absorbansi pada adsorben A₂ (1,0) lebih besar dibandingkan dengan A₁ (0,85) dengan peningkatan sebesar 15%. Ini menunjukkan bahwa jumlah gugus OH yang berperan dalam pengikat ion logam lebih banyak

sehingga penambahan PVA dapat memperbaiki kapasitas adsorpsi dari adsorben.

Karakterisasi Adsorben Menggunakan BET

Analisis 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 1.

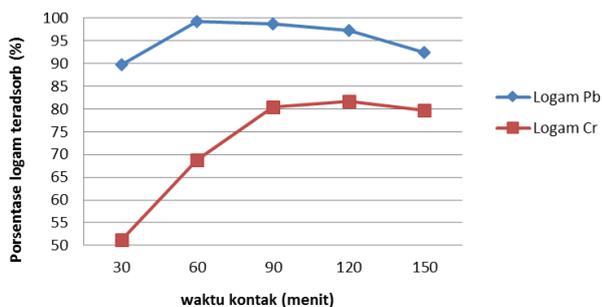
Tabel 1: Hasil analisis BET

Hasil	Tongkol Jagung-Bulu Ayam	
	Tanpa PVA	Dengan PVA
Luas Permukaan (m ² /g)	0,836	0,503
Total Volume Pori (cc/g)	1,23.10 ⁻³	0,96.10 ⁻³
Rata-rata Pori (A)	59,008	76,780

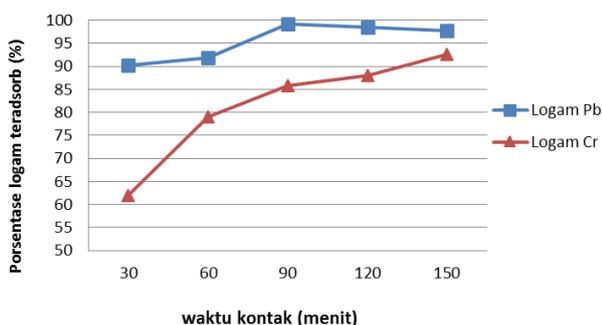
Berdasarkan data pada tabel 1 terlihat pada adsorben A₂ mengalami penurunan luas permukaan dan total volume pori sebesar 39,83% dan 21,95% serta peningkatan rata-rata ukuran pori sebesar 30,12%. Penurunan luas permukaan dan total volume pori, serta peningkatan rata-rata ukuran pori disebabkan karena penambahan PVA yang selain sebagai penyumbang gugus OH juga bersifat sebagai perekat serta porogenitas.

Penentuan Kemampuan Penyerapan Campuran Ion Logam Pb²⁺ dan Ion Logam Krom Total oleh adsorben A₁ maupun adsorben A₂

Salah satu variabel yang mempengaruhi proses penyerapan adalah waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat.



Gambar 4. Grafik persentase teradsorb campuran ion logam dengan variasi waktu kontak pada adsorben A₁



Gambar 5. Grafik persentase teradsorb campuran ion logam dengan variasi waktu kontak pada adsorben A₂

Variasi waktu kontak dilakukan yaitu 30, 60, 90, 120,150 menit dengan tujuan untuk mengetahui waktu kontak terbaik. Pengaruh waktu kontak terhadap kemampuan penyerapan campuran ion logam timbal dan krom total oleh adsorben A₁ maupun adsorben A₂ dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5.

Gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan adsorpsi campuran ion logam Pb²⁺ dan ion logam krom total oleh adsorben A₁ mengalami penyerapan terbaik pada waktu 120 menit. Sedangkan untuk adsorben A₂ waktu terbaik yang diperoleh yaitu waktu 90 menit.

Waktu adsorpsi terbaik untuk adsorben A₁ lebih singkat jika dibandingkan dengan adsorben A₂. Waktu adsorpsi yang lebih singkat menunjukkan penyerapan yang terjadi lebih cepat, ini disebabkan karena adanya penambahan gugus aktif OH dan membesarnya ukuran pori adsorben oleh PVA.

Adsorpsi campuran ion logam baik pada adsorben A₁ maupun A₂ terlihat bahwa adsorpsi Pb²⁺ lebih baik jika dibandingkan dengan adsorpsi ion logam krom total. Pembuktian kemungkinan terjadinya kompetisi Antara kedua logam, maka dilakukan adsorpsi masing-masing logam dengan adsorben A₁ maupun adsorben A₂ pada waktu terbaik dan konsentrasi logam sama, hasil adsorpsi yang terjadi ditunjukkan pada tabel

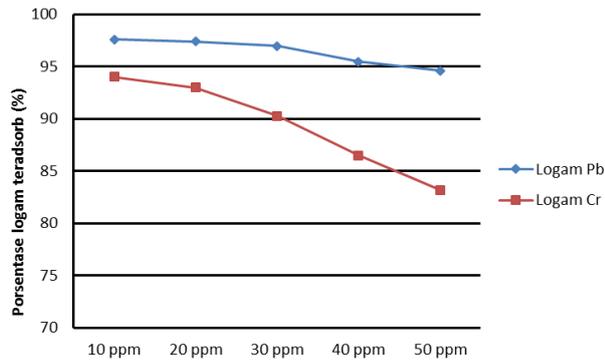
Tabel 2: Kapasitas adsorpsi masing-masing Pb²⁺ dan ion logam krom total

Sampel	Tunggal		Campuran	
	Ion Logam	q _e (mg/g)	Ion Logam	q _e (mg/g)
A ₁	Pb ²⁺	0,988	Pb ²⁺	0,663
	Cr	1,003	Cr	0,579
A ₂	Pb ²⁺	0,989	Pb ²⁺	0,969
	Cr	1,004	Cr	0,927

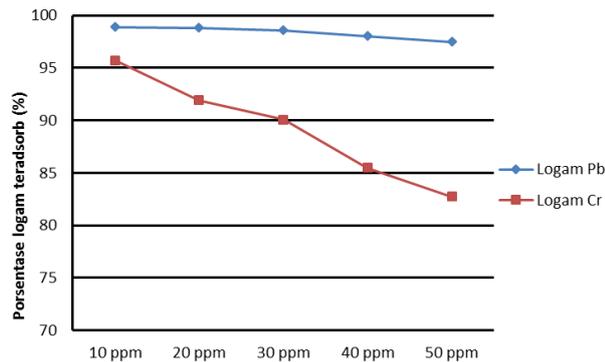
Tabel 2 menunjukkan bahwa ion logam dalam keadaan tunggal baik Pb²⁺ maupun ion logam krom total mempunyai kemampuan adsorpsi oleh adsorben sama kuat sekitar 1,0 mg/g. Jika dibandingkan dengan adsorpsi ion logam campuran terlihat bahwa kemampuan adsorpsi mengalami penurunan, baik pada adsorben A₁ maupun adsorben A₂. Ini menunjukkan bahwa pada campuran ion logam terjadi kompetisi kemampuan teradsorpsi antara Pb²⁺ dan ion logam krom total oleh adsorben.

Penentuan Kemampuan Penyerapan Campuran Ion Logam Pb²⁺ dan Ion Logam Krom Total pada Pengaruh Konsentrasi

Penentuan konsentrasi dilakukan dengan kondisi waktu terbaik pada waktu kontak 120 menit untuk adsorben A₁ dan waktu kontak 90 menit untuk adsorben A₂. Hasil adsorpsi ion logam Pb²⁺ dan ion logam krom total oleh adsorben A₁ maupun adsorben A₂ dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 6. Grafik persentase teradsorb campuran ion logam dengan konsentrasi pada adsorben A1



Gambar 7. Grafik persentase teradsorb campuran ion logam dengan konsentrasi pada adsorben A2

Gambar 6 dan gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi campuran ion logam Pb²⁺ dan ion logam krom total maka kemampuan adsorpsi adsorben A₁ maupun A₂ terjadi penurunan. Hal ini disebabkan dengan semakin besar konsentrasi larutan logam, akan semakin banyak molekul ion logam yang berinteraksi dengan adsorben sehingga pada suatu saat akan mencapai batas optimum adsorpsi.

Data yang dihasilkan diinterpretasikan dengan isotherm adsorpsi *Langmuir* [11] untuk menentukan kapasitas adsorpsi maksimum ion logam Pb dan Cr oleh adsorben A₁ maupun A₂ yaitu:

$$\frac{C_e}{q} = \frac{1}{Q_0} \cdot C_e + \frac{1}{b \cdot Q_0} \dots \dots \dots (6)$$

Dengan C_e adalah konsentrasi sisa (mg/L), q adalah berat logam teradsorpsi (mg/g), b adalah konstanta, dan Q₀ adalah kapasitas adsorpsi maksimum (mg/g). Sedangkan untuk mengetahui jenis interaksi antara logam dan adsorben dapat dilakukan dengan menghitung energi adsorpsi berdasarkan rumus [12]:

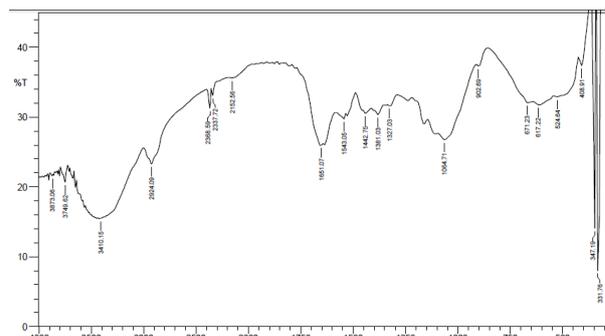
$$E_{ads} = -\Delta G^0_{ads} = RT \ln K$$

K adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir dan energi total adsorpsi sama dengan energi bebas Gibbs [12]. Dari perhitungan energi adsorpsi diperoleh data yg ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 3: Energi adsorpsi ion logam oleh adsorben A₁ dan A₂

Sampel	Ion Logam	Q ₀ (mol/g)	E _{ads} (kJ/mol)
A ₁	Pb ²⁺	5,22.10 ⁻⁵	29,74
	Cr	1,05.10 ⁻⁴	24,47
A ₂	Pb ²⁺	4,10.10 ⁻⁵	30,97
	Cr	7,77.10 ⁻⁵	26,22

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan kapasitas adsorpsi maksimum campuran ion logam Pb²⁺ dan krom total oleh adsorben A₂ lebih besar dibandingkan dengan adsorben A₁, hal ini dikarenakan adsorben A₂ memiliki gugus bermuatan negatif lebih banyak sehingga ion logam yang bermuatan positif dapat berinteraksi dengan adsorben secara kimia. Sedangkan energi adsorpsi Pb²⁺ dan ion logam krom total baik oleh adsorben A₁ maupun A₂ dikategorikan sebagai adsorpsi secara kimia (kemisorpsi) yang melibatkan ikatan langsung antara adsorbat dengan gugus aktif adsorben. Seperti yang dijelaskan oleh Adamson [13] bahwa adsorpsi kimia (kemisorpsi) terjadi apabila energi adsorpsi lebih dari 20,92 kJ/mol.



Gambar 8. Spektra FTIR

Hal ini dibuktikan oleh gambar 8 yang menunjukkan hasil spektra adsorben setelah mengadsorpsi campuran ion logam Pb²⁺ dan ion logam krom total terjadi pergeseran bilangan gelombang pada gugus spektra FTIR adsorben A₂ setelah adsorpsi yaitu pada 671 cm⁻¹ yang menunjukkan serapan Pb-N dan pada 524 cm⁻¹ yang menunjukkan serapan Pb-O [14] dan pada 408 cm⁻¹ menunjukkan serapan Cr-N [15].

4. Kesimpulan

Adsorben A₁ (tongkol jagung-bulu ayam) maupun adsorben A₂ (tongkol jagung-bulu ayam modifikasi PVA) telah berhasil dibuat. Karakterisasi dengan FTIR menunjukkan adsorben A₂ mengalami kenaikan jumlah gugus utama yaitu gugus OH dibandingkan dengan adsorben A₁. Karakterisasi menggunakan BET untuk adsorben A₂ mengalami peningkatan rata-rata ukuran pori sebesar 30,12%. Daya adsorpsi adsorben A₁ sebesar 5,2178.10⁻⁵ mol/g untuk Pb²⁺ dan 1,0486.10⁻⁴ mol/g untuk ion logam krom total, sedangkan adsorben A₂ sebesar 4,1006.10⁻⁵ mol/g untuk Pb²⁺ dan 7,773.10⁻⁵ mol/g untuk ion logam krom total.

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] Franck Meyer, Jean-Marie Raquez, Pierre Verge, Inger Martínez de Arenaza, Borja Coto, Pascal Van Der Voort, Emilio Meaurio, Bart Dervaux, Jose-Ramon Sarasua, Filip Du Prez, Poly (ethylene oxide)-b-poly (l-lactide) diblock copolymer/carbon nanotube-based nanocomposites: LiCl as supramolecular structure-directing agent, *Biomacromolecules*, 12, 11, (2011) 4086-4094 <http://dx.doi.org/10.1021/bm201149g>
- [3] Corie Indria Prasasti, J Mukono, Sudarmaji Sudarmaji, Toksikologi Logam Berat B3 dan Dampaknya terhadap Kesehatan, *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair*, 2, 2, (2006)
- [4] Klaus J Lorenz, Karel Kulp, Handbook of cereal science and technology, Marcel Dekker, New York, 1991.
- [5] N Elfia, W Suciati, M Nugroho, Pengaruh Penggunaan Tepung Bulu dan Papain dalam Pakan Ayam Broiler, *Laporan Penelitian, Jurusan Ilmu Ternak Universitas Brawijaya, Malang*, (2002)
- [6] Ismael Alejandro Aguayo-Villarreal, Adrián Bonilla-Petriciolet, Virginia Hernández-Montoya, Miguel A. Montes-Morán, Hilda E. Reynel-Avila, Batch and column studies of Zn²⁺ removal from aqueous solution using chicken feathers as sorbents, *Chemical Engineering Journal*, 167, 1, (2011) 67-76 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2010.11.107>
- [7] T. C. Tan, C. K. Chia, C. K. Teo, Uptake of metal ions by chemically treated human hair, *Water Research*, 19, 2, (1985) 157-162 [http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354\(85\)90193-9](http://dx.doi.org/10.1016/0043-1354(85)90193-9)
- [8] Robert M Silverstein, G Clayton Bassler, Terence C Morrill, Spectroscopic identification of organic compounds, *Wiley, New York*, (1981) 196
- [9] Nailys Sa'adah, Pengaruh Asam Formiat Pada Bulu Ayam Sebagai Adsorben Terhadap Penurunan Kadar Larutan Zat Warna Tekstil Remazol Golden Yellow RNL, *Chem Info Journal*, 1, 1, (2013) 202-209
- [10] Hardjono Sastroamidjojo, Spektroskopi, *Yogyakarta: Liberty*, (1991)
- [11] PW Atkins, Kimia Fisika jilid II. Kartohadiprodo II, penerjemah; Rohhadyan T, editor, in, Oxford: Oxford University Press. Terjemahan dari: Physical Chemistry, 1999.
- [12] Oscik, Adsorption, First Edition ed., Ellis Horwood Limited, England, 1982.
- [13] AW Adamson, Physical chemistry of surfaces, John Willey and sons Inc, *New York*, (1990)
- [14] I Markova-Deneva, Infrared spectroscopy investigation of metallic nanoparticles based on copper, cobalt, and nickel synthesized through borohydride reduction method, *J. Univ. Chem. Technol. Metall*, 45, 4, (2010) 351-378
- [15] Jong-Ha Choi, In-Gyung Oh, Woo-Taik Lim, Keon-Sang Ryoo, Dong-Il Kim, Yu-Chul Park, Crystal Structure and IR Spectroscopy of cis-[Cr(cyclam)(ONO)₂] NO₂, *Journal of the Korean Chemical Society*, 49, 2, (2005) 239-242