



Pengaruh Penambahan Polivinil Alkohol pada Biomassa Tongkol Jagung-Bulu Ayam sebagai Adsorben Campuran Ion Logam Tembaga dan Kromium

Dahlia Nurmalasari^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	Abstract
<p>Keywords: adsorption, corncob, chicken feather, alcohol polyvinyl, copper, chromium</p>	<p>Research on the effect of addition of polyvinyl alcohol on the biomass of corncob-chicken feathers as an adsorbent of copper and chromium metal ion mixtures has been performed. The aims of this study were to obtain adsorbent made from corncob-chicken feather (A_1), polyvinyl alcohol modified corncob-chicken feather adsorbent (A_2) and character of the adsorbent produced and to determine the adsorption capacity of the adsorbent. The result of FTIR characterization showed that the addition of OH group on the adsorbent (A_2). While BET results showed that the adsorbent (A_2) decreased surface area and total pore volume by 39.83% and 21.89%, while the average pore size increased by 29.54%. The adsorbent capacity of A_1 and A_2 on the absorption of the best copper and chromium metal ion mixture at the best contact time was at 120 and 90 minutes with the best concentration (1: 1) of 30 ppm. The maximum adsorption capacity by A_1 or A_2 adsorbents for copper metal ions is $2.02 \times 10^{-3} \text{ mol g}^{-1}$ and $2.49 \times 10^{-3} \text{ mol g}^{-1}$, respectively, while for chromium metal ions is $1.49 \times 10^{-3} \text{ mol g}^{-1}$ and $1.63 \times 10^{-3} \text{ mol g}^{-1}$.</p>
<p>Kata Kunci: adsorpsi, tongkol jagung, bulu ayam, polivinil alkohol, tembaga, kromium</p>	<p>Abstrak</p> <p>Penelitian tentang pengaruh penambahan polivinil alkohol pada biomassa dari (tongkol jagung)-(bulu ayam) sebagai adsorben campuran ion logam tembaga dan kromium telah dilakukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan adsorben (tongkol jagung)-(bulu ayam) (A_1), adsorben (tongkol jagung)-(bulu ayam) termodifikasi polivinil alkohol (A_2) dan karakter dari adsorben yang dihasilkan serta menentukan kapasitas adsorpsi dari adsorben. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan bahwa adanya penambahan gugus OH pada adsorben (A_2). Sementara hasil BET menunjukkan bahwa adsorben (A_2) mengalami penurunan luas permukaan dan total volume pori sebesar 39,83% dan 21,89%, sedangkan rata-rata ukuran pori mengalami kenaikan sebesar 29,54%. Kemampuan adsorben A_1 maupun A_2 terhadap penyerapan campuran ion logam tembaga dan kromium waktu kontak terbaik adalah pada 120 dan 90 menit dengan konsentrasi terbaik (1:1) yaitu 30 ppm. Kapasitas adsorpsi maksimum oleh adsorben A_1 maupun A_2 untuk ion logam tembaga masing-masing sebesar $2,02 \cdot 10^{-3} \text{ mol g}^{-1}$ dan $2,49 \cdot 10^{-3} \text{ mol g}^{-1}$, sedangkan untuk ion logam kromium sebesar $1,49 \cdot 10^{-3} \text{ mol g}^{-1}$ dan $1,63 \cdot 10^{-3} \text{ mol g}^{-1}$.</p>

1. Pendahuluan

Logam berat merupakan elemen yang berbahaya di permukaan bumi. Logam berat yang ada di dalam limbah contohnya adalah kromium dan tembaga. Bila unsur

logam kromium (Cr) masuk dalam tubuh, meski dalam jumlah agak berlebihan biasanya tidaklah menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap tubuh, karena unsur kromium (Cr) dalam bentuk ion Cr(III) diperlukan dalam metabolisme gula pada tubuh manusia. Kromium(VI)

yang biasa disebut kromat merupakan unsur yang sangat toksik. Penyebaran kromium(VI) biasanya terdapat pada garam kromat seperti Na_2CrO_4 . Unsur logam berat tembaga (Cu), bila masuk ke dalam tubuh dalam jumlah berlebihan akan menimbulkan pengaruh-pengaruh buruk terhadap fungsi fisiologis tubuh [1].

Salah satu cara penanganan terhadap limbah sebelum limbah dibuang ke lingkungan adalah 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*).

Penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak dikembangkan teknologi aplikasi adsorpsi, yakni menggunakan bahan biomaterial untuk menurunkan kadar logam berat dari badan air (biosorpsi). Ramya *dkk.* [2] telah berhasil melakukan adsorpsi logam Cu dan Ni dengan adsorben *crosslink chitosan-g-acrylonitrile*. Chowdhury dan Saha [3] telah berhasil melakukan adsorpsi zat warna *methylene blue* dan ion logam Pb^{2+} dalam air limbah dengan menggunakan biomassa bulu ayam. Penelitian lain dilakukan oleh Leyva-Ramos *dkk.* [4] yang telah berhasil melakukan adsorpsi Zn, Cr, Ni dan Cd dalam air limbah dengan menggunakan tongkol jagung dan tongkol jagung modifikasi dengan asam sitrat.

Sebagai limbah hasil pertanian tongkol jagung menurut Lorenz dan Kulp [5] mempunyai kandungan selulosa (41%) dan hemiselulosa (36%) yang cukup tinggi. Tingginya persentase selulosa yang mengandung gugus hidroksil (OH) pada tongkol jagung yang belum banyak dimanfaatkan, dapat dipakai sebagai alternatif bahan baku pembuatan adsorben. Bulu ayam merupakan permasalahan lain dari limbah hasil peternakan yang mengandung protein serat atau keratin yaitu protein kasar (80,00%), lemak kasar (7,79%) dan serat kasar (0,88%) [6]. Keratin mengandung gugus-gugus N-H, C=O, O-H, COOH dan S-H [7].

Pada penelitian ini pemanfaatan tongkol jagung-bulu ayam dengan modifikasi polivinil alkohol (PVA) sebagai adsorben diharapkan dapat meningkatkan karakteristik adsorben dalam kemampuan adsorpsi, permukaan pori-pori dan efektifitas adsorpsi untuk mengatasi ion logam campuran tembaga dan kromium dalam limbah cair industri logam.

2. Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah timbangan elektrik, penyaring *Buchner*, kertas saring, penggilingan bulu ayam, penangas, alat-alat gelas, *magnetic stirrer*, spektrofotometer serapan atom (AAS), spektrofotometer FTIR, BET (Brunauer Emmett Teller). Bahan-bahan yang digunakan adalah bulu ayam, tongkol jagung, polivinil alkohol, asam asetat (p.a),

NaOH (p.a), dietil eter, glutaraldehid, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (p.a), $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (p.a), aquabides.

Preparasi Adsorben Tongkol Jagung

Tongkol Jagung dicuci dan dikeringkan kemudian dihaluskan dan disaring hingga didapatkan adsorben serbuk tongkol jagung. Adsorben serbuk tongkol jagung yang didapatkan dikarakterisasi dengan FTIR.

Preparasi Adsorben Bulu Ayam

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

Pembuatan Adsorben Tongkol Jagung-Bulu Ayam (A₁)

Adsorben bulu ayam ditambahkan dalam larutan asam asetat 1%. Kemudian dicampur dan diaduk hingga homogen dengan *magnetic stirrer*. Serbuk tongkol jagung kemudian direndam dalam larutan asam asetat dan bulu ayam yang sudah homogen selama 30 menit. Setelah itu disaring dan direndam dalam larutan NaOH 1 M selama 24 jam. Kemudian, disaring dan direndam kembali selama 24 jam dalam larutan pengikat silang glutaraldehid 0,02% (v/v).

Pembuatan Adsorben Tongkol Jagung-Bulu Ayam Modifikasi PVA (A₂)

Larutan asam asetat 1% ditambahkan PVA sedikit demi sedikit dengan pemanasan hingga homogen. Kemudian dicampur dengan adsorben bulu ayam dan diaduk dengan *magnetic stirrer*. Serbuk tongkol jagung kemudian direndam dalam larutan asam asetat-bulu ayam-PVA yang sudah homogen selama 30 menit. Setelah itu disaring dan direndam dalam larutan NaOH 1 M selama 24 jam. Kemudian, disaring dan direndam kembali selama 24 jam dalam larutan pengikat silang glutaraldehid 0,02% (v/v).

Optimasi Penyerapan Campuran Ion Logam Tembaga dan Kromium pada Adsorben A₁ dan Adsorben A₂

Variabel Waktu Kontak

Sebanyak 0,5 gram adsorben A₁ dan adsorben A₂ direndam didalam 50 ml larutan sampel campuran logam (1:1) 10 ppm. Waktu kontak diatur dengan variasi waktu 30-150 menit dengan interval 30 menit. Larutan disaring dan filtrat dianalisis dengan AAS.

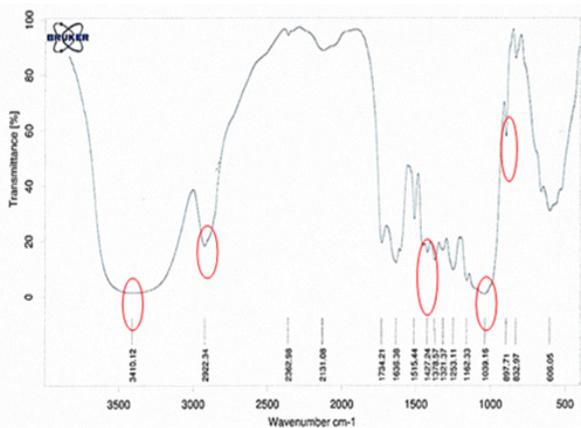
Variabel Konsentrasi

Sebanyak 0,5 gram adsorben A₁ dan adsorben A₂ masing-masing direndam dalam larutan sampel campuran logam dengan variasi konsentrasi (1:1) 10, 20, 30, 40, dan 50 ppm sampai batas waktu serapan optimum dan pH 5. Filtratnya dianalisis dengan menggunakan AAS.

3. Hasil Dan Pembahasan

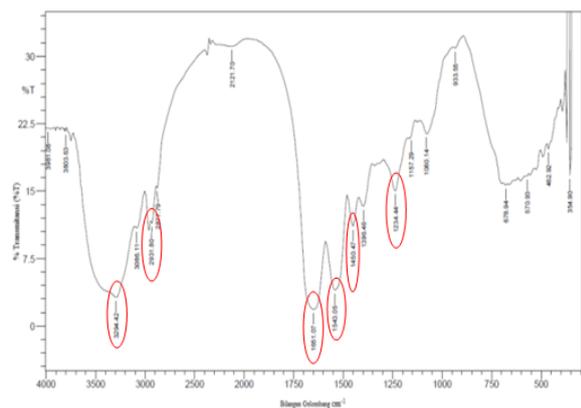
Karakterisasi Adsorben A₁ dan A₂ Menggunakan FTIR

Analisis dengan menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR) bertujuan untuk menentukan gugus fungsi yang ada pada adsorben tongkol jagung, adsorben bulu ayam, adsorben tongkol jagung-bulu ayam (A₁) dan adsorben tongkol jagung-bulu ayam modifikasi PVA (A₂). Hasil analisis spektra FTIR dari masing-masing adsorben disajikan pada gambar 1, 2, 3, dan 4.



Gambar 1. Spektra FTIR Adsorben Tongkol Jagung

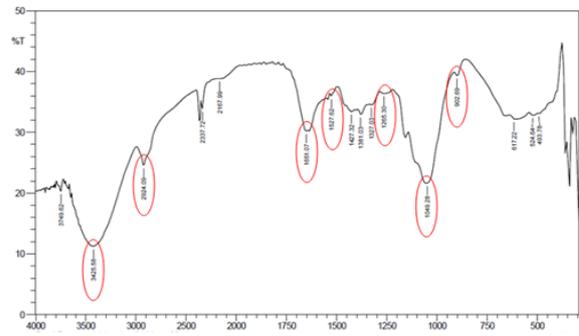
Gambar 1 menunjukkan bahwa pada spektra serapan daerah 3410 cm⁻¹ menunjukkan rentang vibrasi ulur OH, vibrasi C-H ulur muncul pada serapan 2922 cm⁻¹, vibrasi C-O ulur muncul pada serapan 1039 cm⁻¹, vibrasi CH₂ muncul pada serapan 1427 cm⁻¹ dan ikatan β-glikosida muncul pada serapan 897 cm⁻¹ [8]. Berdasarkan hasil spektra FTIR dapat disimpulkan bahwa di dalam tongkol jagung terdapat gugus-gugus selulosa.



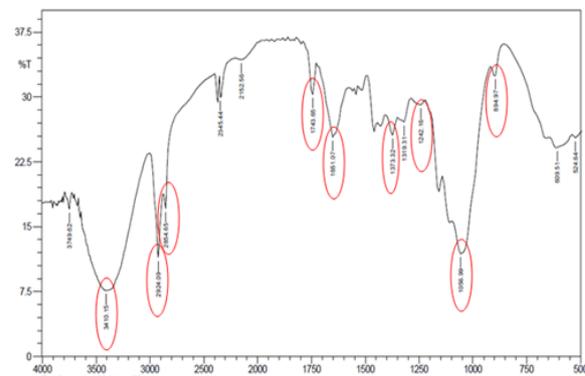
Gambar 2. Spektra FTIR Adsorben Bulu Ayam

Gambar 2 pada spektra serapan daerah 3294 cm⁻¹ menunjukkan rentang vibrasi ulur O-H simetris N-H diperkuat dengan adanya N-H tekuk yang menyerap dekat pada serapan 1543 cm⁻¹. Vibrasi ulur C-H muncul pada serapan 2931 cm⁻¹ yang diperkuat C-H tekuk pada serapan 1450 cm⁻¹. Adanya pita serapan pada daerah serapan 1651 cm⁻¹ yang diidentifikasi sebagai gugus C=O, pada serapan 1234 cm⁻¹ menandai vibrasi ulur rentangan dari C-O asam karboksilat [9]. Berdasarkan hasil spektra FTIR dapat disimpulkan bahwa di dalam bulu ayam

terdapat gugus-gugus keratin yaitu N-H, C=O, O-H, dan COOH [7].



Gambar 3. Spektra FTIR Adsorben Tongkol Jagung-Bulu Ayam (A₁)



Gambar 4. Spektra FTIR Adsorben Tongkol Jagung-Bulu Ayam Modifikasi PVA (A₂)

Gambar 3 dan 4 dapat disimpulkan bahwa spektra FTIR adsorben A₁ dan A₂ masih mengandung gugus aktif yang terdapat pada selulosa dari tongkol jagung dan keratin dari bulu ayam seperti gambar 1 dan 2. Hal ini dikarenakan PVA mempunyai gugus yang sama dengan selulosa yaitu gugus OH sehingga tidak terlihat adanya perubahan bilangan gelombang yang menunjukkan gugus baru pada adsorben.

Karakterisasi Adsorben A₁ dan A₂ Menggunakan BET

Analisa dengan menggunakan 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 disajikan pada tabel 1.

Tabel 1: Data Hasil Uji GSA

Hasil	Tongkol Jagung-Bulu Ayam	
	Adsorben A ₁	Adsorben A ₂
Luas Permukaan (m ² /g)	0.836	0.503
Total Volume Pori (cc/g)	1.23x10 ⁻³	0,9608x10 ⁻³
Rata-rata Pori (Å)	59.008	76.441

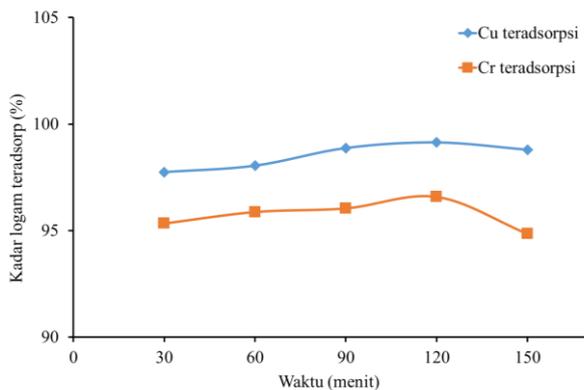
Berdasarkan data pada tabel 1 terlihat pada adsorben A₂ mengalami penurunan luas permukaan dan total volume pori sebesar 39,83% dan 21,89%, sedangkan rata-rata pori mengalami peningkatan sebesar 29,54%. Hal ini terjadi karena adanya penambahan PVA yang berperan selain sebagai penyumbang gugus OH juga

dapat berperan sebagai perekat antara tongkol jagung-bulu ayam dan porogenitas. Dampak penambahan ukuran pori adalah akan mempengaruhi kemampuan adsorben dalam melakukan penyerapan terhadap ion logam campuran tembaga dan kromium sehingga hasil yang diperoleh menjadi maksimal.

Optimasi Penyerapan Campuran Ion Logam Tembaga dan Kromium oleh Adsorben A₁ dan A₂

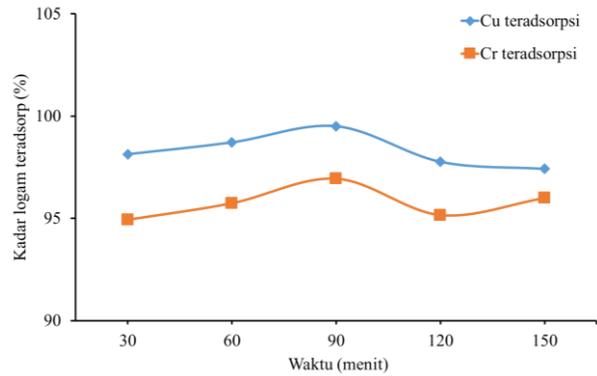
Variabel Waktu Kontak

Kondisi terbaik untuk waktu kontak dilakukan pada variasi waktu antara 30 sampai 150 menit dengan selang waktu 30 menit yang bertujuan untuk mendapatkan waktu kontak terbaik pada penyerapan campuran ion logam tembaga dan kromium oleh adsorben A₁ maupun adsorben A₂. Salah satu variabel yang mempengaruhi proses penyerapan adalah waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat. Menurut Cheremisinoff dan Ellerbusch [10], 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 [11]. Pengaruh waktu kontak terhadap adsorpsi ion logam campuran tembaga dan kromium oleh adsorben A₁ dan adsorben A₂ dilihat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara waktu dengan % kadar logam teradsorpsi oleh adsorben A₁

Pada gambar 5 menunjukkan bahwa adsorpsi ion logam tembaga dan kromium oleh adsorben A₁ mengalami penyerapan terbaik yang sama yaitu pada waktu 120 menit setelah itu pada waktu 150 menit mengalami penurunan adsorpsi. Sedangkan pada gambar 6 untuk adsorben A₂ waktu kontak terbaik yang diperoleh dari ion logam tembaga dan kromium yaitu pada waktu 90 menit, setelah itu pada waktu 120-150 menit mengalami penurunan adsorpsi. Hal ini dikarenakan waktu kontak antara adsorben dan adsorbat yang melebihi waktu kontak terbaik dapat menyebabkan desorpsi. Desorpsi merupakan pelepasan adsorbat dari permukaan adsorben. Fenomena ini terjadi akibat permukaan adsorben telah jenuh, sehingga molekul adsorbat yang telah terjerap kembali kedalam larutan [12].

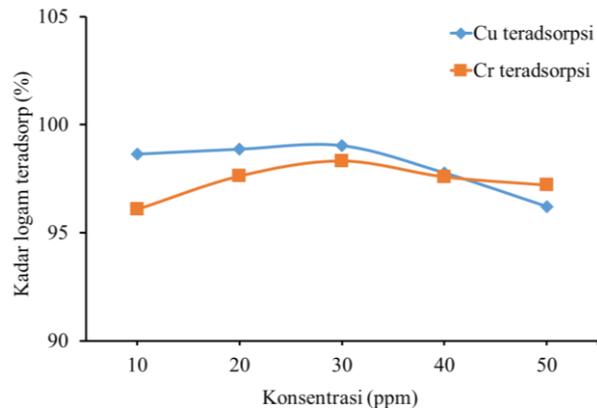


Gambar 6. Grafik Hubungan antara waktu dengan % kadar logam teradsorpsi oleh adsorben A₂

Waktu adsorpsi terbaik untuk adsorben A₂ lebih singkat jika dibandingkan dengan adsorben A₁. 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.

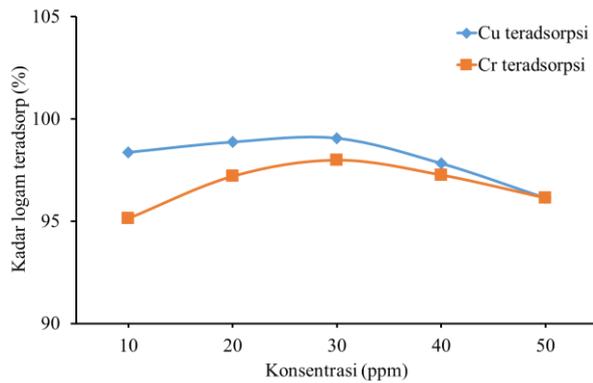
Variabel Konsentrasi

Adsorpsi ion logam tembaga dan kromium pada variasi konsentrasi dilakukan pada kondisi waktu kontak terbaik untuk adsorben A₁ yaitu 120 menit sedangkan waktu kontak terbaik 90 menit untuk adsorben A₂ dan pH yang telah ditetapkan yaitu pada pH 5. Semakin besar konsentrasi larutan campuran ion logam tembaga dan kromium maka kemampuan adsorpsi adsorben A₁ dan adsorben A₂ juga semakin meningkat.



Gambar 7. Grafik hubungan antara konsentrasi dengan % kadar logam teradsorpsi oleh adsorben A₁

Terlihat pada gambar 7 dan 8, % kadar ion logam tembaga dan kromium oleh adsorben A₁ maupun adsorben A₂ mencapai konsentrasi terbaik yang sama yaitu pada 30 ppm. Hal ini disebabkan dengan semakin besar konsentrasi larutan logam maka akan semakin banyak molekul ion logam yang berinteraksi dengan adsorben sehingga pada suatu saat akan mencapai batas optimum adsorpsi.



Gambar 8 Grafik hubungan antara konsentrasi dengan % kadar logam teradsorpsi oleh adsorben A₂

Kapasitas adsorpsi maksimum masing-masing ion logam tembaga dan kromium oleh adsorben A₁ dan A₂ dapat diinterpretasikan data yang dihasilkan dengan isotherm adsorpsi *Langmuir*. Hasil perhitungan dari data tersebut diperoleh kapasitas adsorpsi maksimum oleh adsorben A₁ untuk ion logam tembaga dan kromium sebesar 2,02.10⁻³ mol g⁻¹ dan 1,49.10⁻³ mol g⁻¹. Sedangkan hasil perhitungan data kapasitas adsorpsi maksimum ion logam tembaga dan kromium oleh adsorben A₂ sebesar 2,49.10⁻³ mol g⁻¹ dan 1,63.10⁻³ mol g⁻¹.

Dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan kapasitas adsorpsi maksimum tembaga dan kromium oleh adsorben A₂ lebih besar dibandingkan adsorben A₁. Hal ini dikarenakan adsorben A₂ memiliki gugus yang bermuatan negatif lebih banyak sehingga logam yang bermuatan positif dapat berinteraksi dengan adsorben baik secara fisis maupun kimia.

Oscik [13] menyatakan bahwa jenis interaksi antara logam dan adsorben dapat dilakukan dengan menghitung energi adsorpsi berdasarkan rumus :

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

K adalah tetapan kesetimbangan adsorpsi yang diperoleh dari persamaan Langmuir dan energi total adsorpsi sama dengan energi bebas Gibbs. Dari perhitungan energi adsorpsi diperoleh data yg ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2: Energi Adsorpsi Ion Logam Tembaga dan Kromium oleh Adsorben A₁ dan A₂

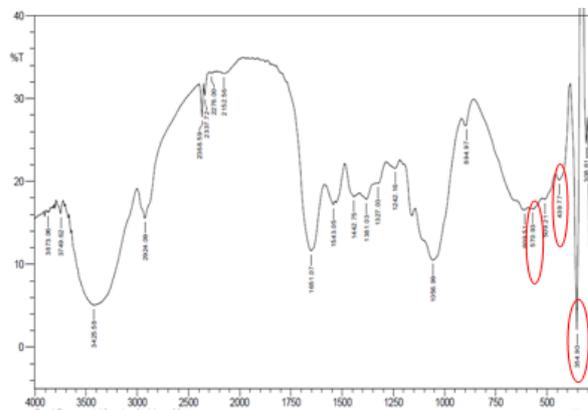
Adsorben / Ion logam	Konstanta kesetimbangan adsorpsi (K)	Energi Adsorpsi (kJ mol ⁻¹)
A ₁	Cu	43874,85
	Cr	19120,45
A ₂	Cu	31771,44
	Cr	14537,84

Tabel 2 menunjukkan bahwa adsorpsi campuran ion logam tembaga dan kromium, baik oleh adsorben A₁ maupun A₂ dikategorikan sebagai adsorpsi secara kimia (kemisorpsi) yang melibatkan ikatan langsung antara adsorbat dengan gugus aktif adsorben. Adsorpsi kimia (kemisorpsi) terjadi apabila energi adsorpsi lebih dari 20,92 kJ mol⁻¹ [14]. Akan tetapi untuk adsorpsi ion logam tembaga dan kromium kemungkinan terjadi tidak hanya

secara kimia saja tetapi juga secara fisik, hanya saja interaksi kimia lebih dominan dibandingkan interaksi secara fisik. Hal ini dimungkinkan karena selain adsorpsi secara kimia terdapat juga kontribusi adsorpsi secara fisik, sebab pada kenyataannya hampir tidak semua adsorpsi hanya mengikuti satu jalur mekanisme saja [15].

Setelah dilakukan penyerapan oleh adsorben A₂ dan dikarakterisasi dengan menggunakan spektroskopi FTIR. Berdasarkan hasil spektra adsorben setelah mengadsorpsi campuran ion logam tembaga dan kromium terjadi penambahan gugus yang berasal dari logam yang diserap. Hal ini ditunjukkan dengan adanya pergeseran bilangan gelombang pada gugus spektra FTIR adsorben A₂ setelah adsorpsi yaitu pada 570 cm⁻¹ menunjukkan serapan Cu-O [16], pada bilangan gelombang 439 cm⁻¹ menunjukkan serapan Cu-N [17] dan pada 354 cm⁻¹ menunjukkan serapan Cr-O.

Berikut hasil FTIR adsorben A₂ setelah mengadsorpsi campuran ion logam tembaga dan kromium dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Spektra FTIR Adsorben A₂ setelah mengadsorpsi campuran ion logam tembaga dan kromium

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa adsorben A₂ dapat digunakan sebagai adsorben dalam penyerapan ion logam. Hasil karakterisasi FTIR menunjukkan adanya penambahan gugus OH pada adsorben (A₂), sedangkan dengan BET menunjukkan adsorben A₂ mengalami penurunan luas permukaan dan total volume pori sebesar 39,83% dan 21,89%, sedangkan rata-rata ukuran pori mengalami kenaikan sebesar 29,54%. Kemampuan adsorben A₁ maupun A₂ terhadap penyerapan campuran ion logam tembaga dan kromium waktu kontak terbaik adalah 120 dan 90 menit dengan konsentrasi terbaik (1:1) sama yaitu 30 ppm. Kapasitas adsorpsi maksimum oleh adsorben A₁ maupun A₂ untuk ion logam tembaga sebesar 2,02.10⁻³ mol g⁻¹ dan 2,49.10⁻³ mol g⁻¹, sedangkan untuk ion logam kromium sebesar 1,49.10⁻³ mol g⁻¹ dan 1,63.10⁻³ mol g⁻¹.

5. Daftar Pustaka

[1] Corie Indria Prasasti, J Mukono, Sudarmaji Sudarmaji, Toksikologi Logam Berat B₃ dan

- Dampaknya terhadap Kesehatan, *Jurnal Kesehatan Lingkungan Unair*, 2, 2, (2006)
- [2] R Ramya, P Sankar, S Anbalagan, PN Sudha, Adsorption of Cu (II) and Ni (II) ions from metal solution using crosslinked chitosan-g-acrylonitrile copolymer, *International journal of environmental sciences*, 1, 6, (2011) 1323
- [3] Shamik Chowdhury, Papita Das Saha, Biosorption of methylene blue from aqueous solutions by a waste biomaterial: hen feathers, *Applied Water Science*, 2, 3, (2012) 209-219 <http://dx.doi.org/10.1007/s13201-012-0039-0>
- [4] R. Leyva-Ramos, L. E. Landin-Rodriguez, S. Leyva-Ramos, N. A. Medellin-Castillo, Modification of corn cob with citric acid to enhance its capacity for adsorbing cadmium(II) from water solution, *Chemical Engineering Journal*, 180, (2012) 113-120 <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.021>
- [5] Klaus J Lorenz, Karel Kulp, Handbook of cereal science and technology, Marcel Dekker, New York, 1991.
- [6] 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)
- [7] 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>
- [8] Robert Milton Silverstein, G. Clayton Bassler, Terence C. Morrill, Spectrometric Identification of Organic Compounds, 4 ed., Wiley, 1981.
- [9] Hardjono Sastroamidjojo, Spektroskopi, *Yogyakarta: Liberty*, (1991)
- [10] Paul N Cheremisinoff, Fred Ellerbusch, Carbon adsorption handbook, Ann Arbor Science Publishers, 1978.
- [11] SM Khopkar, Analitik, Konsep Dasar Kimia, UI Press, Jakarta, 1990.
- [12] PW Atkins, Kimia Fisika jilid II. Kartohadiprodo II, penerjemah; Rohhadyan T, editor, in, Oxford: Oxford University Press. Terjemahan dari: Physical Chemistry, 1999.
- [13] Oscik, Adsorption, First Edition ed., Ellis Horwood Limited, England, 1982.
- [14] AW Adamson, Physical chemistry of surfaces, John Willey and sons Inc, *New York*, (1990)
- [15] dyah Purwaningsih, Interaksi Cr (III) dan Cr (VI) dengan gugus etilendiamin yang terimobilisasi pada silika melalui proses Sol-Gel, Departemen Kimia, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- [16] Kazuo Nakamoto, Infrared and Raman Spectra of Inorganic and Coordination Compound, Third Edition ed., John Wiley and Sons Inc, New York, 1978.
- [17] Enrique J Baran, Structural data and vibrational spectra of the copper (II) complex of L-selenomethionine, *Zeitschrift für Naturforschung B*, 60, 6, (2005) 663-666 <http://dx.doi.org/10.1515/znb-2005-0609>