

Kopolimerisasi Cangkok Polivinilpirolidon dan Akrilamida pada Selulosa untuk Adsorben Ion Logam Cu

Polyvinylpyrrolidone and Acrylamide Graft Copolymerization onto Cellulose for Cu (II) Metal Ion Adsorption

R. N. Zahra^{1*}, M. Suhartini², S. Prayitno², J. Melawati³

¹ Teknik Kimia Polimer, Politeknik Sekolah Tinggi Manajemen Industri Jakarta
Jl. Letjend Suprpto No.26, Cempaka Putih, Jakarta 10510, Indonesia

² Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

³ Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Jakarta 12440, Indonesia

* E-mail : rahma.fatimahtuz@gmail.com

ABSTRAK

Selulosa merupakan polimer alami yang berlimpah ketersediannya. Selulosa tidak memiliki rantai samping, sehingga molekul penyusunnya terstruktur dengan baik yang menyebabkan selulosa sulit untuk berinteraksi dengan senyawa lain. Pencangkokan menggunakan metode iradiasi simultan dalam penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan adsorben ion logam berat berbahan dasar selulosa. Polivinilpirolidon (PVP) dan akrilamida (AAm) dicangkokkan pada selulosa menggunakan inisiator sinar gamma (γ) dari sumber kobalt-60. Hasil penelitian menunjukkan bahwa derajat kopolimerisasi cangkok selulosa-g-PVP-AAm tertinggi didapat pada dosis iradiasi 30 kGy, dengan komposisi PVP-AAm sebesar 50% masing masing dari berat selulosa. Derajat pembengkakan sel-g-PVP-AAm menurun 127% dibandingkan dengan selulosa asli. Kapasitas adsorpsi maksimum sel-g-PVP-AAm terhadap ion logam Cu (II) adalah 25,58 mg/g, naik 82,71% lebih tinggi dibandingkan selulosa asli. Keberhasilan pencangkokan dibuktikan dengan adanya penyerapan bilangan gelombang pada 1655 cm^{-1} yang merupakan gugus C=O dari PVP dan AAm dan bilangan gelombang 1424 cm^{-1} yang merupakan gugus C-C dari PVP dan gugus C-N dari AAm. Adsorpsi ion logam Cu (II) oleh kopolimer sel-g-PVP-AAm mengikuti mekanisme isoterm Langmuir.

Kata kunci: selulosa, polivinilpirolidon, akrilamida, adsorben, sinar gamma

ABSTRACT

Cellulose is a natural polymer that is abundant in its availability. Cellulose does not have side chains, with the result that the molecular composition is well structured which makes it difficult to interact with other compounds. Grafting using the simultaneous irradiation method in this study was carried out to obtain heavy metal ion adsorbent with cellulose as based material. The polyvinylpyrrolidone (PVP) and acrylamide (AAm) were grafted onto cellulose by the simultaneous radiation method using gamma rays (γ) from cobalt-60 sources. The results showed that the highest grafting degree of cellulose-g-PVP-AAm obtained at irradiation doses of 30 kGy, with a PVP: AAm composition of 50% by cellulose weight respectively. Swelling ratio of Cell-g-PVP-AAm decreased of 127% compared to that original cellulose. The maximum adsorption capacity of Cell-g-PVP-AAm against Cu (II) metal ions is 25.58 mg/g, which increased 82.71% higher than that original cellulose. The success of grafting is proven by the absorption of the wave number 1655 cm^{-1} which is a C=O function of PVP and AAM and wave number 1424 cm^{-1} which is the C-C function of PVP and the C-N function of AAm. Adsorption of Cu (II) metal ions from the g-PVP-AAm cell-graft copolymer follows the Langmuir isotherm mechanism.

Keywords: cellulose, polyvinylpyrrolidon, acrylamide, adsorbent, gamma rays

PENDAHULUAN

Proses adsorpsi adalah satu dari banyak metode populer yang digunakan untuk menghilangkan ion logam berat karena kesederhanaannya, kemudahan, dan efisiensi penghilangan yang tinggi [1]. Adsorpsi adalah proses terikatnya suatu zat yang berada sebagai fasa gas atau fasa cair atau dalam larutan pada permukaan suatu padatan. Adsorben merupakan tempat terikatnya padatan dan padatan yang terikat disebut adsorbat [2].

Selulosa sangat potensial untuk digunakan sebagai adsorben. Gugus hidroksil pada selulosa membuatnya menjadi polimer yang dapat mengadsorpsi ion logam [3]. Selulosa merupakan senyawa yang hidrofilik sehingga derajat pengembangan airnya tinggi. Selain itu selulosa juga memiliki stabilitas termal yang baik. Namun, struktur molekul selulosa membatasi penggunaannya dalam studi adsorpsi tanpa melakukan modifikasi yang sesuai. Sintesis kopolimer cangkok selulosa dengan mencangkok polimer sintetik yang menghasilkan fungsi spesifik adalah salah satu cara yang paling efisien untuk memodifikasi sifat fisik dan kimia selulosa [4].

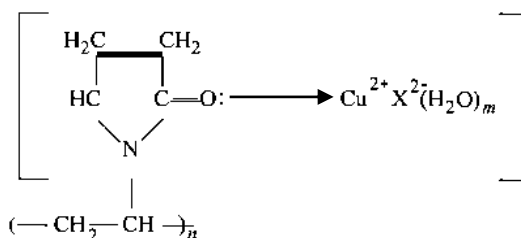
Metode kopolimerisasi cangkok secara ekonomi menguntungkan, mudah dikontrol, dan sederhana. Teknik pencangkokan yang diinduksi radiasi adalah strategi pencangkokan yang sangat menjanjikan untuk menghasilkan keterikatan berbagai polimer pada banyak substrat tanpa residu inisiator dan katalis [4]. Pencangkokan yang diinduksi radiasi dapat dicapai dengan menggunakan berbagai jenis sumber radiasi. Jenis radiasi yang telah umum digunakan adalah sinar γ , berkas elektron, dan radiasi sinar UV. Kopolimerisasi cangkok yang menggunakan radiasi biasanya berlangsung dengan mekanisme radikal bebas [5].

Polivinilpirolidon (PVP) digunakan sebagai polimer untuk dicangkokkan pada selulosa (sel-g-PVP) karena memiliki atom nitrogen hidrofilik serta gugus karboksil yang menunjukkan afinitas tinggi terhadap air. Modifikasi selulosa dengan PVP akan meningkatkan interaksi antara gugus polar dari selulosa. Hasilnya selulosa modifikasi tersebut meningkat kemampuan adsorpsinya pada logam Cu(II) sebesar 32% [6].

PVP juga sebagai bahan untuk mensintesis hidrogel dengan mencangkoknya pada akrilamida (AAM) (PVP-g-AAM) menggunakan inisiator

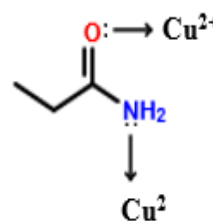
sinar gamma. Hidrogel sendiri merupakan jaringan dalam rantai polimer yang bersifat hidrofilik, memiliki ikatan silang alami dan sering digunakan sebagai *superabsorbent* [7]. AAm juga digunakan sebagai monomer untuk dicangkokkan pada selulosa metil karboksilat. AAm digunakan untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi dalam air karena sifatnya yang hidrofilik dan meningkatkan kemampuan selulosa hasil cangkok dalam mengikat ion logam karena adanya senyawa amida [8].

Nikiforova dkk. menyatakan ion logam Cu(II) akan terikat pada pasangan elektron bebas dari atom O pada PVP dengan membentuk ikatan kovalen koordinat. Atom O akan memberikan elektronnya untuk digunakan bersama dengan ion logam Cu(II) [6]. Atom N pada PVP dapat pula menjadi situs terikatnya ion logam Cu(II), tetapi posisi atom N tidak memungkinkan terjadinya ikatan karena atom N telah terikat pada tiga atom C sehingga pasangan elektron bebasnya akan sulit berkoordinasi dengan ion logam Cu. Ilustrasi ikatan antara O dan Cu seperti Gambar 1.



Gambar 1. Ikatan kovalen koordinat antara PVP dengan ion logam Cu(II). [6]

Berdasarkan pernyataan di atas, terikatnya logam Cu(II) pada senyawa AAm juga akan membentuk ikatan antara logam Cu(II) dengan atom O dan N. Tetapi, kapasitasnya akan lebih besar karena terdapat atom N dan atom O yang posisinya sangat memungkinkan untuk terjadinya ikatan antara atom N dan O dengan ion logam Cu(II). Ilustrasi ikatan kovalen koordinat antara atom N dan O dengan ion logam Cu(II) ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Ikatan kovalen AAm dengan ion logam Cu(II).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan yang digunakan adalah selulosa alami yang diperoleh dari jerami padi produksi Laboratorium PAIR BATAN, akrilamida (Merck), polivinilpirolidon (Merck).

Alat

Alat yang digunakan adalah Iradiator IRKA Cobalt-60, *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS) Analytik Jena Contr AA 800, dan *Fourier Transform Infrared* (FTIR) Nicolet iS10.

Cara Kerja

Kopolimerisasi cangkok [3]

Selulosa dengan bobot 3 g direndam dalam campuran PVP-AAm (50:50) dan (25:25) dari berat selulosa dalam 20 mL larutan lalu dimasukkan ke dalam plastik polipropilena dan ditutup. Sampel kemudian diradiasi dengan sinar gamma pada dosis iradiasi 20 kGy; 25 kGy; 30 kGy dan 40 kGy pada laju dosis 2,5 kGy/jam. Kopolimer yang dihasilkan kemudian dicuci dengan air untuk menghilangkan homopolimer yang mungkin terbentuk dan disaring dengan saringan *stainless steel* untuk selanjutnya dikeringkan dalam oven pada suhu 90 °C sampai bobot tetap. Persentase pencangkakan dihitung menggunakan (%G), persamaan (1) sebagai berikut:

$$\%G = \frac{w_1 - w_0}{w_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- w_0 = Bobot selulosa hasil delignifikasi sebelum dicangkakan (gram)
- w_1 = Bobot selulosa hasil delignifikasi tercangkakan (gram)

Analisis gugus fungsi kopolimer dengan FTIR

Kopolimer sel-g-PVP-AAm dan selulosa murni dengan ukuran 1x1 cm diletakkan pada alat. Spektra IR yang dihasilkan dibandingkan antara sel-g-PVP-AAm dengan selulosa murni.

Penentuan derajat pengembangan air

Kopolimer sel-g-PVP-AAm dengan bobot lebih kurang 5 mg dan merupakan sampel dengan derajat pencangkakan tertinggi dimasukkan ke dalam tabung gelas yang berisi 50 ml aquades. Sampel dibiarkan selama 24 jam. Setelah

perendaman, sampel diangkat dari larutan, dan sisa air pada permukaan adsorben dikeringkan dengan kertas saring. Derajat pengembangan ditentukan melalui persamaan (2):

$$\%swelling = \frac{W_2 - W_1}{W_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

w_1 = Bobot selulosa sebelum direndam (gram)

w_2 = Bobot selulosa setelah direndam (gram)

Aplikasi

Selulosa hasil modifikasi PVP-AAm diaplikasikan dalam logam tembaga (II). Sampel sel-g-PVP-AAm sebanyak 15 mg dimasukkan ke larutan ion logam Cu(II) dengan konsentrasi 3, 5, 7, dan 10 ppm dalam wadah erlenmeyer. Kemudian erlenmeyer diletakkan pada *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 3 jam. Selanjutnya sampel yang sudah dikocok didiamkan beberapa saat agar adsorben dan filtrat terpisah, lalu filtrat dimasukkan ke dalam botol sampel. Filtrat yang dihasilkan dianalisis menggunakan *Atomic Absorption Spectroscopy* (AAS). Hasil absorbansi yang diperoleh kemudian dipakai sebagai perhitungan untuk menentukan isotermal adsorpsi yang sesuai. Isotermal adsorpsi yang umum digunakan adalah isotermal Langmuir dan isotermal Freundlich. Persamaan (3) adalah persamaan matematis isotermal Langmuir [9].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_o b} + \frac{1}{Q_o} C_e \quad \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- C_e = konsentrasi kesetimbangan (mg/L)
- q_e = jumlah zat yang teradsorpsi per gram adsorben (mg/g)
- Q_o = kapasitas adsorpsi (mg/g)
- b = tetapan kesetimbangan adsorpsi (mg/g)

Persamaan (4) merupakan persamaan matematis isotermal Freundlich.

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- q_e = jumlah adsorbat yang terserap tiap satuan berat adsorben (mg/g)
- C_e = konsentrasi setimbang adsorbat dalam fasa larutan (mg/L)
- K_f = kapasitas adsorpsi relatif adsorben (mg/g)
- n = konstanta indikatif

HASIL DAN PEMBAHASAN

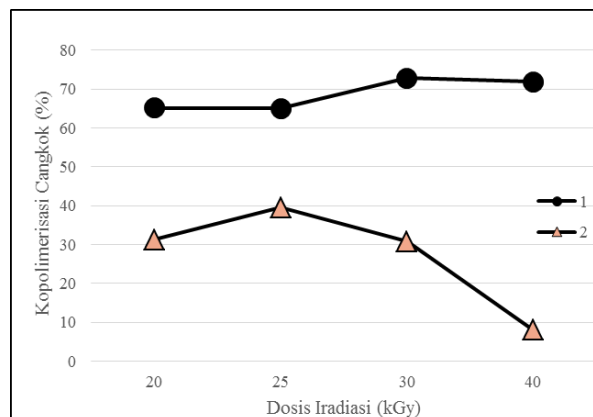
Derajat pengembangan (% swelling)

Hasil pengukuran derajat pengembangan selulosa murni dalam air diperoleh sebesar 344%. Air terserap masuk ke dalam selulosa karena air berinteraksi dengan gugus hidroksil dari selulosa. Selulosa yang dicangkok dengan monomer seperti asam akrilat, akrilamida, atau asam sulfonat 2-metil propana akan bersifat hidrofilik sehingga kopolimer yang dihasilkan akan menyerap air dengan kapasitas yang besar [10]. Hasil derajat pengembangan untuk sel-g-PVP-AAm adalah 217% atau turun 127% dari selulosa murni. Walaupun AA m bersifat hidrofilik dan PVP bersifat hidrofilik terutama pada atom nitrogennya, akan tetapi derajat pengembangan air sel-g-PVP-AA m tidak akan serta merta naik melebihi derajat pengembangan air dari selulosa murni. Hal ini karena penyerapan air bergantung pada gugus hidroksil, ikatan pada kopolimer hasil kopolimerisasi cangkok, dan dosis iradiasi. Swantomo dkk. [11] menyatakan bahwa dosis iradiasi yang tinggi dapat menurunkan kapasitas penyerapan air pada kopolimer sel-g-AA m karena ikatan OH dalam selulosa berkurang setelah mengalami radikalisis bebas dan tergantikan oleh monomer atau polimer yang dicangkok serta dengan meningkatnya dosis iradiasi maka jaringan *cross-link* akan semakin banyak terbentuk yang menyebabkan hanya tersisa sedikit ruang untuk air masuk ke dalam adsorben hasil cangkok.

Kopolimerisasi Cangkok

Perhitungan kopolimerisasi cangkok dilakukan untuk mengetahui banyaknya PVP dan AA m yang terkopoliomerisasi cangkok pada selulosa. Grafik persentase kopolimerisasi cangkok (%G) dengan dosis iradiasi ditunjukkan Gambar 3.

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa derajat kopolimerisasi cangkok meningkat seiring meningkatnya dosis iradiasi, kemudian menurun pada dosis iradiasi yang lebih tinggi. Pada komposisi PVP dan AA m masing masing 50% berat selulosa, penurunan %G mulai terjadi pada dosis radiasi 40kGy, dimana pada dosis iradiasi 40 kGy tersebut mulai terjadi degradasi pada selulosa, sedangkan untuk komposisi PVP dan AA m lebih rendah, yaitu pada komposisi PVP dan AA m masing masing 25% berat selulosa penurunan derajat kopolimerisasi cangkok mulai terjadi pada dosis iradiasi 30 kGy.



Gambar 3. Pengaruh dosis iradiasi pada hasil kopolimerisasi Cangkok

Keterangan :

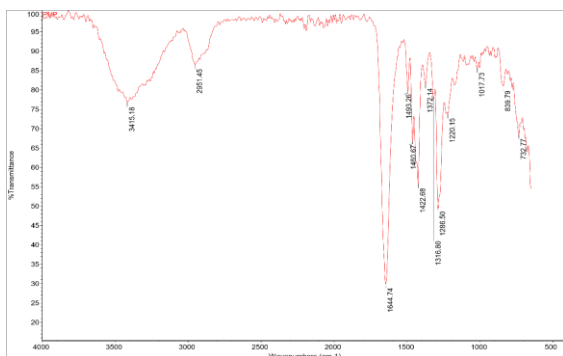
- 1) Selulosa = PVP : AA m = 1 : 0,5 : 0,5.
- 2) Selulosa = PVP : AA m = 1 : 0,25 : 0,25.

Pada konsentrasi PVP dan AA m yang lebih rendah, degradasi selulosa mulai terjadi pada dosis iradiasi 30 kGy. Peningkatan %G dipengaruhi oleh komposisi monomer atau polimer yang dicangkokkan. Meningkatnya jumlah PVP dan AA m pada sampel akan meningkatkan radikal bebas yang dihasilkan yang kemudian bereaksi dengan selulosa, sehingga derajat kopolimerisasi akan meningkat. Berdasarkan strukturnya, AA m mempunyai kecenderungan membentuk ikatan kimia dengan selulosa. Artinya AA m akan lebih mudah tercangkok pada kerangka utama dari selulosa. Asumsi ini didukung oleh penelitian yang dilakukan Swantomo dkk. [11]. Pada penelitian tersebut dikatakan bahwa terjadi pencangkokan akrilamida pada kerangka utama selulosa, sedangkan senyawa PVP mempunyai struktur yang stabil, sehingga akan lebih sulit untuk membentuk ikatan kimia dengan selulosa. PVP akan membentuk ikatan hidrogen yang kuat dengan selulosa. Asumsi ini didukung oleh penelitian yang dilakukan oleh Nikiforova dkk. [6] yang menyatakan bahwa keberhasilan pencangkokan PVP pada kerangka utama selulosa ditandai dengan adanya interaksi intermolekuler dari gugus polar selulosa dengan nitrogen dari PVP.

Pengujian Gugus Fungsi dengan *Fourier Transform Infra Red* (FTIR)

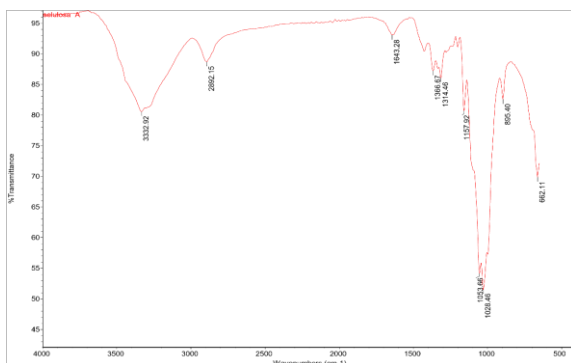
Karakterisasi dengan FTIR dilakukan untuk mengetahui keberhasilan pencangkokan PVP dan AA m pada selulosa. Selulosa murni

dikarakterisasi untuk mengetahui serapan yang muncul sebelum dilakukan pencangkokan dan juga untuk memastikan bahwa isolat yang digunakan adalah benar selulosa. PVP dan AAm juga dikarakterisasi untuk mengetahui serapan yang muncul sebelum dicangkok pada selulosa. Pada Gambar 4 adalah spektrum FTIR selulosa. Pada gambar tersebut dapat dilihat serapan pada bilangan gelombang 3333 cm^{-1} yang merupakan gugus OH ulur intermolekuler, 2892 cm^{-1} merupakan gugus C-H, 1643 cm^{-1} yang merupakan OH deformasi air dan serapan pada bilangan gelombang 895 cm^{-1} yang merupakan karakteristik ikatan β -1,4 glikosida ($C_1\text{-O-C}_4$) pada selulosa. Interpretasi bilangan gelombang tersebut merujuk pada Gurdag dan Sarmad [10].



Gambar 4. Spektrum FTIR selulosa murni

Gambar 5 adalah spektrum FTIR dari PVP. Gugus OH hasil deformasi air ditunjukkan gelombang 3415 cm^{-1} . Bilangan gelombang 2951 cm^{-1} , 1645 cm^{-1} berturut-turut merupakan gugus C-H dan gugus C=O menjadi indikator keberhasilan pencangkokan. Bilangan gelombang 1267 cm^{-1} , 1423 cm^{-1} berturut-turut menunjukkan gugus C-N dan gugus C=C. Interpretasi spektrum FTIR dari PVP ini merujuk pada Voronova dkk. [12].

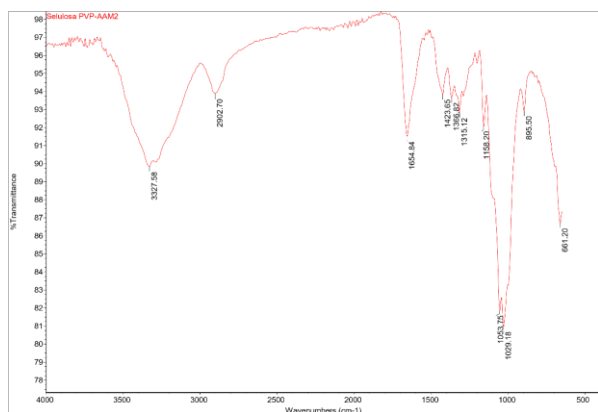


Gambar 5. Spektrum FTIR PVP

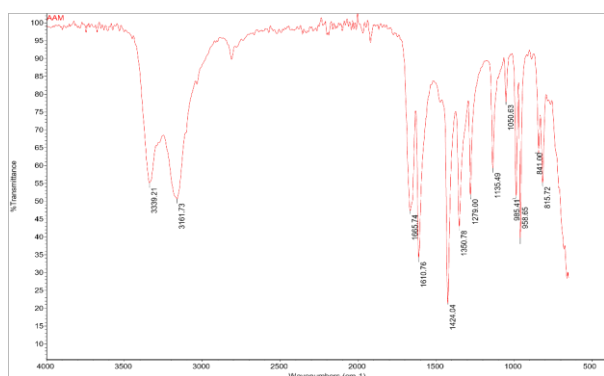
Gambar 6 adalah spektrum FTIR dari AAm. Bilangan gelombang 3339 cm^{-1} dan 3162 cm^{-1} menunjukkan gugus NH_2 ulur. Bilangan gelombang 1666 , 1611 , dan 1424 cm^{-1} menunjukkan gugus fungsi berturut-turut C=O, NH_2 tekuk, dan C-N. Interpretasi ini merujuk pada hasil penelitian Kyaw dan Lay [13].

Spektrum selulosa hasil cangkok ditunjukkan pada Gambar 7, yakni dijelaskan munculnya serapan pada bilangan gelombang 3328 cm^{-1} yang merupakan gugus OH ulur dari selulosa dan NH_2 ulur dari AAm dan OH deformasi air dari PVP saling tumpang tindih. Ghaffar dkk. yang menyatakan bahwa gugus OH ulur selulosa dan gugus NH_2 ulur AAm saling tumpang tindih pada bilangan gelombang 3454 cm^{-1} [8].

Pada sel-g-PVP-AAm muncul serapan pada bilangan gelombang 1655 cm^{-1} yang merupakan gugus C=O dari PVP dan AAm yang tumpang tindih. Bilangan gelombang ini muncul dan menutupi bilangan gelombang 1643 cm^{-1} milik gugus OH deformasi air dari selulosa dan juga menutupi bilangan gelombang 1611 cm^{-1} gugus NH_2 tekuk dari AAm. Tertutupinya bilangan gelombang gugus NH_2 bend senyawa AAm kemungkinan karena serapannya terbaca di rentang yang sama dengan serapan gugus C=O dari PVP dan AAm. Bilangan gelombang 1655 cm^{-1} pada sel-g-PVP-AAm memperlihatkan puncak yang tidak terlalu tajam dan terlihat sedikit belokan berbentuk mirip bahu yang diasumsikan gugus NH_2 dan C=O saling tumpang tindih, dan saat diuji dengan FTIR serapan keduanya menjadi lebih rendah. Bilangan gelombang 1655 cm^{-1} merupakan bukti yang cukup untuk menyatakan bahwa PVP dan AAm tercangkok pada selulosa. Takacs dkk. yang menyatakan bahwa PVP tercangkok pada selulosa ditandai dengan adanya bilangan gelombang 1660 cm^{-1} , pada kasus ini bilangan gelombang 1655 cm^{-1} dianggap mewakili kedua gugus C=O baik dari PVP maupun dari AAm [9]. Ada beberapa bilangan gelombang lain yang juga saling tumpang tindih, diantaranya 2903 cm^{-1} merupakan gugus CH_2 dari selulosa, PVP, dan AAm dan bilangan gelombang 1424 cm^{-1} yang merupakan gugus C-C dari PVP dan gugus C-N dari AAm.



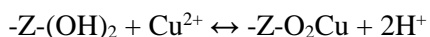
Gambar 6. Spektrum FTIR Aam



Gambar 7. Spektrum FTIR sel-g-PVP-AAm

Aplikasi

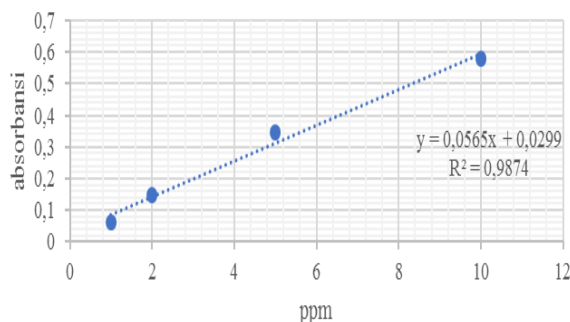
Adsorben yang dihasilkan terdiri dari tiga senyawa dan masing-masing memiliki gugus fungsi aktif. Dari analisis gugus fungsi terlihat bahwa gugus NH₂ dan gugus C=O yang paling besar kemungkinannya menjadi situs pertukaran dengan ion logam. Adsorpsi ion logam Cu(II) juga dapat terjadi dengan terbentuknya ikatan kovalen antara gugus hidroksil dengan ion logam Cu(II). Mekanisme yang terjadi yaitu gugus OH dari adsorben sel-g-PVP-AAm akan bertukar dengan ion logam Cu(II). Reaksi yang terjadi sebagai berikut, dengan Z adalah kopolimer:



Pengujian adsorben sel-g-PVP-AAm pada ion logam Cu(II) dilakukan pada variasi konsentrasi 3, 5, 7, dan 10. Dari data konsentrasi tersebut kemudian dapat ditentukan isoterm adsorpsi yang digunakan. Perhitungan konsentrasi akhir menggunakan persamaan regresi pada kurva kalibrasi yang ditunjukkan oleh Gambar 8.

Isotermal adsorpsi yang sesuai dengan model adsorpsi pada penelitian ini dihitung berdasarkan persamaan (3) dan (4). Perhitungan konsentrasi

awal dan akhir dan logam Cu (II) menggunakan kurva kalibrasi yang ditunjukkan oleh Gambar 8.

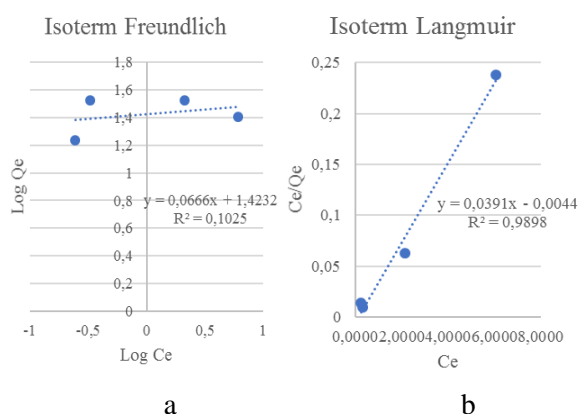


Gambar 8. Kurva kalibrasi

Salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan model isoterm yang paling sesuai adalah nilai koefisien determinasi (R²) paling besar [14]. Dari kurva regresi linier yang dapat dilihat pada Gambar 9a dan 9b, diperoleh nilai R² untuk isoterm Langmuir adalah 0,9898, sedangkan untuk isoterm Freundlich adalah 0,1025. Berdasarkan nilai koefisien determinasi tersebut, dapat dikatakan bahwa isoterm adsorpsi dari sampel adsorben yang digunakan mengikuti model isoterm Langmuir karena koefisien determinasinya lebih besar daripada koefisien determinasi dari isoterm Freundlich. Pada isoterm Langmuir dinyatakan bahwa adsorpsi berjalan secara kimiawi karena terbentuknya ikatan kimia antara adsorbat dengan permukaan adsorben. Isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa adsorpsi terjadi pada permukaan yang sama. Pada isoterm Langmuir regenerasi adsorben sulit terjadi, akibatnya ion logam berat yang telah teradsorpsi oleh adsorben sulit untuk dihilangkan dan memerlukan suatu larutan kimia untuk menghilangkannya.

Hasil R² dari isoterm Langmuir juga membuktikan hipotesis mengenai ikatan antara adsorben dan adsorbat. Ikatan yang terbentuk antara ion logam Cu(II) dengan adsorben sel-g-PVP-AAm adalah ikatan kovalen dan ikatan kovalen koordinat yang merupakan ikatan kimia. Isoterm Freundlich adalah isoterm yang mengasumsikan proses adsorpsi berlangsung pada permukaan yang heterogen, pernyataan tersebut sesuai dengan sifat dari adsorpsi fisika. Berdasarkan hasil nilai R² maupun pernyataan di atas maka dapat dikatakan bahwa Isoterm Freundlich tidak sesuai dengan proses adsorpsi yang terjadi antara ion logam Cu(II) dengan adsorben sel-g-PVP-AAm.

Persamaan linier isoterm Langmuir dapat dilihat pada kurva isoterm pada Gambar 9a. Kapasitas adsorpsi maksimum terhadap ion logam Cu(II) adalah 25,58 mg/g, naik 82,71% bila dibandingkan selulosa tanpa modifikasi yang mempunyai kapasitas adsorpsi terhadap ion logam Cu(II) sebesar 14 mg/g.



Gambar 9. Kurva isoterm, a. Isoterm Freundlich, dan b. Isoterm Langmuir

KESIMPULAN

Keberhasilan pencangkokan PVP dan AAm pada selulosa dapat diketahui dengan munculnya serapan pada bilangan gelombang 1655 cm^{-1} saat dianalisis menggunakan FTIR. Derajat pengembangan selulosa dalam air (% swelling) hasil cangkok turun 127% dan kapasitas adsorpsi maksimum dari selulosa hasil cangkok pada ion logam Cu naik sebesar 82,71% dibandingkan selulosa tanpa modifikasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Sdr. Mudjiono atas bantuannya dalam iradiasi sampel dan kepada PAIR-BATAN yang telah mendukung dana untuk penelitian ini. Meri Suhartini^{2*} adalah kontributor utama pada penelitian dan penulisan jurnal ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.A. Farghalia *et al.*, “Adsorption of Pb (II) ions from aqueous solutions using copper oxide nanostructures”, *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Science*, Vol. 2, pp. 61-71, 2013.
- [2] S. Sulastri dkk., “Kinetika dan keseimbangan adsorpsi ion kromium (III)

dalam larutan pada senyawa silika dan modifikasi silika hasil sintesis dari abu sekam padi”, *Jurnal Penelitian Saintek*, vol. 19, no. 2, pp. 33-44, 2014.

- [3] M. Suhartini, N. Nuryanthi, “Sintesis selulosa-g-asam akrilat-stiren sebagai adsorben ion logam”, *Jurnal Sains Materi Indonesia*, vol.18, no.3, pp.101-108, 2017.
- [4] Barsbay *et al.*, “Porous cellulosic adsorbent for the removal of Cd (II), Pb (II) And Cu (II) ions from aqueous media”, *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 142, pp. 70-76, 2018.
- [5] D.K Kakati, M.M Bora, C. Deka, “Cellulose graft copolymerization by gamma and electron beam irradiation”, *Cellulose-Based Graft Copolymers*. pp. 79-86, 2015.
- [6] T.E. Nikiforova *et al.*, “Copper ion sorption by cellulose sorbents modified with hydrophilic nitrogen-containing polymers”, *Journal of Applied Chemistry*, vol. 83, no. 7, pp. 1170-1175, 2010.
- [7] A.D. Kerrar *et al.*, “Study of bacterium fixation stability on gamma radiation synthesized carriers to improve degradation”, *Journal Bioremed Biodegrad*, vol. 2, no. 2, pp. 1-7, 2011.
- [8] A.M.A. Ghaffar *et al.*, “Radiation-induced grafting of acrylamide and methacrylic acid individually onto carboxymethyl cellulose for removal of hazardous water pollutants”, *Designed Monomers and Polymers*, vol. 19, no. 8, pp. 706-718, 2016.
- [9] E. Takacs *et al.*, “Comparison of simultaneous and pre-irradiation grafting of N-vinylpyrrolidone to cotton-cellulose”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, vol. 265, pp. 217-220, 2007.
- [10] G. Gurdag, S. Sarmad, “Cellulose graft copolymers: synthesis, properties, and applications,” Springer-Verlag, Berlin, 2013.

- [11] D. Swantomo *et al.*, "Synthesis and characterization of graft copolymer rice straw cellulose-acrylamide hydrogels using gamma irradiation", *Atom Indonesia*, vol. 39, no. 2, pp. 57-64, 2013.
- [12] M. Voronova *et al.*, "Preparation and characterization of polyvinylpyrrolidone/cellulose nanocrystals composites", *Nanomaterials*, vol. 8, pp. 1-21, 2018.
- [13] S.W. Kyaw *et al.*, "Effect of gamma radiation on graft copolymerization of rice straw cellulose-acrylamide monomer, *International Journal of Advances in Agricultural & Environmental Engineering*", vol. 3, no. 2, pp. 322-326, 2016.
- [14] M. Yadav *et al.*, "Isotherm investigation for the sorption of fluoride onto Bio-F: Comparison of linear and non-linear regression method", *Appl Water Science*, vol. 7, pp. 4793-4800, 2017.