

## **Pemanfaatan Nitroselulosa dari Selulosa Bakterial Limbah Cair Industri Tahu (nata de soya) sebagai Adsorben Ion Logam Cu(II) dan Cr(VI)**

Ardian Yusron Hamzani

Program Studi Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mataram  
Jalan Majapahit No 62, Mataram, 83125, Indonesia

Email: [ardianyh@gmail.com](mailto:ardianyh@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian mengenai pemanfaatan nitroselulosa dari selulosa bakterial limbah cair industri tahu (*nata de soya*) sebagai adsorben ion logam Cu(II) dan Cr(VI). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan adsorpsi ion logam Cu(II) dan Cr(VI) menggunakan selulosa bakterial tanpa modifikasi (*nata de soya*) dan selulosa bakterial termodifikasi asam nitrat (nitroselulosa). Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap yaitu pembuatan *nata de soya*, pengeringan, pembuatan serbuk *nata de soya*, sintesis nitroselulosa dari serbuk *nata de soya* dan uji adsorpsi. Karakterisasi adsorben dilakukan dengan uji fisik, foto morfologi permukaan dan analisis gugus fungsi dengan FTIR. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa kapasitas adsorpsi optimum *nata de soya* dan nitroselulosa untuk ion logam Cu(II) dan Cr(VI) terjadi pada pH, konsentrasi dan waktu kontak yang sama (pH 5, 250 ppm dan 30 menit) terkecuali pada nitroselulosa untuk ion logam Cr(VI) terjadi pada pH 4. Adapun nilai kapasitas adsorpsi kedua adsorben tidak jauh berbeda, dimana nilai tersebut untuk ion logam Cu (II) lebih besar dibandingkan dengan Cr (VI). Proses adsorpsi mengikuti model isoterm adsorpsi Langmuir dan mengikuti kinetika adsorpsi pseudo orde dua.

**Kata kunci:** *Selulosa bakterial, nata de soya, Nitroselulosa, Adsorpsi.*

## **Utilization of Nitrocellulose from Tofu Industrial Liquid Waste Bacterial Cellulose (*nata de soya*) as Adsorbent of Cu(II) and Cr(VI) Metal Ion**

### **ABSTRACT**

A study about utilization of nitrocellulose from tofu industrial liquid waste bacterial cellulose (*nata de soya*) as adsorbent of Cu(II) and Cr(VI) metal ion have been conducted. The purpose of this research is to know the adsorption capacity of Cu(II) and Cr(VI) metal ions using unmodified bacterial cellulose (*nata de soya*) and bacterial cellulose modified nitric acid (nitrocellulose). This research was done by several steps: synthesis of *nata de soya*, drying, manufacture of *nata de soya* powder, synthesis of nitrocellulose from *nata de soya* and adsorption test. Characterization of adsorbent was performed by physical test, adsorbent morphology surface photo, functional group analysis using FTIR. The results concluded that the optimum adsorption capacity of *nata de soya* and nitrocellulose for Cu (II) and Cr (VI) metal ions occurred at the same pH, concentration and contact time (pH 5, 250 ppm and 30 min) except nitrocellulose for Cr (VI) metal ions occur at pH 4. The adsorption capacity of both adsorbents is not much different, where the value for Cu (II) metal ions is greater than that of Cr (VI). The adsorption process follows the Langmuir adsorption isotherm model and follows the second order pseudo adsorption kinetics.

**Keywords:** *Bacterial Cellulose, nata de soya, Nitrocellulose, Adsorption.*

## 1. PENDAHULUAN

Kegiatan pertambangan di Nusa Tenggara Barat (NTB) secara umum masih dilakukan secara tradisional. Pada metode ini hanya logam emas yang diambil, sementara logam-logam lain yang berasosiasi dengan emas dibuang ke saluran perairan (Inswiasri dkk., 2008). Berdasarkan penelitian Akbar dkk. (2015) kandungan logam berat di beberapa lokasi sekitar tambang (Kecamatan Poto Tano, Taliwang dan Jereweh) menunjukkan konsentrasi logam tembaga (Cu) pada kolom air dan sedimen permukaan di kawasan pesisir Kabupaten Sumbawa Barat berada di atas baku mutu perairan (Kepmen. LH No. 51 tahun 2004) yang telah ditetapkan. Selain itu, kadar logam Cu pada buah dan sayur di daerah sekitar tambang (wilayah tambang kecamatan Sekongkang dan Jereweh Kabupaten Sumbawa Barat) sudah melebihi baku mutu yang ditetapkan oleh BPOM No. 03725/B/SK/VII/89 (Inswiasri dkk., 2008). Selain itu, logam kromium (Cr) mengindikasikan pencemaran meskipun masih berada di bawah baku mutu, tetapi dapat terus meningkat akibat buangan air limbah dari daerah pertambangan yang terus dilakukan sehingga perlu dilakukan upaya untuk mengatasi pencemaran oleh logam berat.

Beberapa metode biologis telah dicoba untuk menghilangkan logam berat yang terdapat di dalam limbah, diantaranya adsorpsi, pertukaran ion (*ion exchange*), dan pemisahan dengan membran. Proses adsorpsi lebih banyak dipakai dalam industri karena mempunyai beberapa keuntungan yaitu lebih ekonomis dan tidak menimbulkan efek samping yang beracun (Nurhasni dkk., 2010). Adsorpsi logam berat telah banyak diteliti dengan menggunakan berbagai adsorben, salah satunya dengan menggunakan selulosa bakterial (BC) yang lebih dikenal sebagai *nata*. Selulosa bakterial memiliki kemurnian yang lebih tinggi dibandingkan selulosa tumbuhan (Awalludin dkk., 2004). Afrizal dan Purwanto (2011)

memanfaatkan *nata de coco* sebagai adsorben ion logam Cu(II) dalam sistem berpelarut air.

Kemampuan adsorpsi BC dapat ditingkatkan dengan cara modifikasi. Modifikasi akan mengubah sifat (kepolaran, morfologi dan reaktifitas) BC. Salah satu metode modifikasi selulosa adalah dengan menggunakan asam nitrat. Modifikasi selulosa dengan asam nitrat, diharapkan gugus nitro (-NO<sub>2</sub>) tersubstitusi ke gugus hidroksi (-OH) pada selulosa sehingga menghasilkan nitroselulosa (NC). Potensi NC sebagai adsorben yang dapat menyerap ion logam berat dilihat dari struktur senyawanya, NC memiliki atom O dengan pasangan elektron bebas sebagai ligan untuk mengikat ion logam.

Penelitian tentang pemanfaatan BC sebagai adsorben logam berat telah banyak dipelajari seperti yang telah disebutkan sebelumnya. Namun, bahan pembuatan BC seperti air kelapa masih memiliki nilai konsumsi, sehingga perlu untuk mencari alternatif lain misalnya pembuatan BC dari limbah. Limbah yang berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi BC adalah limbah cair industri tahu. Limbah cair industri tahu dapat dimanfaatkan menjadi BC yang dikenal sebagai *nata de soya*. Limbah cair industri tahu mengandung bahan organik yang dapat dijadikan sebagai *nata*. Bahan organik yang dimaksud adalah karbohidrat, protein, dan lemak dengan jumlah berturut-turut 2 ; 1,75 ; dan 1,25% (Budiarti., 2008). Pemanfaatan limbah cair dari pembuatan tahu sebagai *nata* juga diharapkan bisa mengurangi pencemaran yang ditimbulkan limbah cair tahu itu sendiri.

## 2. METODE PENELITIAN

### A. Alat-alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah alat-alat gelas, botol vial, nampan plastik, labu kjehdal, pisau, *autoklaf*, *laminar air flow*, *blender*, *rubber bulb*, pompa vakum, oven, desikator, *hot plate*, *shaker*, *digital microscope* RoHS, spektrofotometer FTIR Shimadzu AA-7000 dan AAS AA 6300.

## B. Bahan-bahan Penelitian

Bahan-bahan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah limbah cair industri tahu (diperoleh dari industri tahu di kelurahan kekalik, Mataram, NTB), air kelapa, gula,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , asam asetat, bakteri *Gluconacetobacter xylinus* ANG-29 (diperoleh dari Laboratorium Biologi FMIPA Universitas Mataram),  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , indikator campuran (BCG dan metil merah), akuades, asam borat, asam sulfat, *buffer* sitrat,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , kertas saring, aluminium foil, kapas, kertas *wrap*, HCl, NaOH dan asam nitrat.

## C. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang digunakan dalam pembuatan *starter* bakteri, *nata de soya* (BC) dan serbuk BC mengikuti prosedur yang dilakukan Syamsu dan Tutus (2014).

### 1. Pembuatan *starter* Bakteri

Proses pembuatan *starter* bakteri menggunakan air kelapa sebagai bahan baku. Air kelapa disaring dan diambil filtratnya sebanyak 90% (v/v) dari volume media yang akan dibuat. Filtrat air kelapa dituangkan ke dalam erlenmeyer 1000 mL dan ditambahkan *nutrien* yang terdiri dari gula pasir, *yeast ekstrak* dan amonium sulfat sebanyak 10% ; 0,5 % ; 0,5% (b/v). Campuran diaduk hingga semua bahan larut sempurna (media). Media kemudian disterilisasi dengan *autoklaf* pada suhu 121 °C selama 2 jam. Media didinginkan hingga mencapai suhu 28-30 °C kemudian ditambahkan dengan bakteri *Gluconacetobacter xylinus* sebanyak 10% (v/v) dan diinkubasi selama 3 hari untuk pembentukan *starter*.

### 2. Pembuatan *nata de soya*

Proses pembuatan *nata de soya* (BC) sama dengan proses pembuatan *starter*, tetapi bahan baku air kelapa diganti dengan limbah cair industri tahu. Proses inkubasi pada pembuatan BC dilakukan selama 14 hari.

### 3. Pembuatan serbuk *nata de soya*

*Nata de soya* (BC) dipotong kecil, dicuci dengan air mengalir dan dikupas lapisan terluarnya kemudian direbus hingga mendidih. Perebusan dilakukan sampai tiga kali pengulangan. *Nata de soya* (BC) dierendaman dalam larutan NaOH 1% (b/v) selama 24 jam dan ditiriskan kemudian dinetralkan dengan perendaman dalam larutan asam asetat 1% (v/v) selama 24 jam. *Nata de soya* (BC) ditiriskan dan dinetralkan kemudian rebus dengan akuades hingga mendidih. Perebusan dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan kemudian dihaluskan sampai menjadi bubur dengan *blender*. Bubur BC tersebut kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 6 jam, selanjutnya dihaluskan kembali dengan *blender* sampai menjadi serbuk. Hasil ini kemudian disebut adsorben BC. Serbuk BC kering kemudian dikarakterisasi dengan spektrometer FTIR dan foto morfologi permukaan serta dilakukan uji fisik (bentuk, bau dan warna) dan uji kadar air.

### 4. Modifikasi *nata* dengan asam nitrat (Sulistyawati, 2008)

Serbuk selulosa bakterial (BC) modifikasi ditimbang sebanyak 8 g dan dimasukkan dalam gelas piala 1 L lalu ditambahkan 53 mL asam nitrat 0,6 N dan 10 mL asam sulfat pekat. Campuran dikocok sambil dipanaskan pada suhu 40°C selama 3 jam, kemudian disaring. Residu dikeringkan dalam oven pada suhu 50°C selama 24 jam, kemudian suhu dinaikkan samapai 180°C lalu didinginkan. Selulosa hasil modifikasi direndam dalam akuades panas untuk menghilangkan kelebihan asam dan kembali dikeringkan pada suhu 50°C selama 24 jam. Hasil ini selanjutnya disebut adsorben NC. Nitroselulosa kemudian dikarakterisasi dengan spektrometer FTIR dan foto morfologi permukaan serta dilakukan uji fisik dan uji kadar air.

5. Penentuan kadar nitrogen dan derajat substitusi nitroselulosa (Sudarmadji dkk., 2003 ; Larsson, 2015)

Nitroselulosa (NC) ditimbang sebanyak 0,4 g dan dimasukkan ke dalam labu Kjeldhal. Nitroselulosa (NC) tersebut kemudian ditambahkan 2 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-CuSO<sub>4</sub> (20:1) dan 5 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan dipanaskan pada pemanas listrik sampai terbentuk larutan berwarna biru jernih (destruksi). Hasil destruksi yang sudah dingin kemudian ditambahkan 150 mL akuades, 25 mL NaOH 40% dan batu didih kemudian dilakukan destilasi. Destilat ditampung sampai volume 150 mL pada Erlenmeyer yang berisi 10 mL asam boraks 2% yang telah diberi indikator campuran (BCG dan metil merah). Destilat kemudian dititrasi dengan H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N sampai titik ekuivalen yang ditandakan dengan berubahnya warna indikator dari warna kuning menjadi merah muda. Blanko dikerjakan dengan perlakuan sama seperti sampel. Persentase nitrogen (%N) total kemudian ditentukan sesuai dengan Persamaan 1 berikut :

$$\% N = \frac{(V_1 - V_2) \times N \times 14,01}{m \times 1000} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

% N = kandungan nitrogen total  
V<sub>1</sub> = volume H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> sampel  
V<sub>2</sub> = volume H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> blanko  
N = normalitas H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>  
m = massa sampel

Penentuan derajat substitusi (DS) nitroselulosa dihitung sesuai dengan Persamaan 2 berikut :

$$DS = \frac{3,6 \times \% N}{31,13 - \% N} \quad (2)$$

6. Uji adsorpsi

Penentuan konsentrasi ion logam setelah adsorpsi dilakukan dengan teknik kurva kalibrasi. Kurva kalibrasi dibuat larutan standar ion logam dengan konsentrasi 0 ; 5 ; 50 ; 100 ; 150 ; 200 ; 250 ppm. Kurva kalibrasi dibuat dengan menghubungkan antara konsentrasi larutan standar terhadap

absorbansi sehingga diperoleh persamaan linier sebagai berikut (Persamaan 3) :

$$y = bx + a \quad (3)$$

Keterangan :

y = Absorbansi  
x = Konsentrasi larutan  
a = Intersep (titik potong garis dengan sumbu y)  
b = Slope (garis kemiringan)

Uji kapasitas adsorpsi dilakukan pada pengaruh pH, konsentrasi, waktu kontak dan campuran ion logam. Kapasitas adsorpsi ditentukan dengan menggunakan rumus sesuai Persamaan 4 berikut :

$$Q = \frac{(C_0 - C_e) \times V}{m} \quad (4)$$

Keterangan:

V = Volume larutan (L)  
m = Massa adsorben (g)

a. Pengaruh pH larutan ion logam

Larutan Cu(II) 50 ppm sebanyak 10 mL diatur pH-nya masing-masing dari 2 sampai 7 dengan ditambahkan larutan HCl 0,1 M dan larutan NaOH 0,1 M. Larutan Cu(II) 50 ppm yang telah diatur pH-nya (2-7) lalu ditambahkan 1 mL *buffer* pH. Ditambahkan 0,05 g adsorben dan dikocok selama 30 menit. Konsentrasi ion logam Cu(II) dalam larutan (setelah adsorpsi) ditentukan menggunakan AAS untuk dihitung nilai kapasitas adsorpsinya (Q). Prosedur diulangi terhadap logam Cr (VI).

b. Pengaruh konsentrasi ion logam Cu(II) dan Cr(VI)

Larutan Cu(II) 50; 100; 150; 200 dan 250 ppm sebanyak 10 mL, diatur pada pH optimum, dengan menambahkan HCl 0,1 M atau NaOH 0,1 M. *Buffer* pH sebanyak 1 mL dan adsorben sebanyak 0,05 g ditambahkan, kemudian dikocok selama 30 menit. Larutan disaring kemudian diukur konsentrasinya menggunakan AAS, selanjutnya ditentukan

kapasitas dan isoterm adsorpsi. Prosedur diulangi terhadap logam Cr (VI).

c. Pengaruh waktu kontak

Larutan Cu(II) pada konsentrasi dan pH optimum sebanyak 10 mL ditambah 1 mL *buffer* pH. Adsorben sebanyak 0,05 g ditambahkan dan selanjutnya dikocok, waktu kontaknya divariasikan selama 10, 15, 20, 25, 30 dan 35 menit. Larutan disaring kemudian diukur konsentrasinya menggunakan AAS, selanjutnya ditentukan kapasitas dan kinetika adsorpsi. Prosedur diulangi untuk ion logam Cr (VI).

d. Penentuan kapasitas adsorpsi pada campuran ion logam Cu(II) dan Cr(VI)

Larutan Cu(II) pada kondisi optimum dicampurkan dengan larutan Cr(VI) pada kondisi optimum dengan perbandingan volume larutan Cu(II):Cr(VI) yaitu 4:1, 3:2, 2:3, dan 4:1 (mL/mL). pH diatur pada kondisi pH optimum logam Cu (II) dan Cr (VI). Adsorben sebanyak 0,05 g ditambahkan kemudian dikocok selama waktu kontak optimum logam. Larutan disaring dan diukur konsentrasinya menggunakan AAS serta dihitung kapasitas adsorpsinya. Prosedur diulangi pada kondisi optimum pH dan waktu kontak Cr(VI).

7. Karakterisasi gugus fungsi dan morfologi adsorben

Proses karakterisasi adsorben dilakukan dengan menggunakan alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan mikroskop digital. Karakterisasi menggunakan FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus fungsi pada adsorben setelah adsorpsi. Mikroskop digital digunakan untuk melihat foto morfologi permukaan adsorben setelah proses adsorpsi.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### *Nata de soya.*

Karakter fisik selulosa bakterial (BC) dari limbah cair industri tahu atau yang lebih dikenal dengan *nata de soya* yang

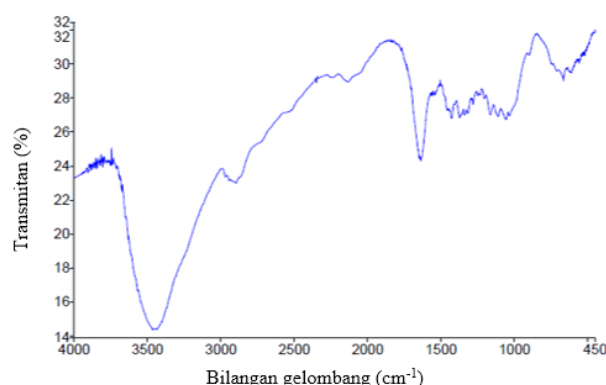
dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Sifat fisik *nata de soya* (BC)

No	Sifat Fisik	<i>Nata de soya</i> (BC)
1	Warna	Putih kekuningan
2	Bau	Berbau asam
3	Bentuk	Lembaran
4	Tekstur	Kenyal dan licin

*Nata de soya* terbentuk dari proses sintesis glukosa menjadi selulosa dengan bantuan bakteri *Gluconacetobacter xylinus*. *Nata de soya* dijadikan serbuk pada aplikasi sebagai adsorben yang bertujuan untuk memperluas permukaan adsorben. Kadar air serbuk BC sebesar 44%.

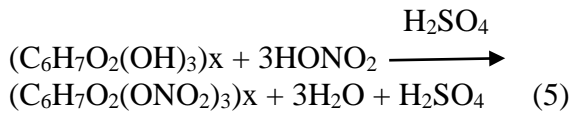
Spektrum FTIR BC sebelum adsorpsi ditunjukkan sesuai Gambar 1 berikut :



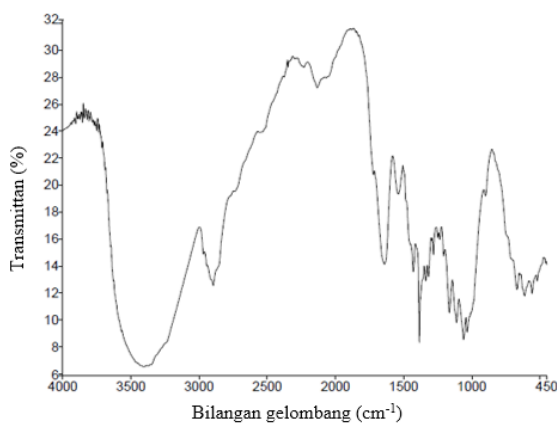
Gambar 1. Spektrum FTIR BC

Spektrum FTIR BC menunjukkan adanya serapan yang khas dari BC pada bilangan gelombang  $3452\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus hidroksil (O-H). Bilangan gelombang  $2920\text{ cm}^{-1}$  menunjukkan adanya vibrasi C-H ulur yang merupakan kerangka pembangun struktur BC dan diperkuat dengan adanya lentur C-H untuk  $-\text{CH}_2-$  pada bilangan gelombang  $1427\text{ cm}^{-1}$ . Vibrasi pada bilangan gelombang  $1641\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya cincin siklis lingkaran enam (piran) dari monomer glukosa. Bilangan gelombang  $1114\text{ cm}^{-1}$  yang menunjukkan adanya gugus C-O pada selulosa.

**Selulosa termodifikasi (nitroselulosa).** Modifikasi selulosa dilakukan dengan mereaksikan selulosa dengan asam nitrat (nitras) sesuai Persamaan 5. Pada proses nitras terjadi reaksi monosubstitusi, dimana gugus nitro (-NO<sub>2</sub>) menggantikan satu gugus -OH. Hal ini dapat ditentukan dari nilai derajat substitusi yang terlebih dahulu dihitung kandungan nitrogen.



Pada penelitian ini, kandungan nitrogen (%N) pada nitroselulosa (NC) hasil sintesis yaitu sebesar 1,31% dengan nilai derajat substitusi sebesar 0,2. Hasil dari nitras selulosa adalah bubuk nitroselulosa (NC) dan memiliki warna kuning dengan nilai kadar air sebesar 9%.



Gambar 2. Spektrum FTIR NC

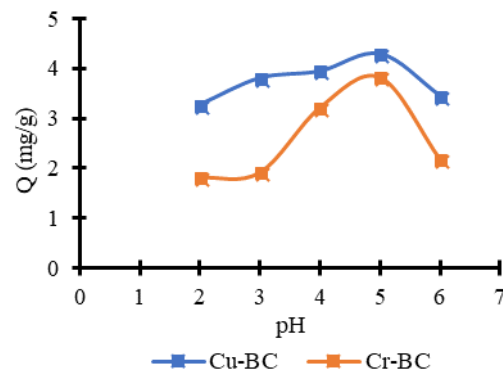
Analisis gugus fungsi NC dengan *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Spektrum FTIR NC (Gambar 2) dapat menunjukkan keberhasilan reaksi nitras, yaitu substitusi gugus -OH dalam selulosa oleh gugus -NO<sub>2</sub> dan membentuk NC. Adanya gugus -NO<sub>2</sub> ditunjukkan pada bilangan gelombang 1510-1660 cm<sup>-1</sup> dan 1260-1390 cm<sup>-1</sup>. Pada penelitian ini gugus -NO<sub>2</sub> ditunjukkan dengan adanya puncak tajam pada 1317, 1337 dan 1539 cm<sup>-1</sup>. Pada bilangan gelombang 3398 cm<sup>-1</sup> menunjukkan masih adanya gugus -OH. Hal ini karena reaksi yang terjadi merupakan monosubstitusi yang memiliki arti bahwa pada molekul selulosa hanya

satu gugus -OH yang digantikan oleh gugus -NO<sub>2</sub>. Adapun vibrasi gugus -CH dan C-O berturut-turut pada bilangan gelombang 2920 dan 1114 cm<sup>-1</sup>.

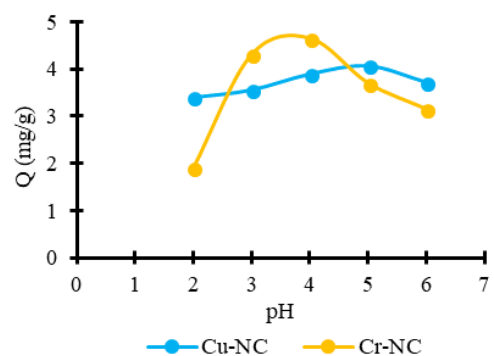
### Uji Adsorpsi

#### Pengaruh pH terhadap kapasitas Adsorpsi (Q).

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa dengan naiknya pH larutan maka jumlah logam teradsorpsi cenderung meningkat sampai pH 5. Hal ini disebabkan karena pada pH yang lebih tinggi akan menyebabkan konsentrasi H<sup>+</sup> dalam larutan semakin menurun, sehingga kompetisi ion logam dengan H<sup>+</sup> untuk berinteraksi dengan adsorben dalam larutan akan lebih rendah dan menyebabkan kapasitas adsorpsi semakin besar (Afrizal, 2008).



(a)



(b)

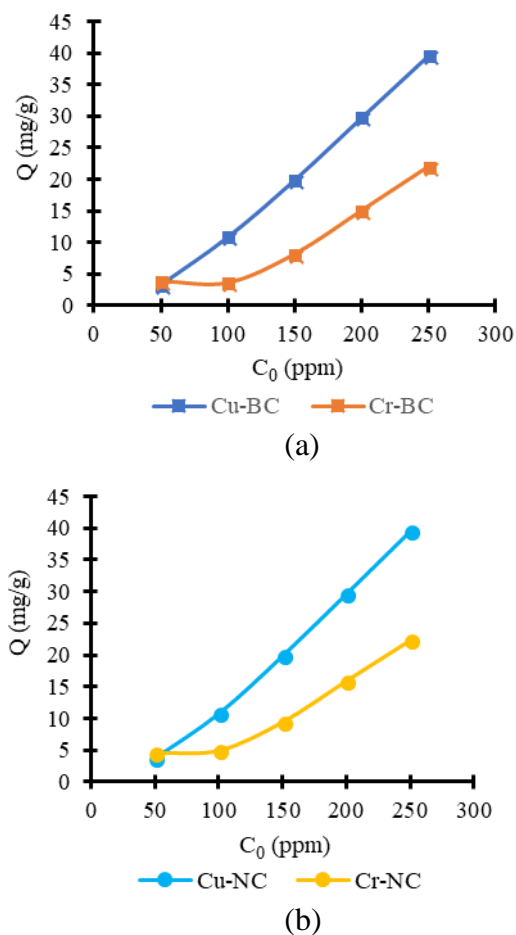
Gambar 3. Pengaruh pH terhadap kapasitas adsorpsi pada adsorben (a) BC dan (b) NC

Terlihat juga adanya penurunan kapasitas adsorpsi dari pH 5 ke pH 6. Hal ini disebabkan pada pH larutan yang lebih

tinggi, adsorben berkompetisi dengan OH<sup>-</sup> untuk berinteraksi dengan ion logam dan ion logam yang ada sebagai kation positif membentuk endapan dengan OH<sup>-</sup>. Ion OH<sup>-</sup> berasal dari penambahan basa pada saat pengaturan pH.

### Pengaruh Konsentrasi ( $C_0$ ) terhadap Kapasitas Adsorpsi ( $Q$ )

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa pada pengaruh konsentrasi larutan ion logam, kapasitas adsorpsi berbanding lurus dengan konsentrasi awal logam.



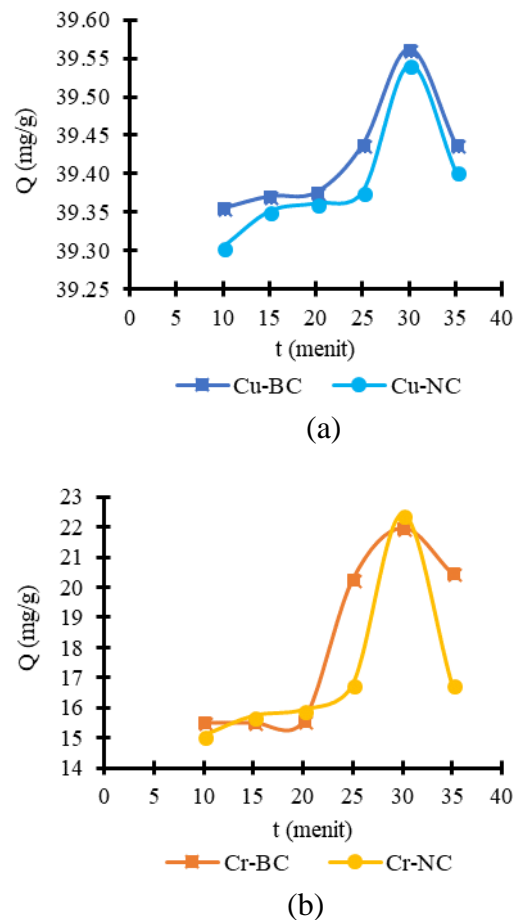
Gambar 4. Pengaruh konsentrasi awal larutan ion logam terhadap kapasitas adsorpsi pada adsorben (a) BC dan (b) NC

Kapasitas adsorpsi yang semakin naik seiring dengan bertambahnya konsentrasi larutan ion logam menandakan logam yang terjerap pada gugus aktif semakin besar. Hal ini disebabkan pada konsentrasi yang

semakin tinggi maka jumlah ion logam dalam larutan akan semakin meningkat sehingga semakin besar kemungkinannya untuk berinteraksi dan terjerap pada adsorben. Konsentrasi 250 ppm belum dapat dikatakan sebagai konsentrasi optimum, karena kapasitas adsorpsi mungkin akan terus bertambah pada konsentrasi yang lebih besar. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian Sulistyawati (2008) yang menyebutkan kapasitas adsorpsi logam oleh selulosa termodifikasi asam nitrat (nitroselulosa) terus naik dengan bertambahnya konsentrasi.

### Pengaruh Waktu Kontak ( $t$ ) terhadap Kapasitas Adsorpsi ( $Q$ )

Berdasarkan Gambar 5 kapasitas adsorpsi BC dan NC cenderung meningkat dengan bertambahnya waktu kontak



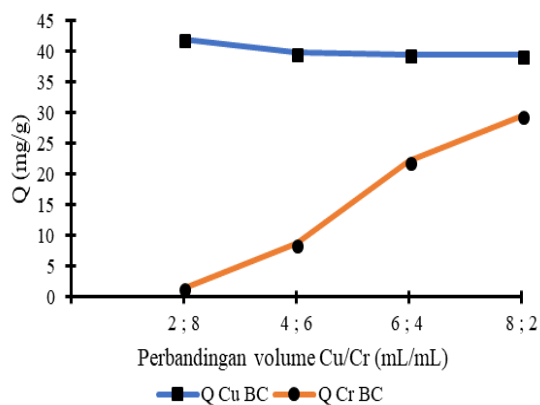
Gambar 5. Pengaruh waktu kontak logam terhadap kapasitas adsorpsi ion logam (a) Cu (II) dan (B) Cr (VI)

Pada waktu kontak 10 menit ke 30 menit kapasitas adsorpsi meningkat tetapi dari waktu 30 menit ke 35 menit kapasitas adsorpsi menurun. Peningkatan kapasitas adsorpsi pada waktu kontak 10-30 menit dikarenakan jumlah ion logam yang berinteraksi dengan gugus aktif pada adsorben semakin bertambah seiring dengan meningkatnya waktu kontak.

Kapasitas adsorpsi pada waktu kontak dari 30 ke 35 menit konsentrasi adsorbat yang teradsorpsi mengalami penurunan, hal ini diperkirakan karena adsorben sudah jenuh dan ion logam yang telah teradsorpsi pada permukaan adsorben mengalami proses desorpsi (Afrizal dan Purwanto, 2011).

### Kapasitas Adsorpsi pada Campuran Larutan Ion Logam

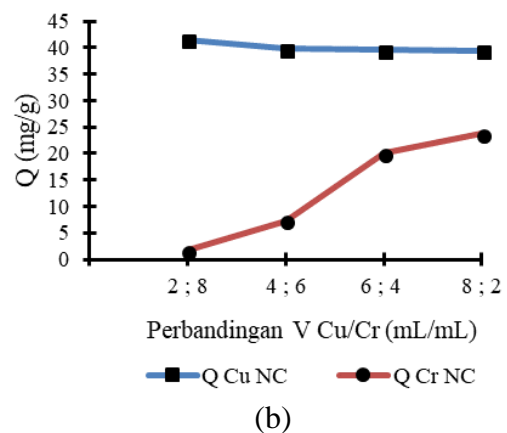
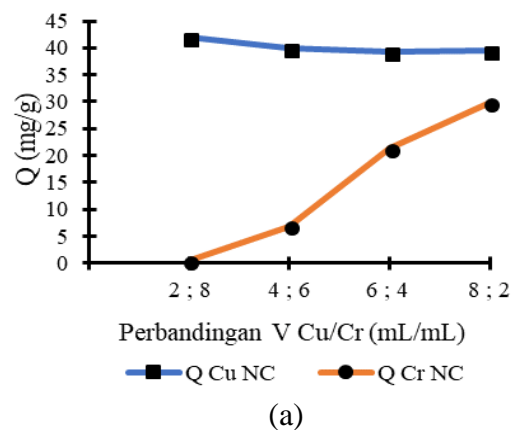
Hasil adsorpsi pada campuran larutan ion logam (Gambar 6 dan 7) menunjukkan kapasitas adsorpsi BC dan NC lebih besar pada ion logam Cu(II) daripada ion logam Cr(VI). Nilai kapasitas adsorpsi ion logam Cu(II) lebih besar daripada ion logam Cr(VI) terjadi untuk semua kondisi, baik pada kondisi optimum ion logam Cu(II) dan ion logam Cr(VI) untuk NC dan BC.



Gambar 6. Grafik adsorpsi BC pada campuran logam Cu(II) dan Cr(VI) (kondisi optimum adsorpsi logam Cu dan Cr sama).

Nilai kapasitas adsorpsi terbesar ion logam Cu(II) dan Cr(VI) oleh BC pada campuran ion logam berturut sebesar

sebesar 41,908 mg/g dan 29,480 mg/g. Nilai kapasitas adsorpsi terbesar ion logam Cu(II) dan Cr(VI) oleh NC pada campuran ion logam berturut sebesar sebesar 41,939 mg/g dan 29,830 mg/g untuk kondisi optimum ion logam Cu(II). Nilai kapasitas adsorpsi terbesar ion logam Cu(II) dan Cr(VI) oleh NC pada campuran ion logam berturut sebesar sebesar 41,511 mg/g dan 23,730 mg/g untuk kondisi optimum ion logam Cr(VI).



Gambar 7. Grafik adsorpsi NC pada campuran larutan logam Cu(II) dan Cr(VI) pada kondisi optimum (a) logam Cu(II) dan (b) Cr(VI)

Kapasitas adsorpsi BC dan NC lebih besar terhadap ion logam Cu(II) dibandingkan Cr(VI) dikarenakan ion Cu(II) memiliki massa molekul relatif yang lebih besar dibandingkan Cr(VI), sehingga ion Cu(II) lebih cepat jatuh dan terjerap pada permukaan adsorben. Ion Cu(II) memiliki jari-jari yang lebih besar (73 pm)



daripada ion Cr(VI) (58 pm) sehingga kemampuan ion Cu(II) menarik molekul air disekitarnya lebih lemah dan pergerakan ion Cu(II) dalam air lebih tinggi (cepat) sehingga lebih mudah sampai ke permukaan adsorben. Selain itu, ion Cu(II) dari CuSO<sub>4</sub> memiliki nomor atom lebih besar dari pada Cr(VI) dari CrO<sub>3</sub> sehingga jumlah proton dalam Cu(II) yang lebih besar dan daya tarik inti dan muatan inti yang dimiliki Cu(II) lebih besar sehingga akan lebih mudah teradsorpsi (Lailiyah, 2013).

Berdasarkan nilai kapasitas adsorpsi BC dan NC pada campuran ion logam, kedua adsorben memiliki nilai kapasitas yang tidak jauh berebeda. Hal ini disebabkan pada modifikasi BC hanya terjadi reaksi monosubstitusi, yaitu hanya satu gugus -OH yang tersubstitusi oleh gugus -NO<sub>2</sub>. Karakter dari adsorben tidak jauh berbeda karena rekasi yang terjadi hanya monosubstitusi sehingga kapasitas adsorpsi BC tidak berbeda jauh dengan NC.

### Isoterm Adsorpsi

Berdasarkan pada Tabel 2 didapatkan bahwa adsorpsi BC dan NC lebih mengikuti model isoterm Langmuir karena memiliki nilai R<sup>2</sup> lebih besar dibandingkan R<sup>2</sup> isoterm Freundlich.

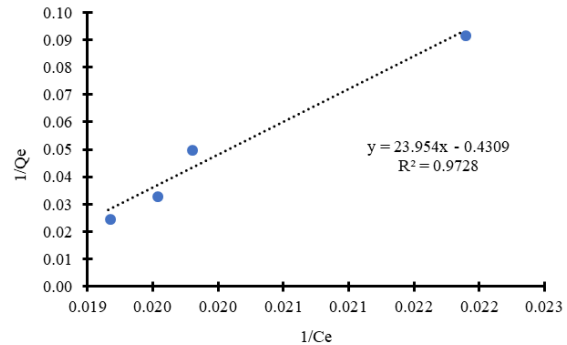
Nilai R<sup>2</sup> isoterm Langmuir untuk BC terhadap ion logam Cu(II) dan Cr(VI) berturut-turut sebesar 0,9728 dan 0,9916. Nilai R<sup>2</sup> isoterm Langmuir untuk NC terhadap logam Cu(II) dan Cr(VI) berturut-turut sebesar 0,9896 dan 0,9961.

Tabel 2. Hasil nilai linearitas model isoterm adsorpsi

Adsorben	Adsorbat	R <sup>2</sup>	
		Langmuir	Freundlich
BC	Cr(VI)	0,9916	0,9902
BC	Cu(II)	0,9728	0,9062
NC	Cr(VI)	0,9961	0,9903
NC	Cu(II)	0,9896	0,934

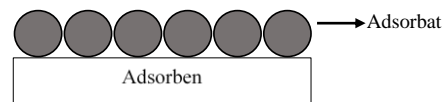
Nilai R<sup>2</sup> diperoleh dari persamaan linier grafik seperti Gambar 8. Grafik isoterm

Langmuir diperoleh dengan memplot nilai 1/Q<sub>e</sub> sebagai sumbu y dan 1/C<sub>e</sub> sebagai sumbu x, sedangkan pada isoterm Freundlich log Q<sub>e</sub> sebagai sumbu y dan log C<sub>e</sub> sebagai sumbu x.



Gambar 8. Grafik isoterm Langmuir ion logam Cu(II) oleh BC

Berdasarkan model isoterm Langmuir tersebut maka permukaan adsorben BC dan NC bersifat homogen yang menyebabkan adsorpsi logam pada permukaan adsorben hanya membentuk satu lapisan (*monolayer*) adsorbat pada permukaan situs aktif adsorben (Sembodo, 2005). Hal tersebut disebabkan karena situs-situs aktif pada adsorben memiliki interaksi yang sama terhadap adsorbat (homogen) sehingga hanya akan mampu membentuk lapisan *monolayer* adsorbat seperti pada Gambar 9. Hasil ini sesuai dengan penelitian Chen dkk. (2009) yang menyatakan selulosa bakterial mengikuti model isotherm Langmuir dan penelitian Sulistyawati (2008) yang menyatakan selulosa termodifikasi asam nitrat (nitroselulosa) mengikuti model Langmuir.



Gambar 9. Lapisan *monolayer* adsorbat pada adsorben

### Kinetika Adsorpsi

Berdasarkan nilai R<sup>2</sup> dapat disimpulkan bahwa adsorpsi BC dan NC lebih mengikuti model kinetika pseudo orde dua karena memiliki nilai R<sup>2</sup> yang lebih besar. Nilai R<sup>2</sup> (Tabel 3) pada model kinetika

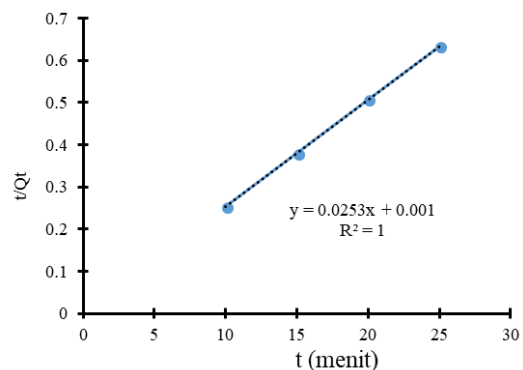
pseudo orde dua untuk BC terhadap ion logam Cu(II) dan Cr(VI) berturut-turut sebesar 1 dan 0,8399. Nilai  $R^2$  untuk NC terhadap ion Cu(II) dan Cr(VI) berturut-turut sebesar 1 dan 0,9972. Nilai  $R^2$  pada model kinetika pseudo orde dua didapatkan dari grafik seperti pada Gambar 10 dengan menghubungkan nilai  $t$  sebagai sumbu  $x$  dan  $t/Q_t$  sebagai sumbu  $y$ .

Tabel 3. Hasil kinetika adsorpsi pseudo orde dua

Adsorben	Adsorbat	Parameter	
		$R^2$	$k$ ( $\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ )
BC	Cu(II)	1	$64,00 \times 10^{-2}$
BC	Cr(VI)	0,8399	$31,80 \times 10^{-2}$
NC	Cu(II)	1	$0,922 \times 10^{-2}$
NC	Cr(VI)	0,9972	$2,65 \times 10^{-2}$

Nilai konstanta kinetika ( $k$ ) pseudo orde dua pada Tabel 3 ditentukan dari persamaan linier grafik rumus  $1/\text{intersep}\cdot Q_e^2$ , sedangkan  $Q_e$  adalah nilai dari  $1/\text{slope}$ . Intersep dan  $\text{slope}$  didapatkan dari persamaan linier  $y = ax + b$ , dimana  $a$  adalah  $\text{slope}$  dan  $b$  adalah intersep. Kinetika reaksi adsorpsi untuk kedua adsorben mengikuti model kinetika pseudo orde dua. Nilai konstanta kinetika ( $k$ ) adsorpsi pseudo orde dua untuk adsorben BC pada ion logam Cu(II) dan Cr(VI) berturut-turut adalah 0,064 dan 0,0318  $\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ . Nilai konstanta kinetika ( $K$ ) adsorpsi pseudo orde dua untuk adsorben NC pada ion logam Cu(II) dan Cr(VI) berturut-turut adalah 0,0092 dan 0,0265  $\text{g}\cdot\text{mg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ .

Model kinetika pseudo orde dua yaitu tahap pembatas laju adsorpsi yang dipertimbangkan adalah adsorpsi secara kimia melalui berbagai mekanisme seperti interaksi elektrostatis, pembentukan kompleks atau pembentukan khelat. Hal ini sesuai dengan penelitian Chen dkk. (2009) dimana selulosa bakterial tanpa modifikasi dan selulosa bakterial modifikasi mengikuti kinetika pseudo orde dua.

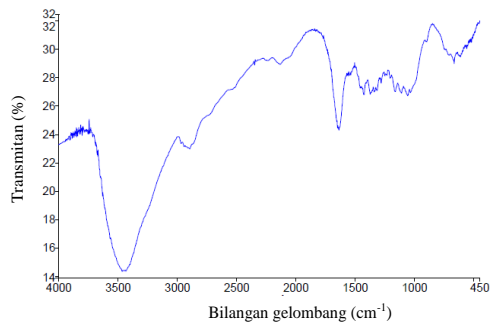


Gambar 10. Grafik kinetika pseudo orde dua pada adsorpsi Cu(II) menggunakan adsorben BC

### Karakterisasi Adsorben setelah Proses Adsorpsi

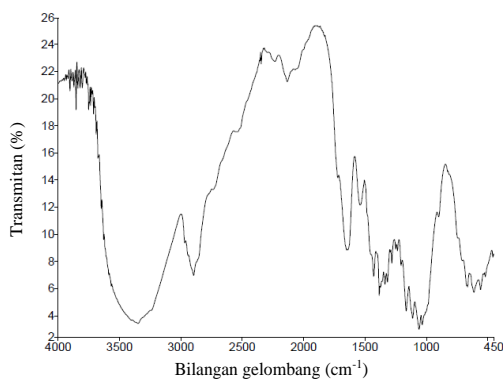
Adsorben setelah proses adsorpsi memiliki karakter kimia dan fisik yang berbeda dengan karakter sebelum adsorpsi. Perubahan ini terjadi karena terjerapnya ion logam pada selulosa. Molekul selulosa memiliki gugus -OH pada atom C2, C3 dan C6 yang berperan sebagai situs aktif pada proses penyerapan. Berdasarkan teori regioselektifitas, gugus -OH pada atom C6 memiliki reaktivitas yang lebih besar untuk berinteraksi karena memiliki hambatan sterik yang lebih kecil dibanding gugus -OH pada atom C2 dan C3 (Wang dkk., 2014). Hambatan sterik gugus -OH pada C6 yang lebih kecil menyebabkan ion logam terjerap pada gugus ini.

Hasil identifikasi gugus fungsi BC dengan FTIR setelah adsorpsi pada Gambar 11 menunjukkan adanya pergeseran gelombang pada serapan selulosa dari bilangan gelombang 3452 ke 3451  $\text{cm}^{-1}$  yang menunjukkan gugus -OH ulur. Adanya pergeseran dari gugus C-O dari eter ditunjukkan pada bilangan gelombang 1114 ke 1164  $\text{cm}^{-1}$ . Spektrum (FTIR) NC setelah proses adsorpsi (Gambar 12) menunjukkan adanya pergeseran gugus -OH dari 3446 ke 3367  $\text{cm}^{-1}$ . Pergeseran gugus -NO<sub>2</sub> dari 1317 ke 1316  $\text{cm}^{-1}$  dan dari 1539 ke 1538  $\text{cm}^{-1}$ .



Gambar 11. Spektrum FTIR BC setelah proses adsorpsi

Pergeseran bilangan gelombang terjadi karena pada gugus fungsi adsorben terdapat logam berat yang telah teradsorpsi. Logam berat pada gugus fungsi inilah yang menyebabkan vibrasi pada gugus fungsi lebih kaku sehingga menyebabkan pergeseran bilangan gelombang. Pergeseran bilangan gelombang gugus -OH pada NC lebih besar daripada BC. Hal ini dikarenakan pada NC ada gugus -NO<sub>2</sub> yang telah tersubstitusi dan menggantikan satu gugus -OH, sehingga jumlah gugus -OH pada molekul NC berkurang. Vibrasi gugus -OH pada NC selain dipengaruhi oleh logam yang teradsorpsi, dipengaruhi juga oleh gugus -NO<sub>2</sub>.

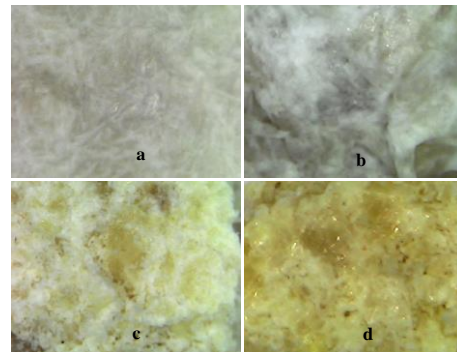


Gambar 12. Spektrum FTIR NC setelah proses adsorpsi

Foto morfologi permukaan selulosa bakterial dan nitroselulosa sebelum adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 13. Pada gambar tersebut dapat dibandingkan bahwa selulosa bakterial dan nitroselulosa sebelum proses adsorpsi memiliki morfologi permukaan yang bersih, rata dan berpori. Hal ini disebabkan karena pada adsorben

masih belum terdapat ion logam (adsorbat) yang terjerap.

Morfologi permukaan adsorben BC dan NC setelah proses adsorpsi terlihat lebih gelap, tidak rata, mengkilap serta pori-pori tertutup. Hal ini disebabkan pada adsorben setelah proses adsorpsi terdapat ion logam Cu(II) dan Cr(VI) yang terjerap sehingga mempengaruhi morfologi adsorben (Afrizal, 2008).



Gambar 13. Foto permukaan BC (a) sebelum dan (b) setelah proses adsorpsi ; NC (c) sebelum dan (d) setelah proses adsorpsi.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan kajian pustaka yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa kapasitas adsorpsi *nata de soya* dan nitroselulosa untuk ion logam Cu(II) dan Cr(VI) terjadi pada pH, konsentrasi dan waktu kontak yang sama (pH 5, 250 ppm dan 30 menit) kecuali untuk nitroselulosa pada ion logam Cr(VI) terjadi pada pH 4. *Nata de soya* dan nitroselulosa memiliki nilai kapasitas adsorpsi yang tidak jauh berbeda serta kapasitas adsorpsi keduanya lebih besar untuk ion logam Cu(II) daripada Cr(VI). Isoterm adsorpsi *nata de soya* dan nitroselulosa untuk logam Cu(II) dan Cr(VI) mengikuti model isoterm Langmuir sedangkan kinetika adsorpsi mengikuti kinetika pseudo orde dua.

## Daftar Pustaka

- Afrizal, 2008, Selulosa bakterial nata de coco sebagai adsorban pada proses adsorpsi logam Cr(III), *Jurnal Gradien*, Vol. 4, No. 1, p. 308-313.
- Afrizal dan Purwanto, A., 2011, Pemanfaatan selulosa bakterial nata de coco sebagai adsorban logam Cu(II) dalam sistem berpelarut air, *Mesomeri*, Vol. 1, No. 1, p. 27-32.
- Akbar, H., Damar, A., Kamal, M.M., Soewardi, K., dan Putra, S.A., 2015, Distribusi logam berat pada air dan sedimen laut di wilayah pesisir Kabupaten Sumbawa Barat, *Jurnal Omni-Akuatika*, Vol. 11, No. 2, p. 61-65.
- Awalludin, A., Achmadi S.S., dan Nurhidayati, N., 2004, Karboksimetil Selulosa Bakteri, *Prosiding Pertemuan Ilmiah Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bahan*, Institut Pertanian Bogor, 305-312.
- Budiarti, R.S., 2008, Pengaruh konsentrasi starter *Acetobacter Xylinum* terhadap ketebalan dan rendemen selulosa nata de soya, *Biospecies*, Vol. 1, No. 1, p. 19 – 24.
- Chen, S., Zou, Y., Yan, Z., Shen, W., Shi, S., Zhang, X. dan Wang, H., 2009, Carboxymethylated-bacterial cellulose for copper and lead ion removal, *J. Hazard. Mater.*, 161, p. 1355-1359.
- Inswiasri, Sukar dan Cahyorini, 2008, Kadar logam berat di lingkungan wilayah tambang, nusa tenggara barat, *JEK*, Vol. 7, No 1, p. 656-664.
- Lailiyah, N., 2013, Pengaruh modifikasi permukaan selulosa nata de coco dengan anhidrida asetat dalam mengikat ion logam berat Cd<sup>2+</sup> dalam campuran Cd<sup>2+</sup> dan Pb<sup>2+</sup>, *Skripsi*, Universitas Negeri Malang.
- Larsson, K.A., 2015, Chemical characterisation of nitrocellulose, *Skripsi*, Orebro University.
- Nurhasni, Hendrawati dan Saniyyah, N., 2010, Penyerapan ion logam Cd dan Cr dalam air limbah menggunakan sekam padi, *Jurnal Valensi*, Vol. 1, No. 6, p. 310-318.
- Sembodo, B.S.T., 2010, Isoterm Kesetimbangan Adsorpsi Timbal Pada Abu Sekam Padi, *Ekuilibrium*, Vol. 4, No. 2, p. 100-105.
- Sudarmadji, S., 2003, *Prosedur analisa untuk bahan makanan dan pertanian*, Yogyakarta : Liberty.
- Sulistiyawati, S., 2008, Modifikasi tongkol jagung sebagai adsorben logam berat Pb (II), *Skripsi*, Institut Pertanian Bogor.
- Syamsu, K. dan Tutus, K., 2014, Pembuatan Biofilm Selulosa Asetat dari Selulosa Mikrobial Nata de cassava, *E-JAII*, Vol. 3, No. 1, p. 126-133.
- Wang, R., Fu, Y., Qin, M., Shao, Z., Xu, Q., 2014, Homogenous acylation and regioselectivity of cellulose with 2-chloro-2-phenylacetyl chloride in ionic liquid, *Bioresources*, 9(3), p. 5134-5146.