

POTENSI LIGNIN UNTUK PENANGANAN LOGAM BERAT Cr(VI)

(LIGNIN POTENTIALS TO REMOVAL OF Cr(VI))

Yuris*, Chandrawati Cahyani, dan Atikah

Jurusan Kimia, Fakultas Kimia dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya

*E-mail: yurisBIMA@gmail.com

Received :26 Januari 2014; revised :07 April 2014; accepted : 07 April 2014

ABSTRAK

Lignin telah diisolasi dari lindi hitam dengan pengasaman menggunakan H₂SO₄ 10% pada pH 2 dan diperoleh lignin yang memiliki gugus fungsi mirip Indulin-AT. Lignin memiliki sifat tidak larut dalam air dan larut dalam basa. Logam berat Cr(VI) merupakan salah satu logam berat yang bersifat toksik tinggi dan sangat larut dalam air sehingga dapat terdistribusi kemana-mana. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji potensi lignin untuk penanganan logam berat Cr(VI), kajian difokuskan pada variasi pH 2-10 dan konsentrasi lignin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pH campuran 2, penggunaan lignin sebesar 2000 ppm sebanyak 25 mL mampu menyisihkan Cr(VI) sebesar 85,83% dari konsentrasi awal Cr(VI) 25 ppm sebanyak 10 mL menjadi 1,012 ppm. Penambahan konsentrasi lignin pada pH < 5 menaikkan penyisihan Cr(VI) karena terjadi proses adsorpsi dan kopresipitasi melalui mekanisme oklusi sedangkan pada pH > 5, penambahan konsentrasi lignin hanya menaikkan penyisihan Cr(VI) relatif sedikit dibanding pada pH < 5 karena peristiwa kopresipitasi tidak terjadi seiring dengan mulai larutnya lignin.

Kata kunci: Lignin, Kopresipitasi, Adsorpsi, Oklusi

ABSTRACT

Lignin has been isolated from black liquor with acidification by using H₂SO₄ 10% on pH 2. The lignin obtained will have similarity to functional groups of Indulin-AT standard lignin. Lignin is insoluble in water but soluble in alkaline solvents. Chromium (VI) is one of toxic heavy metals, which is so insoluble in water that can be distributed everywhere. The purpose of this study is assess the potential of lignin to removal of Cr(VI), while the focus of the study is on pH variation and lignin concentration. The results showed that, in pH of mixture 2, a 25 mL of 2000 ppm lignin was able to remove up to 85.83 % Cr(VI) from a 10 mL Cr(VI) with initial concentration of 25 ppm to 1.012 ppm. The addition of lignin concentration at pH < 5 increase the removal of Cr(VI) due to adsorption and co-precipitation process through occlusion mechanism, whereas at PH > 5, the addition of lignin concentration will raise Cr(VI) removal in relatively small scale, as co-precipitation did not occur in line with lignin dissolution.

Key word: Lignin, Coprecipitation, Adsorption, Occlusion

PENDAHULUAN

Sekitar 47% dari senyawa organik dalam lindi hitam adalah lignin (Lewis & Lantzi dalam Hermingway et al., 1988). Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair yang mengandung logam berat adalah industri elektroplating. Limbah cair perlu dikelola dan ditangani terlebih dahulu agar tidak mengganggu lingkungan dan kehidupan di sekitarnya. Salah satu logam berat yang berbahaya adalah krom, terutama yang bervalensi +6 yang sangat larut dalam air.

Agar pemanfaatan lignin dapat dilakukan secara optimal maka perlu diketahui dan

dipahami secara mendalam melalui eksperimen tentang potensi lignin untuk penanganan logam berat Cr(VI) pada berbagai pH dan konsentrasi. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan alternatif penanganan logam berat Cr(VI), dimana bahan yang digunakan merupakan bahan yang berasal dari limbah yang tidak diinginkan.

Air yang mengandung ion Cr(III) akan menimbulkan masalah karena dapat berubah menjadi Cr(VI) oleh proses oksidasi. Logam Cr(VI) bersifat toksik, dalam metabolisme tubuh akan menghalangi atau mampu menghambat

kerja dari enzim benzopiren hidroksilase (enzim yang berfungsi menghambat pertumbuhan kanker yang disebabkan oleh asbestos). Penghalangan kerja enzim benzopiren hidroksilase dapat mengakibatkan perubahan kemampuan pertumbuhan sel, sehingga sel-sel menjadi tumbuh secara liar dan tidak terkontrol, atau lebih dikenal dengan istilah kanker (Palar, 1994). Bergantung pada pH, Cr di atas pH 6 berada sebagai spesi CrO_4^{2-} sedangkan pada rentang pH 1 hingga pH 6, HCrO_4^- dan $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ berada pada kesetimbangan. Pada pH di bawah 1 spesies yang utama adalah H_2CrO_4 . Penambahan asam menyebabkan kesetimbangan bergeser ke arah $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dan penambahan basa menyebabkan kesetimbangan bergeser ke CrO_4^{2-} .

1. Teori

Lignin merupakan komponen makromolekul kayu ketiga. Gugus-gugus fungsi sangat mempengaruhi reaktivitas lignin, terdiri dari hidroksil fenolik, hidroksil benzilik dan gugus karbonil. Polimer lignin mengandung gugus-gugus metoksil yang karakteristik, gugus hidroksil fenol, dan beberapa gugus aldehida ujung dalam rantai samping (Sjostrom, 1995). Jumlah gugus metoksil dalam lignin bergantung pada sumber lignin dan proses isolasi yang digunakan. Kandungan gugus metoksil pada kayu daun jarum sebesar 14-15% sedangkan pada kayu daun lebar sebesar 20-21% (Cahyani, 1999). Lignin dapat diperoleh dari proses pemasakan serbuk kayu menggunakan larutan NaOH. Polimer lignin akan terdegradasi dan kemudian larut dalam larutan pemasak. Lignin merupakan komponen terbesar yang terdapat dalam larutan sisa pemasak, karena itu proses isolasi lignin lebih memungkinkan. Berbagai teknik isolasi telah dipelajari, tetapi pada prinsipnya sama yaitu diawali dengan proses pengendapan padatan. Menurut Sjostrom (1995), isolasi lignin dibedakan pada tiga metode yaitu isolasi dengan pengasaman yang menggunakan pereaksi anorganik seperti H_2SO_4 pekat atau HCl pekat, isolasi dengan metode *Cellulolytic Enzyme Lignins (CEL)*, dan *Milled Wood Lignin (MWL)*. Pengendapan lignin dari lindi hitam yang diperoleh dari hasil pemasakan terjadi sebagai akibat adanya reaksi kondensasi pada unit-unit penyusun lignin yang semula larut akan mengalami repolimerisasi dan membentuk molekul yang lebih besar. Sjostrom (1995) mengemukakan bahwa isolasi yang dilakukan pada pH rendah menghasilkan rendemen lignin yang tinggi.

2. Mekanisme adsorpsi

Salah satu metode yang digunakan untuk menghilangkan zat pencemar dari air limbah adalah adsorpsi (Rios *et al.* 1999 dan Saiful *et al.* 2005). Adsorpsi merupakan terjerapnya suatu zat (molekul atau ion) pada permukaan adsorben. Mekanisme penyerapan tersebut dapat dibedakan menjadi dua yaitu, jerapan secara fisika (fisisorpsi) dan jerapan secara kimia (kemisorpsi). Adsorpsi dari larutan adalah penyisihan suatu adsorbat dari larutan dengan penempelan pada permukaan substrat yang berada dalam suspensi "aqueous", pada pH tertentu (Cahyani, 1999). Adsorpsi dalam larutan biasanya terjadi pada antar muka cair-gas, cair-cair atau cair-padat. Pada antar muka cair-padat terdapat sistem 3 komponen, yaitu yang diadsorpsi (solut atau terlarut), yang mengadsorpsi (adsorben, padat) dan pelarut (cairan), dimana interaksi yang terjadi tidak hanya antara solut-adsorben, solut-pelarut, pelarut-adsorben tetapi juga solut-solut (Tamamushi, 1983 dalam Cahyani 1999).

Struktur molekul polimer lignin terdiri atas sistem aromatik yang tersusun atas unit-unit fenil propana. Adsorpsi logam-logam oleh polimer terjadi melalui proses penyerapan yang melibatkan gugus-gugus fungsional yang terikat pada makromolekul seperti protein, polisakarida, lignin, khitin dan, khitosan. Gugus fungsional dimaksud meliputi gugus-gugus karboksilat, hidroksil, imidazol, sulfhidril, dan fosfat.

3. Mekanisme kopresipitasi

Beberapa peneliti menunjukkan bahwa proses kopresipitasi merupakan mekanisme penting pada penyisihan ion dalam larutan. Crawford (1996) menyatakan bahwa adsorpsi dan kopresipitasi memperbaiki tingkat pemisahan logam berat dari larutannya dibanding cara presipitasi biasa (Crawford, 1996). Menurut Crawford, proses kopresipitasi cenderung lebih efektif dalam pemisahan ion logam berat dari larutan air, dibanding proses adsorpsi. Pada proses kopresipitasi, adsorben ditambahkan dalam bentuk larutannya, selanjutnya adsorben padat terbentuk bersamaan dengan penyerapan bahan terlarut (*solute*) melalui proses oklusi selama pengaturan pH larutan, sehingga suatu campuran endapan terbentuk, karena selain adsorpsi akan terjadi juga kopresipitasi bahan terlarut bersamaan dengan pembentukan partikel adsorben.

BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan adalah Spektrofotometer UV-Vis Shimadzu, pH-meter Orion, timbangan analitik Mettler AE.50, pengaduk magnet Heidolph MR 1000, FTIR-8000 PC Shimadzu, kertas saring Whatman 42, alat sentrifugasi, dan alat-alat gelas.

Bahan yang digunakan adalah lignin hasil isolasi dari lindi hitam, NaOH p.a dari Merck, H₂SO₄ 96-98 % p.a dari Merck, Larutan HNO₃ 65% p.a dari Merck, H₃PO₄ 85% p.a dari Merck, difenilkarbazid (DPC) 0,25%, padatan K₂Cr₂O₇ p.a dari Merck, akuades.

Metoda

1. Preparasi lignin dan penentuan kondisi optimum

Serbuk kayu dimasak dengan larutan pemasak NaOH 5%. Hasil pemasakan diperoleh filtrat yang berwarna hitam (lindi hitam). Dari lindi hitam, diendapkan ligninnya dengan pengasaman menggunakan H₂SO₄ 10% sampai pH 2. Larutan ditiris secara perlahan dan disaring menggunakan *Whatman* 42. Lignin dicuci dengan akuades sampai pH netral, kemudian dikering dalam oven temperatur 90°C dan disimpan dalam desikator. Lignin yang diperoleh dianalisis menggunakan FTIR.

Penentuan panjang gelombang maksimum dilakukan dengan pengukuran absorbansi 15 mL larutan standar Cr(VI) 0,6 ppm yang telah ditambah dengan H₂SO₄ sampai pH 1±0,3. Ditambahkan 0,5 mL DPC. Kemudian didiamkan selama 5-10 menit dan diukur absorbansinya pada λ 400nm–800 nm dengan *running* menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

Penentuan kestabilan kompleks Cr-difenilkarbazon dilakukan dengan cara, sebanyak 10 mL larutan Cr(VI) 0,8 ppm yang telah ditambah H₂SO₄ sampai pH 1±0,3 ditambahkan 0,5 mL DPC. Larutan didiamkan, ukur absorbansi dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ maksimum dimulai pada menit ke-3 sampai menit ke-13 dengan rentang 1 menit.

Pembuatan kurva standar dilakukan dengan cara, sebanyak 25 mL larutan Cr(VI) masing-masing konsentrasi 0,3 ppm, 0,4 ppm, 0,5 ppm, 0,6 ppm, 0,7 ppm, 0,8 ppm, dan 1,0 ppm tambahkan H₂SO₄ sampai pH 1±0,3. Kemudian ditambahkan 0,5 mL DPC dan didiamkan selama ±9 menit. Ukur absorbansi masing-masing larutan dengan spektrofotometer UV-Vis pada λ 542 nm. Kurva standar Cr(VI) dibuat berdasarkan persamaan regresi linear $Y = aX$.

2. Penyisihan Cr(VI) oleh lignin dengan 3 cara pengaturan pH

1) Lignin (pH 13) + larutan Cr(VI) (pH 2)

Tambahkan larutan lignin 600 ppm ke dalam larutan Cr(VI) hingga dicapai berbagai variasi pH (2-10). Tiap-tiap pH campuran disentrifugasi, diambil 1 mL bagian atas dan diencerkan dalam labu takar 25 mL. Amati banyaknya Cr(VI) yang tersisih menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan pereaksi DPC yang diukur pada λ 542 nm.

2) Larutan Cr(VI) (pH 2) + lignin (pH 13)

Tambahkan larutan Cr(VI) 25 ppm ke dalam larutan lignin 600 ppm hingga dicapai berbagai variasi pH (2-10). Tiap-tiap pH campuran disentrifugasi, diambil 1 mL bagian atas dan diencerkan dalam labu takar 25 mL. Amati banyaknya Cr(VI) yang tersisih menggunakan spektrofotometer UV dengan pereaksi DPC yang diukur pada λ 542 nm

3) Campur larutan Cr (VI) dan larutan lignin

Campur 25 mL larutan Cr(VI) 25 ppm (pH 2) dan 25 mL larutan lignin 600 ppm (pH 13) dan atur pH campuran menjadi 2-10 menggunakan H₃PO₄. Pada masing-masing pH, campuran disentrifugasi, dipipet 1 mL, diencerkan menjadi 25 mL. Amati penyisihan Cr(VI) menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan pereaksi DPC yang diukur pada λ 542 nm.

3. Pengaruh konsentrasi lignin terhadap penyisihan Cr(VI)

Campur 10 mL larutan Cr(VI) 25 ppm (pH 2) dan 25 mL larutan lignin pH 13 masing-masing konsentrasi 900 ppm, 1000 ppm, 1500 ppm, dan 2000 ppm. Atur pH campuran menjadi 2-8 dengan menambahkan H₃PO₄. Pada masing-masing pH dan konsentrasi lignin, campuran disentrifugasi, dipipet 1 mL, diencerkan menjadi 10 mL. Amati banyaknya Cr(VI) yang tersisih menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan pereaksi DPC yang λ 542 nm.

Analisis data

Untuk mendapatkan persen penyisihan Cr(VI) menggunakan rumus (1) dan persamaan kurva standar.

$$\% \text{ Penyisihan} = \frac{Ms \text{ Cr(VI)}_1 - Ms \text{ Cr(VI)}_2}{Ms \text{ Cr(VI)}_1} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan:

Ms Cr(VI)₁ = Massa Cr(VI) awal

Ms Cr(VI)₂ = Massa Cr(VI) dalam supernatan

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Preparasi lignin dan persamaan kurva standar

Hasil isolasi menunjukkan bahwa kadar lignin yang merupakan perbandingan antara berat lignin (gram) yang diperoleh dengan volume larutan (mL) lindi hitam yang diisolasi yaitu sebesar 1,941% (b/v). Analisis FTIR terhadap lignin hasil isolasi diperoleh spektrum seperti Gambar 1 berikut.

Pada Gambar 1 menunjukkan adanya serapan spesifik dari gugus fungsi lignin yaitu pada daerah $1326,93\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan vibrasi cincin sringil sebagai prazat penyusun lignin dan diperkuat oleh munculnya serapan pada $1124,42\text{ cm}^{-1}$ sebagai deformasi C-H aromatis tipe sringil. Menurut Hergert (1971) dalam Fengel (1995), serapan khas guaiasil dan siringil (vibrasi cincin) masing-masing terdapat pada bilangan gelombang sekitar $1270\text{-}1330\text{ cm}^{-1}$. Dominasi gugus -OH ditandai dengan puncak

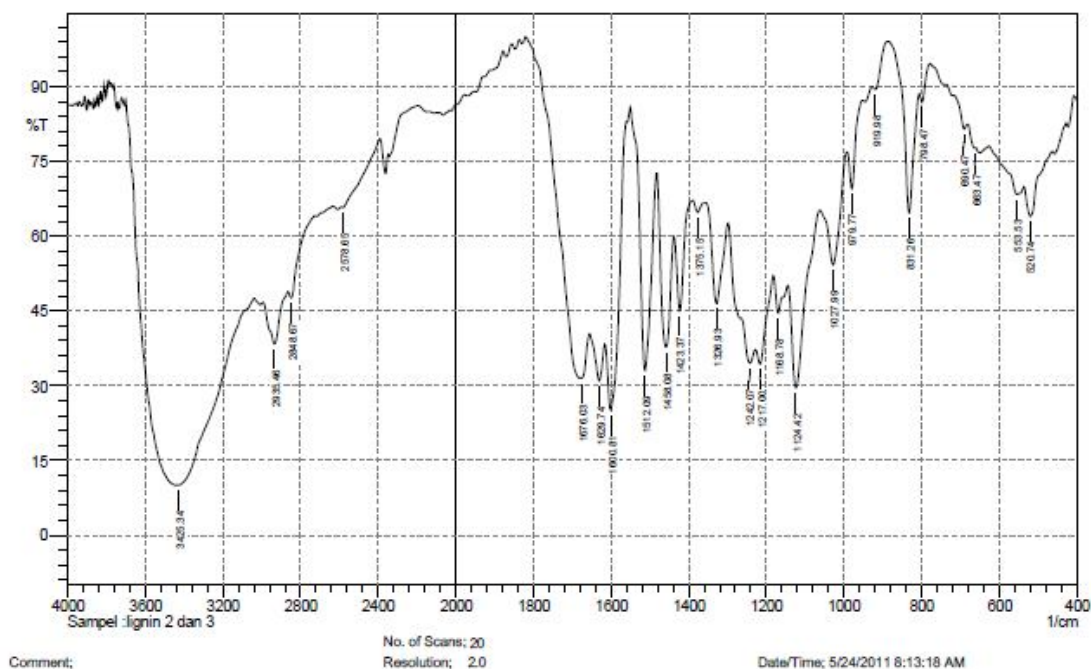
serapan yang sangat karakteristik pada daerah $3444,63\text{ cm}^{-1}$ sebagai vibrasi ulur -OH . Sedangkan rentangan C=O terkonjugasi dengan cincin aromatis muncul pada daerah $1676,03\text{ cm}^{-1}$. Sesuai dengan penelitian Sucipto (2009) bahwa komponen kimia lignin isolat dari lindi hitam memiliki ciri yang mirip dengan lignin standar indulin-AT.

Kurva standar yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 2 dengan persamaan $Y = 0,7011X$ dan $R^2 = 0,9979$.

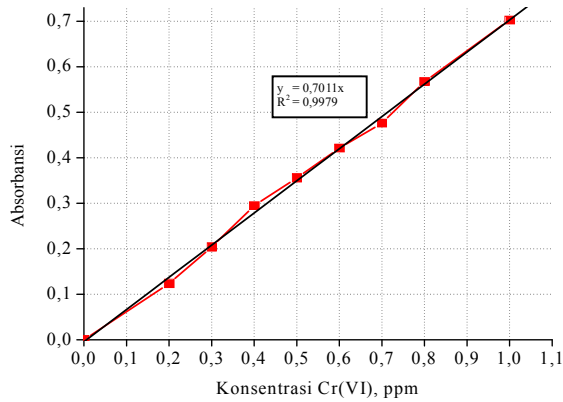
2. Kemampuan Lignin terhadap penyisihan Cr(VI) menggunakan 3 cara pengaturan pH

Hasil penyisihan Cr(VI) yang diperoleh dari 3 metode pengaturan pH yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.

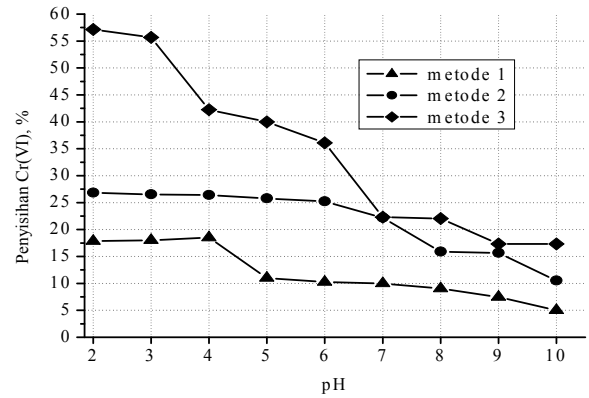
Berdasarkan Gambar 3, metode pengaturan pH dengan mencampur antara larutan lignin dan larutan Cr(VI) memberikan penyisihan Cr(VI) sebesar 57,12% pada pH 2.



Gambar 1. Spektrum infra merah lignin hasil isolasi



Gambar 2. Kurva Standar Cr(VI)



Gambar 3. Penyisihan Cr(VI) menggunakan 3 cara pengaturan pH

3. Pengaruh pH terhadap penyisihan Cr(VI) oleh lignin

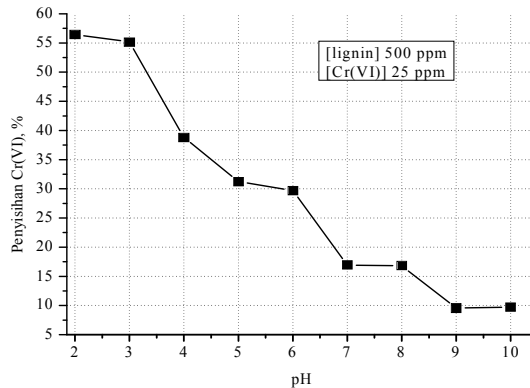
Penggunaan larutan lignin 500 ppm menunjukkan terjadi penyisihan Cr(VI) pada pH 2 sebesar 56,45%. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4 menunjukkan bahwa, penyisihan Cr(VI) oleh lignin semakin kecil seiring dengan bertambahnya pH campuran, sesuai dengan penelitian Albadarin A.B (2011). Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya pH jumlah gugus -OH yang terprotonasi berkurang sehingga interaksi elektrostatik -OH terprotonasi dengan spesi Cr(VI) berkurang. Disamping itu, semakin besar pH jumlah CrO_4^{2-} semakin banyak dibanding $HCrO_4^-$ sehingga gaya tolakan menjadi lebih besar.

Semakin besarnya pH juga menaikkan jumlah ion OH⁻, adanya ion OH⁻ akan berkompetisi dengan anion Cr(VI) untuk berinteraksi dengan lignin dan menyebabkan proses deprotonasi yang menyebabkan lignin bermuatan negatif. Cahyani (1999)

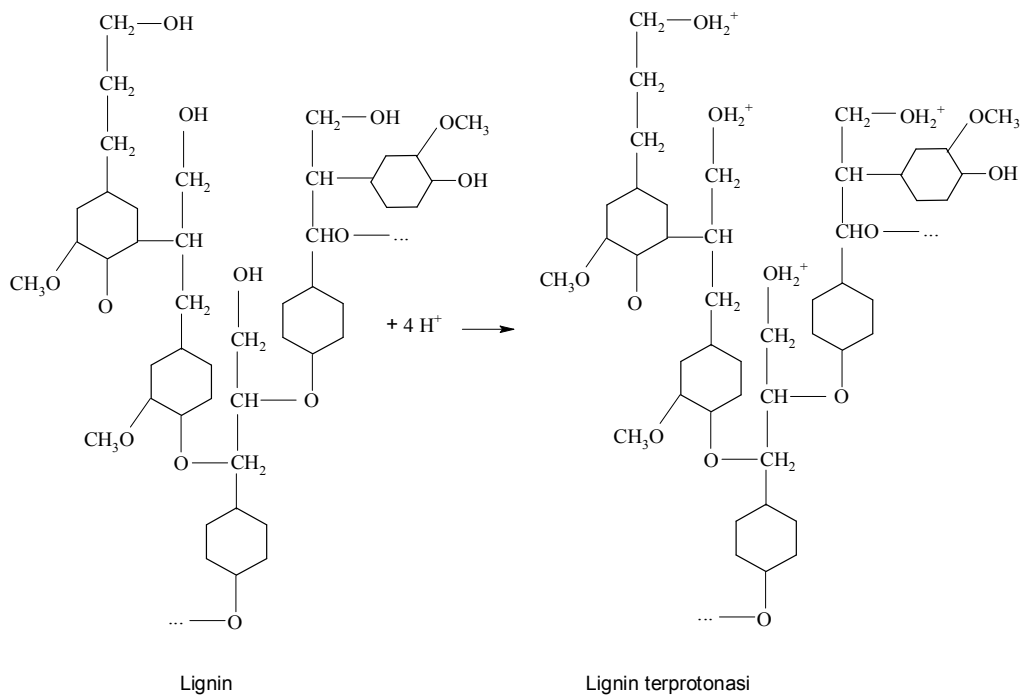
menyebutkan, pada pH 5 atau lebih tinggi partikel lignin bermuatan negatif.

Mekanisme penyisihan yang mungkin terjadi adalah adsorpsi dan kopresipitasi. Peristiwa adsorpsi diduga terjadi karena gugus fungsi lignin yaitu hidroksil mengalami protonasi sehingga bermuatan positif. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Cahyani (1999) bahwa *i.e.p* (isoelectric point) dari lignin adalah 2,3, yang berarti bahwa pada pH di bawah *i.e.p* lignin bermuatan positif. Reaksi protonasi yang terjadi seperti Gambar 5 sebagai berikut.

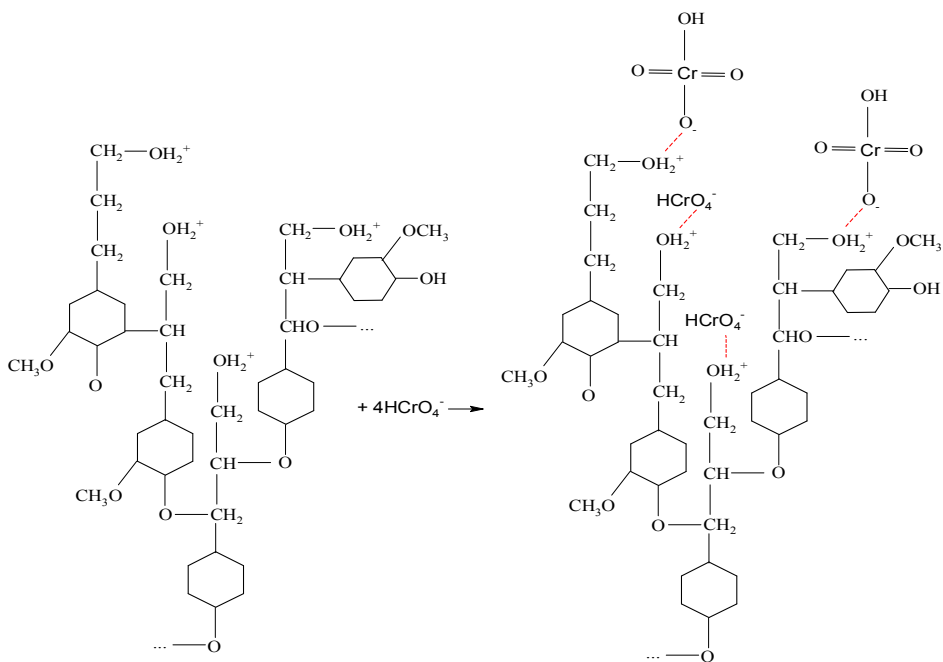
Cr(VI) pada larutan asam antara pH 2 sampai dengan pH 6 terbentuk spesi $HCrO_4^-$ dan $Cr_2O_7^{2-}$ sehingga memungkinkan terjadi interaksi gugus OH terprotonasi dengan anion Cr(VI) melalui interaksi elektrostatik dan pembentukan ikatan silang (*cross linking*). Diduga mekanisme interaksi elektrostatik yang terjadi dapat dilihat pada Gambar. 6. Memungkinkan juga terjadi ikatan silang melalui mekanisme reaksi yang dapat dilihat pada Gambar 7.



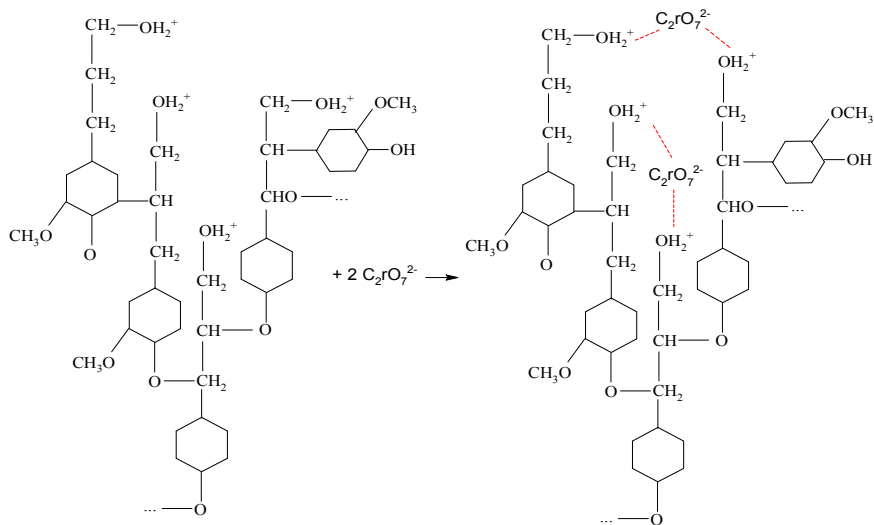
Gambar 4. Pengaruh pH terhadap penyisihan Cr(VI)



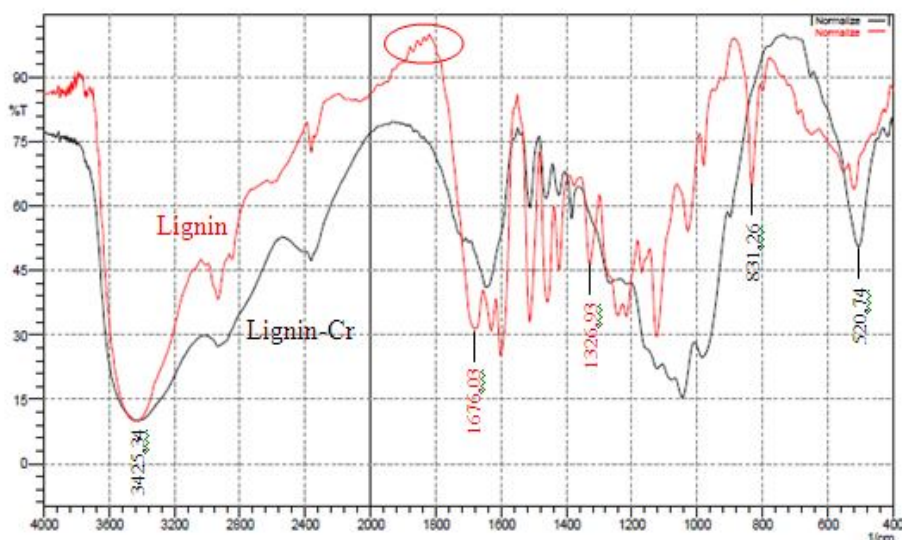
Gambar 5. Reaksi protonasi lignin



Gambar 6. Mekanisme interaksi elektrostatis



Gambar 7. Mekanisme pembentukan ikatan silang (*cross linking*)



Gambar 8. Spektrum infra merah lignin setelah berinteraksi dengan Cr(VI)

Proses kopresipitasi melalui mekanisme oklusi, yaitu molekul kecil terjebak di dalam ruang intra partikel terjadi karena lignin yang merupakan polimer 3 dimensi yang pada pH rendah mengalami repolimerisasi membentuk struktur yang melingkar melalui ikatan antara unit-unit lignin sehingga terbentuk pori atau ruang intra partikel yang menyebabkan ion HCrO_4^- teroklusi (terjebak) dalam ruang tersebut dan mengalami kopresipitasi seiring dengan mulai mengendapnya lignin

Peristiwa adsorpsi dan kopresipitasi melalui interaksi elektrostatis, *crosslinking* serta oklusi dibuktikan oleh hasil *FTIR* dari endapan lignin setelah berinteraksi dengan Cr(VI) sesuai dengan Gambar 8.

Berdasarkan Gambar 8, terlihat bahwa terjadi interaksi lignin dan spesi Cr(VI) dengan adanya serapan yang hilang pada daerah 1676 cm^{-1} , $1326,93 \text{ cm}^{-1}$, dan $831,26 \text{ cm}^{-1}$. Ditunjukkan juga muncul serapan kuat di daerah $520,74 \text{ cm}^{-1}$ sebesar 51% T yaitu vibrasi kisi Cr–O (James E.A and Dhanpat R., 1990).

Adanya mekanisme protonasi dan *crosslinking* ditunjukkan oleh hilangnya spektrum jari pada pita serapan 1800-2000 cm^{-1} yang menunjukkan senyawa fenolik dan pelebaran serapan pada daerah 3425,24 cm^{-1} diduga karena peristiwa *crosslinking* yang menyebabkan vibrasi $-\text{OH}$ terstabilkan.

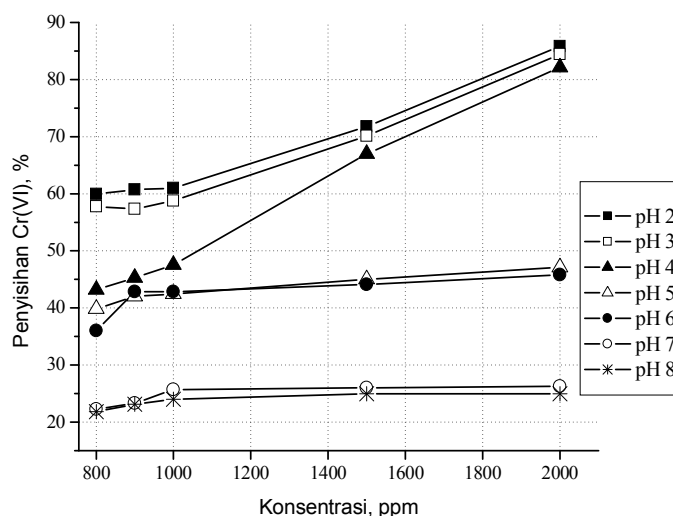
4. Pengaruh konsentrasi lignin terhadap penyisihan Cr(VI)

Variasi konsentrasi terhadap penyisihan Cr(VI) pada pH 2-8, diperoleh Gambar 9.

Berdasarkan Gambar 9, terdapat peningkatan jumlah Cr(VI) yang tersisihkan dengan bertambahnya konsentrasi lignin. Teramati, pada pH < 5 terdapat kecenderungan persen penyisihan naik seiring dengan naiknya konsentrasi lignin hal ini diduga karena dengan bertambahnya lignin maka tersedia permukaan lignin terprotonasi yang lebih luas untuk

berinteraksi dengan anion Cr(VI). Kemungkinan lain adalah, semakin tinggi konsentrasi lignin maka akan meningkatkan jumlah ruang intra partikel sehingga meningkatkan proses oklusi dan terkopresipitasi. Terlihat pada pH larutan 2, terjadi kenaikan persen penyisihan sebesar 59,92% pada konsentrasi 800 ppm (1:80) menjadi 85,83% ketika konsentrasi lignin 2000 ppm (1:200).

Sedangkan Pada pH > 5, kenaikan konsentrasi lignin tidak terlalu berpengaruh terhadap penyisihan Cr(VI), terlihat pada pH 6 dengan konsentrasi lignin 900 ppm mampu menyisihkan Cr(VI) sebesar 42,83% naik sebesar 2,96% menjadi 45,79% ketika konsentrasi lignin 2000 ppm. Hal yang sama juga teramati pada pH 8, yaitu menyisihkan Cr(VI) sebanyak 24,00% pada konsentrasi lignin 1000 ppm menjadi 24,97% ketika konsentrasi lignin 2000 ppm (naik 0,97%).



Gambar 9. Variasi konsentrasi lignin terhadap penyisihan Cr(VI)

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Cara pengaturan pH terbaik adalah mencampur terlebih dahulu antara larutan lignin dengan larutan Cr(VI) kemudian diatur pH campuran. Cara ini mampu menyisihkan Cr(VI) sebesar 85,83% dari konsentrasi Cr(VI) 25 ppm sebanyak 10 mL menjadi 1,012 ppm dengan penggunaan lignin

sebesar 2000 ppm sebanyak 25 mL pada pH campuran 2.

2. Kemampuan lignin terhadap penyisihan Cr(VI) semakin berkurang dengan bertambahnya pH. Sedangkan penambahan konsentrasi lignin pada pH < 5 dapat menaikkan penyisihan Cr(VI) karena terjadi proses adsorpsi dan kopresipitasi melalui mekanisme oklusi sedangkan pada pH > 5 peristiwa kopresipitasi tidak terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmadi, S.S. 1990. *Kimia Kayu*. Bogor: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Pendidikan Tinggi, Pusat Antar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor.
- Albadarina, A.B., A.H. AlMuhtaseb, N.A. Aliaqah. 2011. Biosorption of toxic chromium from aqueous phase by lignin: mechanism, effect of other metal ions and salts, *Chemical Engineering Journal* 169 :20–30
- American Public Health Association (APHA). 1976. *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 4th edition, APHA, Washington DC, p1193
- Aroua. M.K., F.M.Zuki, N.M and Sulaiman. *Removal of chromium ions from aqueous solutions by polymer-enhanced ultrafiltration*. Kuala Lumpur, Malaysia :Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Malaya.
- Cahyani, C. 1999. *Adsorpsi, Kopresipitasi dan Flotasi untuk Penyisihan Lignin dari Larutannya*. Disertasi. Institut Teknologi Bandung, Bandung. Indonesia.
- Casey, J.P. 1980. *Pulp and Paper Chemistry and Chemical Technology*. 3rd edition Vol. I A. New York: Wiley Interscience Publisher.
- Celik, A., and Dermibas, A. 2005. Removal of heavy metal ions from aqueous solution via adsorption onto modified lignin from pulping wastes, *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization and Environmental*. 27: 1167-1177.
- Chang, L.Y. 2001. "Chrome Reduction and Heavy Metals Removal From Wastewater – A Pollution Prevention Approach", *WM'01 Conference, Tucson*.
- Crawford, R.J. 1995. *Adsorption and Coprecipitation of Heavy Metals*. PhD Thesis. Departemen of Physical Chemistry, The University of Melbourne. Australia.
- Dence, C.W and S.Y.Lin. 1992. *Method in Lignin Chemistry*. Spinger-Verlag. Berlin: Spinger series in wood series pp 33-61
- Ekman, K.H., and J.J Lindberg. 1960. On the origin of the infra-red bands in the 1720 cm⁻¹ region in lignins, *Pap. Puu*, 42. 21-22
- Fengel, D., dan G. Wegener. 1995. *Kayu; Kimia, Ultrastruktur dan Reaksi-reaksi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Gilligan, J. J. 1974. *The Organic Chemicals Industries*. Dalam Pyle, J. L., *Chemistry and Technology Backlash*. New York : Prentice-Hall, Inc.
- Hemingway, R.W and H.C. Anthony. 1988. *Adhesives from Renewable Resources*, ACS Symposium, New Orleans, Washington DC.
- Judoamidjojo, R.M., E.E. Said and Hartono. 1989. *Biokonversi*. Bogor : Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Direktorat Pendidikan Tinggi. Pusat Antar Universitas Bioteknologi, Institut Pertanian Bogor.
- Karl Freudengerg, 1971. *Lignins: Occurrence, Formation, Structure and Reactions*, Wiley-Interscience. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Kim H, M.K hill and A.L. Fricke. 1987. Preparation of Kraft Lignin from Black Liqour. *Tappi Journal* 12: 112-115.
- Kozlowski, C.A., and W. Walkowiak. 2002. Removal of chromium(VI) from aqueous solutions by polymers inclusion membranes, *Water Res.* 36 4870–4876.
- Malik, J., A. Santoso dan Rahman. 2007. Sari Hasil Penelitian Mangium (*Acacia mangium Willd*). Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kab. Tasikmalaya. <http://www.dephut.go.id>: diakses tanggal 12 Desember 2012.
- Moore P., S. Kettle. and R. Wilkins. 1966. The kinetics of formation of blue peroxychromic acid in aqueous solution. *Inorg. Chem.* 5 : 466–467.
- Saha, B., and C. Orvic. 2010. Biosorbents for Hexavalent Chromium Elimination from Industrial and Municipal effluent, *Coord. Chem. Rev.* 254: 2959-2972
- Saltzman, E.B. 2003. *Microdetermination of Chromium with Diphenylcarbazide by Permanganate Oxidation, Improved Method of Oxidation and Color Development*. Ohio : Devision of Occupational Health, Public Health Service, Federal Security Agency, Cincinnati 2.
- Sarkanen, K.V., and C.H. Luding. 1971. *Lignin: Occurrence, Formation, Structure and Reaction*. New York : Wiley Interscience.

- Sjostrom, Eero. 1995. *Kimia Kayu, Dasar-dasar dan Penggunaan*. Edisi kedua. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Stevenson, F. J. 1994. *Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions*. 2nd Ed. New York : John Wiley & Sons. Inc.
- Vinodhini, V., and N. Das. 2009. Mechanism of Cr (VI) Biosorption by Neem Sawdust, American-Eurasian. *Journal of Scientific Research* 4 (4): 324-329.
- Vogel. 1985. *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro Dan Semimikro*. Edisi ke lima. Jakarta : PT. Kalam Media Pusaka.
- Wu, Y., Zhang , X. Guo, and H. Huang. 2008. Adsorption of chromium(III) on lignin. *Journal of Hazardous Materials* 151: 134–142
- Xia, L., E. Akiyama, G. Frankel and R. McCreery. 2000. Storage and Release of Soluble Hexavalent Chromium from Chromate Conversion Coatings Equilibrium Aspects of CrVI Concentration. *Journal of The Electrochemical Society* 147 (7): 2556-2562.
- Zink, S., R. Schoenberg and M. Staubwasser. 2010. Isotopic fractionation and reaction kinetics between Cr(III) and Cr(VI) in aqueous media. *Journal Geochimica et Cosmochimica Acta*. 74 : 5729–5745.