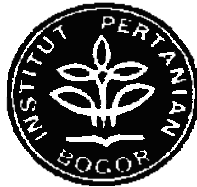




ADSORPSI Au(III) OLEH KITOSAN BERTAUT SILANG GLUTARALDEHIDA DALAM LARUTAN SIANIDA

SALIH MUHARAM



**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2010**

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian adsorpsi Au(III) oleh kitosan bertaut silang glutaraldehida dalam larutan sianida adalah karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar pustaka dibagian akhir tesis ini.

Bogor, Agustus 2010

SalihMuharam

NIM G451080031



ABSTRACT

SALIH MUHARAM. Adsorption of Au(III) onto Chitosan Glutaraldehyde Crosslink in Cyanide Solution. Under direction of PURWANTINIGSIH SUGITA and ARMI WULANAWATI

Flake, gel, grain and membrane of chitosan crosslinked-glutaraldehyde has been used to investigate the adsorption of Au(III) from cyanide solution. For optimization studies of adsorption process the batch system were carried out with three of various parameters, such as pH, contact time and dose adsorben. Design of experimental used respon surface design box Behnken. The largest adsorption capacity was found at crosslinked flake, grain and membrane of chitosan. Furthermore, the experimental only used crosslinked flake of chitosan with glutaraldehyde 4%, because it was found have to be insoluble and highest resistance and not broken in acid media. The optimum adsorption capacity was found at pH 2, contact time 120 minute and dose 0.8750 g. Langmuir and Freundlich isotherm models were applied to analyzed the experimental data. The best interpretation for the experimental data was given by Freundlich isotherm. The kinetic data was tested using pseudo-first-order and pseudo-second-order kinetic models. Kinetic data correlated well with the pseudo-second-order kinetic model, indicating that the chemical sorption was the rate-limiting step. Thermodynamic study indicated that adsorption proses is spontaneous and exothermic in nature. The desorption studies were carried out using NaCN solution. The maximum percent desorption of Au(III) ion were obtained when 90 minute. The effect coexisting ions studies were carried out. There are competition on adsorption of Au(III) from cyanide solution by flake of chitosan-GA in the present another metal with lower concentration rasio especially Fe, Cd and Cu ions, but flake of chitosan-GA have highed capacity.

Key word: crosslingked chitosan, Au kompleks ion, isothermal adsorption, kinetic adsorption

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



RINGKASAN

SALIH MUHARAM. Adsorpsi Au (III) oleh Kitosan Bertaut Silang Glutaradehida dalam Larutan Sianida. Dibimbing oleh PURWANTINIGSIH SUGITA dan ARMI WULANAWATI

Sumber bijih logam emas (Au) dialam jumlahnya sedikit sekitar 0.01-0.12 ons/ton, akan tetapi kebutuhan akan logam Au untuk industri meningkat, sehingga diperlukan suatu metoda ekstraksi logam Au dengan perolehan yang tinggi. Salah satu metoda yang umum digunakan untuk memperoleh logam Au adalah ekstraksi pelarut menggunakan larutan sianida dan dikenal dengan proses sianidasi. Pada proses sianidasi terdapat dua tahap penting, yaitu proses pelarutan dan proses adsorpsi (pemisahan logam Au). Pada proses pelarutan, pelarut yang umum digunakan untuk mengekstraksi logam Au dari bijih emas adalah NaCN dengan cara membentuk kompleks disianoaurat ($[Au(CN)_2]^-$) yang stabil pada kondisi asam dan basa (Deschenes 2005). Selanjutnya pada proses adsorpsi umumnya digunakan karbon aktif. Dalam proses adsorpsi partikel karbon aktif mengalami kerusakan dikarenakan gesekan antar partikel karbon pada saat pengadukan menghasilkan karbon halus (*carbon fine*) yang lolos ketika proses penyaringan dan terbawa sebagai *tailling*, yang berarti pula kehilangan emas yang terikat pada karbon. Selain itu, karbon aktif harganya mahal (Wang *et al.* 2003) dan selektivitas rendah, sukar dielusi dan membutuhkan reaktivasi (Garcia 1997). Penelitian ini bertujuan mengoptimasi proses adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh kitosan-GA dan mempelajari mekanisme, kinetika dan termodinamika adsorpsi serta karakteristik struktur pori dan kristalinitasnya untuk dijadikan model adsorpsi $[Au(CN)_2]^-$ dan diharapkan menjadi adsorben alternatif yang dapat mengatasi kelemahan dari karbon aktif.

Tahapan penelitian ini sebagai berikut: (1) memodifikasi fisika dan kimia kitosan dengan glutaraldehida menjadi bentuk serpih, gel, butir dan membran. (2) Menguji ketahanannya dalam media asam mineral dan menguji adsorpsivitasnya terhadap $[Au(CN)_4]^-$ serta membandingkan kemampuan adsorpsinya terhadap karbon aktif. (3) Mengoptimasi proses adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh kitosan-GA

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

terpilih menggunakan metoda *batch*, (5) Mempelajari isothermal adsorpsi Langmuir dan Freundlich dan kinetika reaksi orde pertama dan kedua semu untuk melihat efisiensi, kinetika, termodinamika proses adsorpsi. (6) Mempelajari proses desorpsi dan pengaruh kehadiran ion asing. (7) Mengkarakterisasi morfologi permukaan dan kristalinitas kitosan-GA setelah diperlakukan pada lingkungan pH rendah menggunakan SEM (*Scanning Microscope Electron*) dan XRD (*X Ray Diffractometer*). Percobaan dirancang menurut rancangan Box Benhknen dan data diuji oleh anova dan dilanjutkan uji ragam Dunnet serta regresi linier.

Berdasarkan uji anova dan Dunnet bahwa kapasitas dan persen adsorpsi kitosan-GA (serpilh, butir dan membran) kecuali gel dan kitosan tanpa glutaradehida terhadap $[Au(CN)_4]^-$ dibandingkan terhadap karbon aktif lebih besar atau sama dengan karbon aktif, dimana nilai $p < 0.05$ pada taraf signifikan 95% dan nilai rata-rata kapasitas adsorpsi dibawah nilai kritis 3.24, sehingga modifikasi kitosan bentuk serpilh, membran, dan butir, berpotensi sama dengan karbon aktif sebagai adsorben logam emas.

Semua bentuk kitosan tidak larut dalam pelarut CH_3COOH encer, H_2SO_4 encer, HNO_3 encer dan HCl 6N, kecuali gel kitosan-GA larut sebaaian dalam HCl dan HNO_3 encer. Serpilh kitosan-GA 4% memperlihatkan ketahanannya dalam berbagai asam dan tidak pecah dibandingkan bentuk yang lain. Berdasarkan hasil penelitian ketahanan pada kondisi pH rendah, maka pada penelitian selanjutnya bentuk kitosan yang digunakan adalah serpilh kitosan-GA 4%.

Hasil optimasi proses adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh serpilh kitosan-GA 4% menunjukkan bahwa daerah optimum berada pada rentang pH 1-6, waktu > 100 menit dan dosis 0.75-1 g. Analisis variansi terhadap proses adsorpsi Au oleh serpilh kitosan-GA 4% mengikuti pola linier, kuadrat dan interaksi, ditunjukkan dengan nilai $p < 0.05$ pada tingkat signifikan 95%. Berdasarkan hasil optimasi tahap 1, diambil 5 titik yang dianggap akan memberikan respon terbesar dan diperoleh daerah optimal berada pada waktu = 120 menit pH = 2 dan dosis = 0.875 g. Daerah optimal ini cukup efisien jika dibandingkan dengan hasil penelitian Aworn *et al.* (2005) dan Soleimani *et al.* (2008).



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Hasil penelitian isothermal adsorpsi menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal. Analisis oleh dua model isothermal adsorpsi yaitu model Langmuir dan Freundlich menunjukkan model isothermal Freundlich lebih baik dibandingkan model Langmuir. Nilai R_L serpih kitosan-GA 4% berada pada rentang $0 < R_L < 1$ yang menunjukkan proses adsorpsi terhadap Au-sianida adalah menguntungkan. Jika dibandingkan dengan karbon aktif, serpih kitosan-GA 4% lebih menguntungkan, dengan nilai R_L lebih besar dan berada pada nilai tengah rentang $0 < R_L < 1$, hal ini menunjukkan proses adsorpsi-desorpsi berjalan setimbang. Sebaliknya pada karbon aktif nilai R_L cenderung mendekati 0 dan nilai b besar, hal ini menunjukkan proses adsorpsinya mudah terjadi, tetapi adsorbat cenderung sukar didesorpsi.

Hasil percobaan kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% menunjukkan bahwa jumlah $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ meningkat dengan meningkatnya konsentrasi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ awal dan sekitar 90% kesetimbangan kapasitas adsorpsi tercapai setelah 30 menit dan konstan setelah 60-120 menit. Hasil evaluasi mekanisme kinetika yang mengendalikan proses adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% menunjukkan kinetika adsorpsi orde kedua semu lebih baik, hal ini didukung dengan koefisien korelasi lebih besar dari pada orde pertama semu dan nilai q_e hitung (teoritis) model orde kedua semu lebih dekat dengan nilai q_e percobaan.

Pengaruh suhu pada kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi menurun (terjadi desorpsi) dengan meningkatnya suhu, hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung eksotermis dilingkungan, Besarnya nilai E_a pada penelitian ini adalah -17.095 KJ/mol , pada kesetimbangan setara dengan E_a adsorpsi 17.095 KJ/mol . Rendahnya nilai E_a tersebut membuktikan bahwa proses adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA melalui adsorpsi fisika (interaksi ionik), fakta ini didukung oleh nilai ΔG° adalah -9.0071 KJ/mol , yang menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara spontan dilingkungan. Suhu meningkat kespontanan adsorpsi menurun yang menunjukkan energi yang menggerakkan proses adsorpsi (*driving force*) rendah. Nilai ΔH dan ΔS sebesar -0.0453 KJ/mol dan -22.6344 KJ/molK , yang menunjukkan proses adsorpsi eksotermis dilingkungan dan menurunkan ketidakteraturan pada antar muka



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

adsorben dan adsorbat selama proses adsorpsi. Nilai negatif dari ΔG° , ΔH dan ΔS pada proses adsorpsi Au-sianida oleh serpih kitosan-GA 4% spontan pada suhu rendah dan tidak spontan pada suhu tinggi, sebaliknya pada karbon aktif nilai negatif dari ΔG° dan ΔH dan positif dari ΔS (aworn *et al* 2005) menunjukkan proses adsorpsi Au-sianida terjadi secara spontan, eksotermis dilingkungan dan adsorpsi fisik, tetapi kespontanan adsorpsi terjadi pada semua nilai suhu.

Efisiensi pelepasan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dari serpih kitosan-GA 4% dilakukan dengan larutan NaCN 1 % dan menghasilkan persen desorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ tertinggi (100%) tercapai setelah 90 menit. Perolehan Au dari serpih kitosan-GA 4% menunjukkan keunggulan dibandingkan dengan karbon aktif yaitu perolehannya tinggi, waktu elusi cepat dan efisien penggunaan pelarut dan energi. Serpih kitosan-GA diujikan pada larutan kaya akan $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ yang berasal dari unit pengolahan logam Au PT ANTAM Tbk dan hasilnya menunjukkan bahwa serpih kitosan-GA 4% mampu mengadsorpsi ion kompleks Au lebih dari 98%, Hal ini membuktikan bahwa ion kompleks $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dan $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ memiliki karakter yang sama untuk diadsorpsi oleh serpih kitosan-GA yaitu melalui mekanisme interaksi ionik. Adsorpsi logam-logam lain sangat dipengaruhi oleh stabilitas kompleks, hanya kompleks dengan stabilitas tinggi yang akan di adsorpsi dengan kuat oleh serpih kitosan-GA 4% dan faktanya terdapat kompetisi adsorpsi dengan kompleks sianida dari Fe, Cu dan Cd.

Hasil karakterisasi serpih kitosan-GA 4% dengan SEM menunjukkan bahwa terjadi perubahan morfologi setelah kitosan direaksikan dengan glutaraldehida dan di interaksikan dengan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$. Serpih kitosan awal mempunyai permukaan halus dengan kerutan atau lipatan pada mikrostrukturnya setelah ditaut silang dengan glutaraldehida permukaannya menjadi berpori-pori tidak seragam (heterogen) dan setelah diinteraksikan dengan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 2 mikrostruktur kitosan-GA berubah, ion kompleks Au terlihat tidak saja menutupi pori-pori, tetapi juga terdistribusi acak di permukaan adsorben. Analisis XRD kitosan tanpa perlakuan menunjukkan kitosan memiliki 2 bentuk kristal pada sudut 2θ : 10.76° dan $20.1-21.95^\circ$. Penambahan glutaraldehida sedikit merubah kristalinitas dari 56.7% menjadi 59.73%, perubahan ini dapat dilihat pada difraktogram pada sudut $2\theta = 10^\circ$ tidak terlihat lagi dan perlakuan kitosan-GA



oleh $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 2 menghasilkan penurunan kristalinitas kitosan-GA menjadi 46.15%. Perubahan kristalinitas kitosan-GA setelah diperlakukan pada pH rendah dapat dipahami, bahwa ikatan imina yaitu ikatan yang terbentuk antara gugus amina rantai kitosan dengan gugus karbonil glutaraldehida tidak terlalu kuat, sehingga dapat diputuskan oleh kehadiran asam.

Kata Kunci: Kitosan-GA, ion kompleks Au, isothermal adsorpsi, kinetika adsorpsi

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2010

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

1. *Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya.*
 - a. *Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah.*
 - b. *Pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB*
2. *Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis dalam bentuk apapun tanpa izin IPB*



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

Penguji Luar Komisi pada Ujian Tesis: Prof. Suminar S Ahmadi, PhD



ADSORPSI Au(III) OLEH KITOSAN BERTAUT SILANG GLUTARALDEHIDA DALAM LARUTAN SIANIDA

SALIH MUHARAM

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Departemen Kimia

**SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2010**

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Judul tesis : Adsorpsi Au(III) oleh Kitosan Bertaut Silang Glutaradehida dalam Larutan Sianida
Nama : Salih Muharam
NIM : G451080031

Disetujui
Komisi Pembimbing

Prof. Dr. Purwantiningsih Sugita, M.S
ketua

Armi Wulanawati, S.Si, M.Si
Anggota

Diketahui

Ketua Program Studi
Pascasarjana Kimia

Dekan Sekolah Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Latifah K. Darusman, M.S Prof. Dr. Ir. Khairil A. Notodiputro, MS

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture



PRAKATA

Syukur Allhamdulillah Rabbil Alamin penulis panjatkan kepada Allah SWT atas karunia dan kepastian-NYA karya ilmiah ini berhasil di selesaikan. Tema yang di pilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2010 ini adalah adsorpsi logam emas, dengan judul adsorpsi Au(III) oleh kitosan bertaut silang glutaraldehida dalam larutan sianida.

Terimakasih penulis ucapkan kepada Ibu Prof. Dr. Purwantiningsih Sugita, MS dan Ibu Armi Wulanawati, S.Si, M.Si selaku pembimbing. Disamping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Bapak Wawan Hermawan, Bapak Datun, Bapak Acep, Bapak Taufik, Bapak Parid, Bapak Yuli dan Bapak Hamdan dari PT ANTAM Tbk Unit Bisnis Pongkor yang telah memberikan fasilitas dan membantu pengujian dalam penelitian ini serta Bapak Sulis dan Ibu Deswita dari PT BIN PUSPITEK Serpong dan Bapak Didik dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Gunung Batu Bogor yang telah membantu selama pengujian sampel penelitian. Ungkapan terima kasih juga di sampaikan kepada Ayah, Ibu, Istri, Anak-anaku, dan seluruh keluarga, atas segala doa dan kasing sayangannya.

Bogor, Agustus 2010

SalihMuharam

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak Cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture



RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Sukabumi pada tanggal 12 Januari 1977 dari Ayah Mochamad Sidik dan Ibu Ai Marliah. Penulis merupakan anak kelima dari 8 bersaudara.

Tahun 1994 penulis lulus dari SMA Negeri Cibadak Sukabumi dan pada tahun 2000 penulis lulus dari Jurusan Kimia Fakultas MIPA UNDIP Semarang.

Pada tahun 2000-2003 penulis sempat bekerja di PT Subur Tirta Sejuk dan PT Tang Mas Sukabumi dan tahun 2003-sekarang penulis bekerja sebagai Dosen tetap Universitas Muhammadiyah Sukabumi (UMMI).

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
PENDAHULUAN	
Latar belakang	1
Rumusan masalah.....	3
Tujuan	3
TINJAUAN PUSTAKA	
Mineralogi logam emas.....	4
Sianidasi logam emas	4
Metoda pelarutan emas dengan sianida	6
Pemisahan logam emas.....	6
Biosorben kitosan.....	8
Modifikasi kitosan.....	10
Isotermal adsorpsi.....	15
Kinetika adsorpsi.....	17
Termodinamika Adsorpsi.....	18
BAHAN DAN METODE	
Alat dan bahan.....	19
Pembuatan kitosan bertautan silang glutaraldehida	20
Percobaan kelarutan.....	21
Pemilihan bentuk kitosan.....	21
Optimasi adsorpsi	21
Penetapan isotermal dan kinetika.....	22
Percobaan elusi.....	23
Percobaan adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ dan pengaruh ion asing.....	23
Karakterisasi material.....	24
Pengolahan data.....	24
HASIL DAN PEMBAHASAN	
Pemilihan material.....	25
Optimasi adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	28
Isotermal adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	31
Kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	34
Pengaruh konsentrasi.....	34
Pengaruh suhu.....	37
Desorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dari serpih kitosan-GA 4%.....	40
Pengaruh ion asing pada proses adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$	42
Karakterisasi	44
Morfologi.....	44
Kristalinitas.....	45

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

	Halaman
SIMPULAN DAN SARAN	
Simpulan.....	47
Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN.....	53



DAFTAR TABEL

		Halaman
1	Konstanta stabilitas berbagai senyawa kompleks logam emas.....	5
2	Rancangan percobaan <i>respon surface</i> Box Behken.....	22
3	Kapasitas dan persen adsorpsi kitosan-GA dan karbon aktif terhadaplogam $[Au(CN)_4]^-$	25
4	Kelarutan bentuk-bentuk kitosan-GA pada berbagai pelarut asam.....	28
5	Kapasitas adsorpsi dan persen adsorpsi serpih kitosan-GA 4% terhadap $[Au(CN)_4]^-$ pada 5 titik daerah optimal.....	29
6	Perbandingan parameter optimal adsorpsi $Au(CN)_4^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% dengan abu terbang dan karbon aktif	31
7	Parameter isothermal adsorpsi Langmuir dan Freundlich $[Au(CN)_4]^-$ oleh kitosan-GA 4%.....	33
8	Perbandingan konstanta kecepatan orde satu dan orde dua serta nilai q_e hasil perhitungan dan percobaan.....	36
9	Parameter kinetika adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh kitosan-GA 4% Pada konsentrasi awal 10 mg/L dan variasi suhu.....	37
10	Parameter termodinamika adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh kitosan-GA 4%.....	39
11	Perbandingan metode desorpsi Au dari serpih kitosan-GA 4% dengan karbon aktif.....	41
12	Pengaruh ion asing terhadap kapasitas dan persen adsorpsi $[Au(CN)_2]^-$ oleh kitosan-GA.....	42

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

DAFTAR GAMBAR

		Halaman
1	Diagram sirkuit CIL dan CIP.....	7
2	Diagram proses pengolahan emas metoda sianidas-.....	8
3	Struktur kimia rantai kitosan.....	9
4	Struktur hidrogel kitosan.....	13
5	Skema reaksi pengikatan silang kitosan-GA.....	13
6	Skema reaksi pembentukan kompleks $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$	26
7	Spektra UV-VIS kompleks $[\text{AuCl}_4]^-$ (a); $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 2 (b) dan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 13 (c).....	27
8	Kontur <i>respon surface</i> adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	29
9	Interaksi ionik $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dengan serpih kitosan-GA 4% terprotonasi pada pH 2.....	30
10	Isotermal adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% pada suhu kamar (30°C)	31
11	Adsorpsi isotermal Langmuir $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-GA 4%.....	32
12	Adsorpsi isotermal Freundlich $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-GA 4%.....	32
13	Pengaruh waktu kontak pada adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-GA 4%.....	35
14	Plot kinetika orde satu semu adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-GA 4%	35
15	Plot kinetika orde dua semu adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-G.....	36
16	Pengaruh suhu pada kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-GA pada pH 2.....	37
17	Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ pada adsorpsi ion kompleks Au oleh kitosan GA 4%.....	38



Hak Cipta Milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

		Halaman
18	Plot Van't Hoff untuk adsorpsi ion kompleks Au oleh kitosan-GA 4%.....	39
19	Profil desorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dengan konsentrasi awal 10-50 mg/L dari kitosan-GA setiap waktu.....	40
20	Bentuk dan warna serpih kitosan-GA sebelum (a) dan sesudah diperlakukan dengan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ (b) dan dielusi dengan NaCN 1% (c)	41
21	Spektra UV-VIS $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ pada pH 2 (a) dan 13 (b).....	43
22	SEM kitosan pembesaran 5000x: tanpa perlakuan (a); kitosan-GA (b); kitosan-GA-Au (c) dan kitosan-GA-Au pembesaran 10000x (d)	44
23	Difraktogram XRD kitosan tanpa perlakuan (-) (a); kitosan-GA (-) (b) dan kitosan-GA-Au (-) (c)	45



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1 Bentuk-bentuk kitosan yang digunakan pada penelitian adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$	54
2 Kapasitas dan persen adsorpsi kitosan-GA dan karbon aktif terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$	55
3 Perbandingan kapasitas dan persen adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ kitosan-GA dan karbon aktif serta Tabel ANOVA menggunakan uji Dunett's	56
4 Pembuatan larutan standar $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dan kurva standar Au.....	57
5 Data hasil optimasi (tahap 1) box behken kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpihkitosan-GA 4%	58
6 Hasil analisis <i>respon surface box</i> Behnken adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	59
7 Data hasil optimasi box behnken kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% tahap 2.....	60
8 Data hasil studi isothermal adsorpsi serpih kitosan-GA 4% terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$	61
9 Data hasil analisis isothermal Langmuir dan Freundlich adsorpsi serpih kitosan-GA 4% terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dan contoh perhitungan parameter isothermal.....	62
10 Data hasil adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	63
11 Pengaruh waktu pada kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	64
12 Data analisis kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	65
13 Persamaan regresi linier kinetika orde satu dan orde dua semu adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	66
14 Perbandingan konstanta kecepatan orde satu dan orde	



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

	dua serta nilai q_e hasil perhitungan adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	67
15	Data kinetika orde dua adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% 68.....	68
16	Kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% setiap waktu.....	69
17	Data analisis pengaruh suhu dan perhitungan parameter termodinamika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%.....	70
18	Data desorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dari serpih kitosan-GA4%.....	71
19	Kristalinitas kitosan	72
20	Kristalinitas kitosan-GA.....	73
21	Kristalinitas kitosan-GA-Au	74



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

hilang menjadi *tailing*. Sementara diperkirakan konsentrasi logam Au yang ada dalam karbon halus sekitar 3000 mg/L, maka sekitar 150 kg emas hilang. Jika harga emas perons \$420 maka sama dengan mendapat kerugian sekitar \$2 juta pertahun (Bakker *et al.* 2004), selain dari itu karbon aktif mahal dan menurut Garcia (1997) karbon aktif memiliki selektivitas rendah, sukar dielusi dan membutuhkan reaktivasi. Oleh karena itu pada penelitian ini mencoba mencari adsorben logam alternatif pengganti karbon aktif yang lebih murah dan material terpilih adalah kitosan.

Kitosan adalah sumber polimer kedua yang melimpah di alam setelah selulosa yang dihasilkan dari kitin. Penelitian mengenai kitosan sebagai adsorben dengan atau tanpa modifikasi telah banyak dilaporkan. Kemampuannya menarik non-ion logam melalui mekanisme pengkelatan atau pertukaran ion (tergantung kepada jenis ion logam dan pH larutan) akibat melimpahnya gugus amino dan hidroksida pada sutruktur kimia kitosan.

Kitosan memiliki sifat fisika dan kimia seperti hidrofilik, mudah terdegradasi secara biologi, mudah larut dalam asam asetat dan terlarut sebagian dalam asam encer seperti HNO_3 , HCl dan HClO_4 , sehingga penggunaan kitosan secara langsung sebagai adsorben akan menjadi kurang efektif. Selain itu dalam aplikasinya dapat terjadi penggelembungan. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut biasanya dilakukan modifikasi dengan mereaksikan bahan penaut silang untuk membentuk kitosan bertaut silang.

Salah satu modifikasi kimia kitosan yang paling banyak digunakan adalah ditaut silang dengan glutaraldehida melalui reaksi pembentukan basa schif antara gugus aldehida ujung pada glutaraldehida (GA) dengan gugus amino kitosan membentuk imina (Chang *et al.* 2006). Tautan silang ini telah terbukti dapat meningkatkan stabilitas adsorben kitosan dalam asam dan selain itu menurut Sun (2007), penambahan glutaraldehida sampai batas tertentu dapat meningkatkan kapasitas adsorpsi kitosan.

Kitosan bertaut silang dapat juga dimodifikasi secara fisika yaitu dibuat serpih, butir, gel dan membran (Peirano *et al.* 2003; Mi *et al.* 2000; Beppu *et al.* 2007). Kombinasi kedua modifikasi kitosan tersebut telah banyak digunakan untuk mengadsorpsi logam Au(III) berupa kompleks emas $[\text{AuCl}_4]^-$ dari air dan



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

limbah industri pada kondisi asam. Periano *et al.* (2003) melaporkan kitosan bertaut silang dengan glutaraldehid mampu mengadsorpsi Au(III) dengan perolehan 100% dari konsentrasi larutan kompleks $[\text{AuCl}_4]^-$ 10 mg/L.

Adsorpsi kompleks Au sianida oleh kitosan sampai saat ini belum ada yang melakukan dikarenakan kompleks ini di industri pengolahan emas di kondisikan pada suasana basa (untuk dapat diadsorpsi optimal oleh karbon aktif), kitosan pada suasana tersebut memiliki rapatan ion yang rendah sehingga kurang mengadsorpsi kompleks Au sianida. Terdapat dua bentuk kompleks Au sianida yaitu kompleks $[\text{Au(CN)}_4]^-$ dan $[\text{Au(CN)}_2]^-$. Kedua kompleks tersebut mempunyai sifat kimia yang mirip yaitu stabil pada suasana asam dan basa serta muatan -1. Pada penelitian skala laboratorium ini digunakan larutan $[\text{Au(CN)}_4]^-$ dan untuk aplikasinya menggunakan larutan $[\text{Au(CN)}_2]^-$ yang berasal unit sianidasi PT ANTAM Pongkor.

Rumusan masalah

Berdasarkan uraian di atas aplikasi karbon aktif sebagai adsorben logam $[\text{Au(CN)}_2]^-$ pada proses CIL dan CIP memiliki kelemahan yaitu mahal, rapuh sehingga membentuk karbon halus, harus direaktivasi dan sukar dielus.

Kitosan merupakan bahan alam yang memiliki potensi sama dengan karbon aktif sebagai adsorben, akan tetapi aplikasinya dibatasi oleh kelemahannya yaitu larut dalam asam-asam mineral dan organik, sehingga diperlukan modifikasi material dan optimasi proses adsorpsinya.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah mempelajari isothermal, kinetika termodinamika, desorpsi, dan pengaruh ion asing adsorpsi $[\text{Au(CN)}_4]^-$ oleh kitosan-GA serta mempelajari karakteristik struktur pori dan kristalinitasnya untuk dijadikan model adsorpsi $[\text{Au(CN)}_2]^-$.



TINJAUAN PUSTAKA

Mineralogi Logam Emas

Emas (Au) merupakan logam yang bersifat sangat, lunak dan mudah ditempa, kekerasannya berkisar antara 2,5 – 3 (skala Mohs), serta massa jenisnya bergantung pada jenis dan kandungan logam lain yang berpadu dengannya. Mineral pembawa emas biasanya berasosiasi dengan mineral ikutan (*gangue minerals*). Mineral ikutan tersebut umumnya kuarsa, karbonat, turmalin, flourpar, dan sejumlah kecil mineral nonlogam. Mineral pembawa emas juga berasosiasi dengan endapan sulfida yang telah teroksidasi. Mineral utama pembawa emas terdiri dari emas *nativ* (bercampur dengan perak), *elektrum* (Ag > 20%), dan campuran mineral emas lainnya yang jarang dan umumnya bersatu dengan bijih spesifik yaitu aurikuprid (Cu₃Au) dan tetra aurikuprid (AuCu), maldonit (Au₂Bi), emas telurida: aurostibit (AuSb₂), kalaverit [AuTe₂] dan silvanit ((Au,Au)Te₂), sejumlah paduan dan senyawa emas dengan unsur-unsur belerang, antimon dan selenium (Chryssoulis *et al.* 2005).

Emas terbentuk dari proses magmatisme atau pengkonsentrasian di permukaan. Beberapa endapan terbentuk karena proses metasomatisme kontak dan larutan hidrotermal, sedangkan pengkonsentrasian secara mekanis menghasilkan endapan *placer*.

Sianidasi Logam Emas

Ekstraksi logam emas dengan menggunakan sianida saat ini telah menjadi proses utama ekstraksi emas dalam skala industri. Proses ini dikembangkan untuk memperoleh bijih emas kualitas rendah dengan ukuran butiran kurang dari 10 µm (Gonen *et al.* 2004). Proses sianidasi terdiri dari dua tahap penting, yaitu proses pelarutan dan proses pemisahan emas dari larutannya. Pelarut yang biasa digunakan dalam proses sianidasi adalah NaCN, KCN, Ca(CN)₂ atau campuran ketiganya. Pelarut yang paling sering digunakan adalah NaCN, karena mampu melarutkan emas lebih baik dari pelarut lainnya membentuk kompleks anion [Au(CN)₂]⁻. Persamaan reaksi umum yang sering digunakan dalam pelarutan Au

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

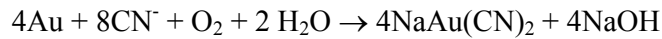


Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

dengan larutan sianida pada kondisi basa dikenal dengan persamaan Elsner berikut ini



Pelarutan emas adalah proses elektrokimia dengan permukaan logam emas sebagai katoda dan oksigen sebagai anoda. Menurut persamaan tersebut, pada konsentrasi rendah sianida, laju pelarutan emas adalah fungsi konsentrasi sianida dan pada konsentrasi sianida tinggi laju pelarutan emas adalah fungsi konsentrasi oksigen (Deschenes 2005).

Pelarutan emas merupakan reaksi heterogen yang dikendalikan oleh difusi dua spesies reaktif (O_2^- dan CN^-) melalui batas lapisan Nernst. Laju pelarutan emas meningkat secara linier dengan meningkatnya konsentrasi sianida sampai pelarutan maksimum tercapai. Laju pelarutan umumnya disebabkan transfer massa terkendali dalam larutan sianida dengan energi aktivasi 8-20 kJ/mol (Habashi 1967). Faktor lain pada proses pelarutan emas adalah pH, waktu, ukuran butiran, efek galvanis, laju agitasi, suhu, ion asing dan *preg-robbing* (bijih emas mengandung karbon).

Menurut Guzman (2000), timbal, garam merkuri dan ion talium mempercepat laju pelarutan logam emas. Penambahan garam timbal terhadap larutan sianida umumnya lebih praktis (digunakan lebih dari 60 tahun) bertujuan menetralkan pengaruh sulfida dalam bijih, sulfida tidak hanya mengikat oksigen dan sianida membentuk lapisan pasif pada butiran emas yang mengurangi kinetika pelarutan dari keseluruhan ekstraksi.

Tabel 1 Konstanta stabilitas berbagai senyawaan kompleks logam emas

Kompleks	$k_f(\text{Au(I)}), \beta_2$
$\text{Au}(\text{CN})_2^-$	2×10^{38}
$\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$	5×10^{28}
$\text{Au}(\text{CS}(\text{NH}_2)_2)^{2+}$	2×10^{23}
AuI_2^-	4×10^{19}
$\text{Au}(\text{SCN})_2^-$	$1,3 \times 10^{17}$
AuBr_2^-	1×10^{12}
AuCl_2^-	1×10^9

Sumber: Deschenes 2005

Larutan sianida juga membentuk kompleks dengan logam lain, seperti merkuri, seng, tembaga, besi dan nikel (Gonen *et al.* 2004). Dua keuntungan utama



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

sianidasi emas adalah selektivitas sianida bebas (CN^-) terhadap pelarutan logam emas dan kompleksnya sangat stabil seperti diilustrasikan dengan konstanta stabilitas kompleks pada Tabel 1.

Metode Pelarutan Emas dengan Sianida

Proses sianidasi logam emas terdiri dari tiga metode yang bertujuan untuk memisahkan logam emas dari logam lain dengan cara melarutkannya dalam larutan sianida. Metoda pelarutannya ini antara lain: metoda pelarutan tumpukan (*heap leaching*), perendaman (*vat leaching*), dan perendaman dan aerasi (*Agitated tank leaching*). Ketiga metoda tersebut dibedakan dari teknik pelarutannya. Pada *heap leaching*, larutan sianida dilewatkan pada tumpukan bijih emas sedangkan pada *vat leaching*, bijih emas direndam dalam larutan sianida dan pada *Agitated tank leaching*, sama hal dengan metoda *vat leaching* hanya ditambah proses pengadukan atau diaerasi dengan gelembung udara. Kemampuan ketiga metoda ekstraksi Au tersebut berturut-turut berkisar 35 – 65 %, 40 – 70 % dan >90% Au

Pemisahan Logam Emas

Seperti disebutkan sebelumnya bahwa proses sianidasi tidak saja melarutkan emas, akan tetapi juga melarutkan logam lain diantaranya Ag, Pb dan Cu. Proses pemisahan dan pemurnian logam emas terdiri dari dua metoda yaitu sebagai berikut:

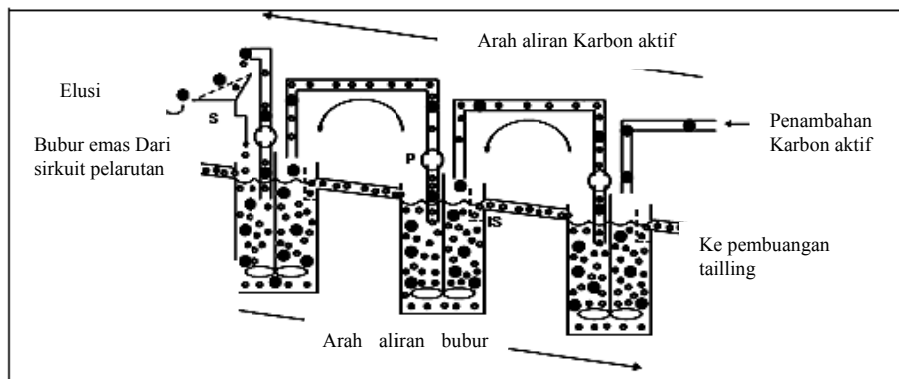
Pengendapan dengan menggunakan serbuk zink (Zn)

Penggunaan serbuk Zn merupakan salah satu cara yang efektif untuk larutan yang mengandung konsentrasi logam emas kecil. Serbuk Zn yang ditambahkan kedalam larutan kaya, akan mengendapkan logam emas dan perak dalam bentuk ikatan Zn-Au yang berwarna hitam. Proses selanjutnya dilakukan penambahan asam sulfat pada endapan tersebut yang akan melarutkan zink dan meninggalkan logam emas sebagai residunya. Untuk meningkatkan perolehan logam emas pada proses *merill crowe* dilakukan dengan cara melebur logam emas yang dicampur dengan borax dan *siliceous fluxing agent* ($PbOSiO_2$) pada suhu 1200 °C.

Penyerapan dengan menggunakan karbon aktif.

Penyerapan dengan menggunakan karbon aktif umumnya berdiameter antara 1- 2 mm. Kemampuan adsorpsi emas dari karbon aktif mencapai 10 – 15 g emas/kg karbon aktif, namun umumnya hanya berkisar 2 – 5 g emas/kg karbon aktif.

Karbon aktif digunakan pada larutan kaya yang sudah jernih melalui kolom maupun pada tangki pelarutan dengan cara menggantungkan karbon yang terletak pada kantong permeabel (*carbon in leach/CIL*) atau dengan mencampurkan karbon aktif langsung pada bubur campuran bijih (*carbon in pulp/CIP*). Proses CIL adalah yang paling utama digunakan untuk mengolah bijih yang mengandung senyawa organik dan spesies *preg-robbing* (Lima 2007). CIL dan CIP merupakan proses lambat, untuk tujuan memperbaiki ekstraksi dan perolehan emas, keduanya secara kontinu digunakan. Gambar 1 memperlihatkan skema sirkuit CIL dan CIP dengan tiga reaktor.



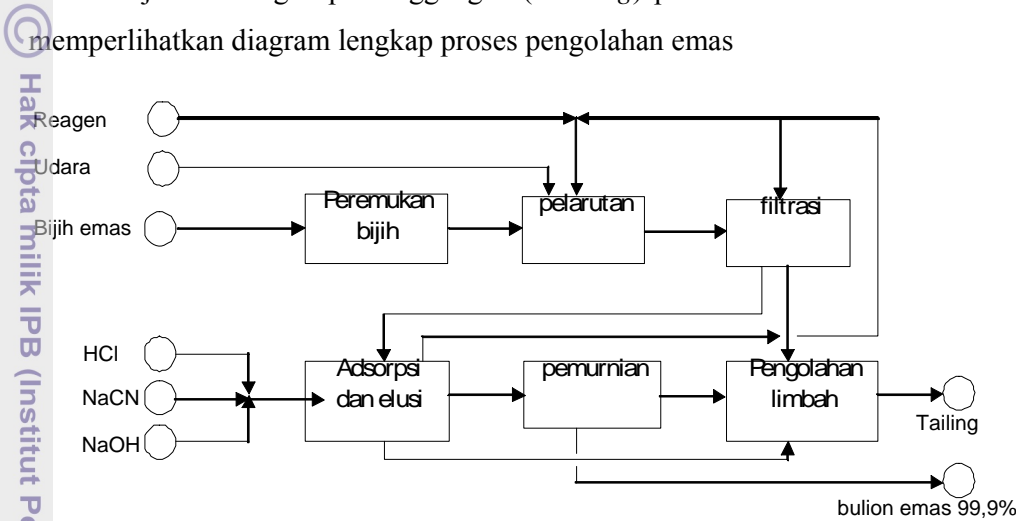
Gambar 1 Diagram sirkuit CIL dan CIP, dengan saringan dalam (IS), saringan luar (S) dan pompa pengaliran karbon (P) (Lima 2007)

Proses selanjutnya adalah pemisahan emas (*elusion*) dari karbon yang dapat dilakukan dengan beberapa cara berikut:

- a) Membakar karbon yang mengandung emas menghasilkan abu dan logam emas. Cara ini paling sederhana namun sulit dikontrol apabila dilakukan di tempat terbuka. Jika terdapat kandungan merkuri dalam karbon tersebut akan menghasilkan asap merkuri yang beracun yang akan membahayakan penambang dan lingkungan.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

b) Merendam karbon (*carbon stripping*) tersebut pada larutan yang mengandung 2 g sianida per liter larutan dan dipanaskan sampai mendekati suhu didih air (80 – 90 °C) pada tangki baja (*stainless steel*) selama 2 hari. Larutan hasil proses ini kemudian diolah dengan proses *merill crowe* atau dengan *electrowinning*. Karbon yang masih kasar (diameter > 1 mm) dapat digunakan kembali untuk proses penyerapan sampai 5 kali. Lebih dari itu karbon perlu diaktifkan kembali dengan cara dicuci dengan asam klorida (HCl) panas (85 °C) dan dilanjutkan dengan pemanggangan (*roasting*) pada suhu 700 °C. Gambar 2 memperlihatkan diagram lengkap proses pengolahan emas

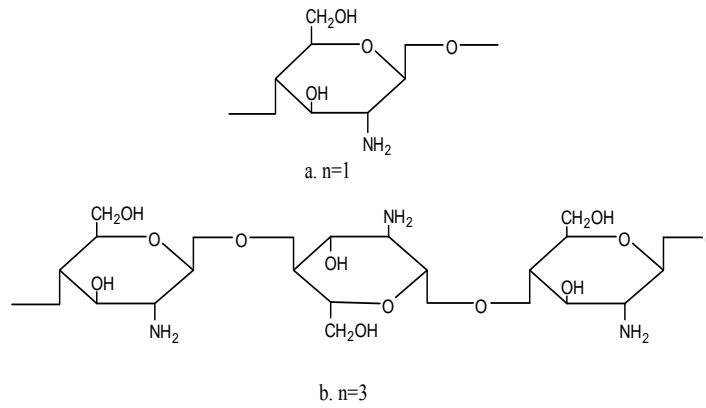


Gambar 2 Diagram proses pengolahan emas metoda sianidasi (Schlitt *et al.* 1981)

Biosorben Kitosan

Kitosan (poli 2-amino-2-dioksi-β-D-glukosa) sebagai turunan dari kitin (poli-β-N-asetil-D-glukosamin), merupakan suatu amino polisakarida alami kedua melimpah di alam. Umumnya bersumber dari cangkang binatang moluska, krustace dan insekta. Kitosan di dapatkan dari proses deasetilasi kitin, yaitu gugus asetil pada kitin diubah menjadi gugus amina dengan penambahan larutan basa kuat berkonsentrasi tinggi. Struktur kimia rantai kitosan $(C_6H_{11}NO_4)_n$ ditunjukkan pada Gambar 3.

Kitosan mempunyai massa 161 g per unit monomer dan konsentrasi gugus amino adalah 6,21 mmol/g (jika kitosan terdeasetilasi lengkap) (Wu *et al.* 2010).



Gambar 3 Struktur kimia rantai kitosan (a) $n=1$ dan (b) $n=3$ (n =jumlah unit monomer)

Hasil penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan kitosan dapat mengikat logam berat 4 sampai 5 kali lebih besar dari kitin, hal ini terkait dengan adanya gugus amina terbuka sepanjang rantai kitosan dan gugus hidroksil (terutama pada posisi C-3) (Guibal 2004). Gugus-gugus reaktif tersebut akan berinteraksi dengan ion logam melalui mekanisme yang beragam tergantung pada jenis logam, pH dan medium larutan. Sepasang elektron bebas pada nitrogen dapat mengikat kation logam pada pH netral, dilain pihak protonasi gugus amina dalam larutan asam menghasilkan perilaku polimer kationik dan berpotensi untuk mengikat anion logam (pertukaran ion atau tarikan elektrostatik).

Adsorpsi logam transisi oleh kitosan paling utama melalui koordinasi dengan gugus amino tidak terprotonasi (Monteiro *et al.* 1999). Berbagai koordinasi logam dapat terjadi dalam satu rantai kitosan, meliputi: pengkelatan intramolekul dengan tiga konfigurasi berbeda dan pengkelatan dengan empat bentuk berbeda. Tipe-tipe koordinasi tersebut memainkan peran penting terhadap kinerja adsorpsi (kapasitas, dan kinetika adsorpsi). Secara teoritis maksimum kapasitas adsorpsi logam divalen pada kitosan adalah 6.2, 3.1, dan 1.6 mmol/g saat logam divalent dan gugus amino terikat pada rasio molar 1:1, 1:2 dan 1:4 (Wu *et al.* 2010).



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Modifikasi Kitosan

Modifikasi fisika

Salah satu keuntungan yang sangat menarik dari kitosan adalah dapat dibuat bermacam-macam bentuk. Material ini dapat dengan cepat dimodifikasi secara fisik menjadi bentuk tepung, nano partikel, gel, serpih, butir, membran, *sponge*, sarang lebah (*honeycomb*), serat, serat berlubang (*hollow fiber*) tergantung keperluan seperti pengolah air limbah, biomedis, dan tekstil (Guibal 2004).

Besarnya kitosan dalam mengikat logam tergantung dari karakteristik makrostruktur kitosan yang dipengaruhi oleh sumber dan kondisi proses isolasi. Perbedaan bentuk kitosan tersebut dipakai tergantung pada aplikasinya dalam berbagai bidang. Semakin kecil ukuran kitosan maka semakin besar luas permukaan kitosan, akibatnya proses adsorpsi semakin baik. Modifikasi kimia kitosan menjadi gel kitosan dapat meningkatkan kapasitas jerapnya dikarenakan butiran gel mempunyai volume pori lebih besar dibandingkan bentuk serpihan. Kestabilan gel dipengaruhi oleh konsentrasi, bobot molekul, pH, suhu, polielektrolit dan hidrokoloid lain.

Kontrol kondisi polimer dapat membantu mendesain proses penyerapan, jika digunakan sebagai resin penukar ion umumnya dioperasikan dalam sistem kolom (*fixed-bed*) dan dalam kaitan dengan ketahanan transfer massa antar partikel umumnya digunakan kitosan berukuran partikel sangat kecil untuk meningkatkan kinetika penyerapannya, akan tetapi pada sistem kolom terlalu kecil ukuran partikel dapat menyebabkan penyumbatan kolom (*clogging*). Penggunaan kitosan serpih atau manik dapat mengatasi masalah di atas sehingga perilaku hidrodinamika dan sifat difusi dapat ditingkatkan (Guibal 2004).

Modifikasi kimia

Modifikasi kimia kitosan bertujuan untuk: (1) mencegah pelarutan polimer ketika proses penyerapan logam dalam larutan asam dan (2) meningkatkan sifat penyerapan logam (meningkatkan kapasitas dan selektivitas penyerapan).

Prosedur penautan silang dapat dilakukan dengan mereaksikan kitosan dengan penaut silang yang mempunyai dua gugus fungsi seperti glutaraldehida,



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

1,1,3,3-tetra metoksiopropana, siklodektrin, etilenglikoldiglisidileter, epiklorohidrin dan sebagainya. Pada kasus tertentu proses pengikatan silang dapat menyebabkan penurunan signifikan efisiensi dan kapasitas penyerapan logam, terutama jika reaksi melibatkan gugus amina. Seperti halnya pada pengikatan silang kitosan oleh glutaraldehida membentuk gugus imina, reaksi ini menyebabkan penurunan jumlah gugus amina kitosan, akibatnya kapasitas adsorpsinya turun, terutama pada kasus penyerapan ion logam melalui mekanisme pengkelatan. Pada kasus lain seperti yang dilaporkan oleh Sun *et al.* (2007), penambahan glutaraldehida sampai batas tertentu justru meningkatkan kapasitas adsorpsi adsorben berbasis kitosan. Xu *et al.* (2001) melaporkan kitosan- β -siklodektrin dengan penaut silang glutaraldehida meningkatkan kapasitas adsorpsi terhadap bilirubin terkonjugasi dan mempercepat kesetimbangan adsorpsi.

Sejumlah besar turunan kitosan telah diperoleh saat ini dengan cara pencetakan (*grafting*) gugus fungsi baru pada kerangka dasar kitosan. Tujuan pencetakan ini adalah: (1) meningkatkan densitas pusat aktif penyerapan, (2) mengubah rentang pH untuk penyerapan logam, (3) mengubah pusat aktif penyerapan atau mekanisme untuk meningkatkan selektivitas terhadap logam target. Bentuk- bentuk kitosan yang dimodifikasi secara fisika dan kimia dan digunakan sebagai adsorben logam berat adalah serpih, butir, gel dan membran.

Serpih

Kitosan bentuk serpihan memiliki afinitas terhadap ion logam telah diuji cobakan terhadap ion Pb^{2+} , Ni^{2+} dan Cr^{6+} dan besar persen pengikatannya berturut-turut 84-98%, 40-92% dan 17-46%. Interaksi ini sangat dipengaruhi oleh pH larutan ion logam (Sugita 1995).

Butir

Kitosan bentuk butiran dapat dibuat dengan melarutkan kitosan bentuk serpihan ke dalam asam asetat, kemudian diteteskan pada larutan basa, sehingga diperoleh butiran bola dengan diameter rata-rata 2,5 mm. Shentu *et al.* (2005)



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

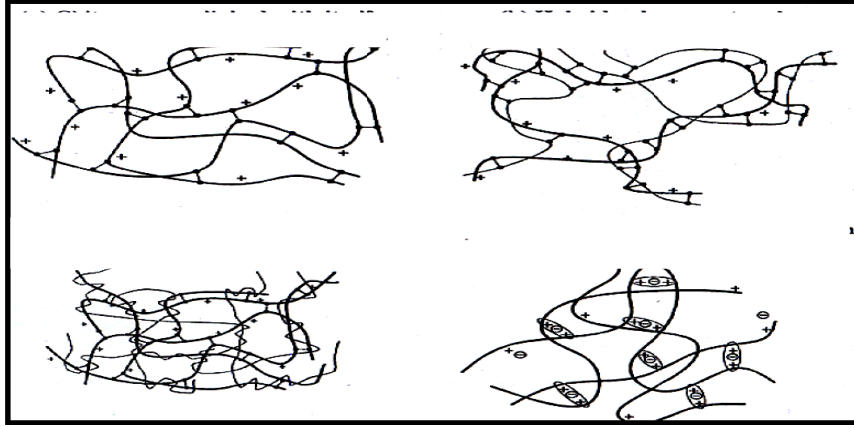
membuat kitosan bentuk butiran yang digunakan untuk proses adsorpsi enzim katalase.

Gel

Hidogel kitosan terjadi karena terbentuknya jaringan tiga dimensi dari molekul primer yang terentang pada seluruh volume gel dan memerangkap sejumlah pelarut didalamnya. Sehingga terbentuk struktur kaku dan tegar yang tahan terhadap gaya atau tekanan tertentu. Gel yang dapat menahan air di dalam strukturnya disebut hidrogel (Wang *et al.* 2004). Air yang terdapat dalam gel ini merupakan tipe air imbibisi, yaitu air yang masuk kedalam suatu bahan dan menyebabkan pengembangan volume (*swelling*), tetapi air ini bukan komponen penyusun bahan tersebut.

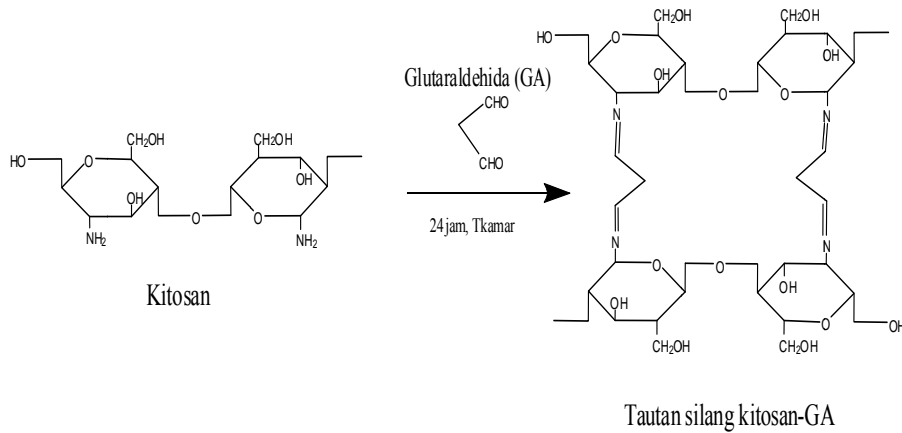
Hidrogel diklasifikasikan berdasarkan sifat kimia dan fisika. Hidrogel kimia dibentuk oleh reaksi yang tidak dapat balik dan melibatkan pembentukan ikatan silang secara kovalen, sedangkan hidrogel fisika di bentuk oleh reaksi yang dapat balik dengan pembentukan ikatan silang terjadi secara ionik (Stevens 2000 dan Berger *et al.* 2004). Ikatan silang kovalen dalam hidrogel kitosan dibedakan menjadi 3 bagian, yaitu ikatan silang kitosan-kitosan, jaringan polimer hibrida, dan semi- atau *full-interpenetrating network* (IPN).

Tautan silang kitosan-kitosan terjadi antara dua unit struktural pada rantai polimer kitosan yang sama, sementara pada jaringan polimer hibrida, reaksi penautan silang terjadi antara satu unit dari struktur rantai kitosan dan unit lain dari struktur polimer tambahan. Berbeda dengan jaringan polimer hibrida, semi- atau *full-IPN* terjadi jika ditambahkan polimer lain yang tidak bereaksi dengan larutan kitosan sebelum terjadi ikatan silang. Pada semi-IPN, polimer yang ditambahkan ini hanya melilit, sementara pada *full-IPN*, ditambahkan dua senyawa penaut silang yang terlibat dalam jaringan (Berger *et al.* 2004). Gambar 4 menunjukkan beberapa struktur hidrogel kitosan.



Gambar 4 Struktur hidrogel kitosan (a) ikatan silang kitosan-kitosan, (b) jaringan polimer hibrida, (c) jaringan semi IPN, (d) kitosan berikatan silang ionik (Berger *et al.*2004).

Zat penaut silang yang sering digunakan dalam pembentukan gel kitosan adalah glutaraldehida, tripolifosfat, epiklorohidrin, dan etilenadiamina. Tautan silang glutaraldehida (Gambar 5) terjadi melalui reaksi pembentukan basa Schiff antara gugus aldehida-ujung pada glutaraldehida dengan gugus amino pada kitosan membentuk imina akan menghasilkan ikatan kimia yang kuat antar polimer kitosan.



Gambar 5 Skema reaksi pengikatan silang kitosan-glutaraldehida

Pemanfaatan hidrogel kitosan telah banyak dilaporkan, di antaranya gel dapat meningkatkan kemampuan dan kapasitas adsorpsinya terhadap ion logam berat (Guibal 1997). Hal ini disebabkan bentuk gel mempunyai volume pori yang



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

lebih besar dibandingkan dengan bentuk serpihan, akan tetapi kemampuan adsorpsi gel kitosan sangat dipengaruhi oleh kestabilan sifat gel yang terbentuk.

Membran

Menurut Mulder (1996) membran kitosan merupakan batas penghalang selektif antara dua fasa atau penghalang polimer yang bersifat semipermeabel. Menurut bahan dasarnya membran dibedakan menjadi membran organik dan anorganik. Membran organik terbuat dari bahan polimer alami maupun polimer sintetik. Polimer yang biasa digunakan untuk membuat membran adalah selulosa dan turunannya, polisulfon, polikarbonat, polipropilena dan polietilena. Membran anorganik terbuat dari bahan anorganik seperti kaca, keramik dan logam. Membran kitosan adalah membran pengompleks pertama dari polimer alam dan telah digunakan untuk menarik unsur-unsur logam dalam jumlah renik dari larutan garamnya (Meriatna 2008).

Membran dibuat dengan menggunakan beberapa metode antara lain pelelehan, pengepresan, *track-etching*, dan pembalikan fase. Pembalikan fase adalah proses dimana polimer diubah dari bentuk larutan menjadi bentuk padatan secara terkontrol. Proses pemadatan sering kali diawali dengan perpindahan polimer dari suatu cairan (pelarut) ke cairan lain (non pelarut). Fase yang konsentrasi polimernya tinggi dalam larutan akan membentuk padatan atau matriks membran, sedang fase dengan konsentrasi polimer rendah akan membentuk pori-pori (Mulder 1996).

Karakterisasi membran meliputi pengukuran terhadap fungsi dan efisiensi membran yaitu permeabilitas dan selektivitas membran. Selain dari itu adalah sifat mekanik untuk mengetahui kekuatan membran, seperti uji kekuatan tarik dan daya jebol. Morfologi membran dapat dilihat menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*) (Meriatna 2008).

Membran dapat dikarakterisasi berdasarkan struktur maupun fungsinya. Berdasarkan strukturnya dapat dikarakterisasi ketebalan, kandungan air, permeabilitas, ukuran pori, distribusi ukuran pori, densitas pori dan beberapa sifat fisika-kimia, sedangkan berdasarkan fungsinya karakterisasi membran meliputi koefisien difusi, suhu, tekanan, takaran, rejeksi zat terlarut, *fluks*, potensial



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

membran, jumlah pelarut yang ditransfer melewati membran (*permeat*) dan volume elektroosmotik.

Isotermal Adsorpsi

Isotermal adsorpsi merupakan metode yang paling banyak digunakan untuk mewakili keadaan kesetimbangan sistem adsorpsi karena dapat memberikan keterangan berguna yang berkaitan dengan adsorbat, adsorben, proses adsorpsi, penentuan luas permukaan adsorben, volume dan distribusi ukuran pori, kalor adsorpsi serta adsorpsibilitas relatif gas atau uap pada adsorben tertentu. Plot kapasitas adsorpsi isotermal (q) terhadap konsentrasi sisa logam dalam larutan pada kesetimbangan (C_{eq}). Distribusi kesetimbangan adsorbat (ion logam) antara fase padat dan cairan di peroleh dengan memvariasikan parameter percobaan (konsentrasi awal (C_0); volume larutan (V); dan massa adsorben (m)). konsentrasi logam sisa dalam larutan digunakan untuk menghitung kapasitas adsorpsi dengan persamaan kesetimbangan massa berikut ini

$$q = \frac{(C_0 - C_{eq})V}{m} \quad (1)$$

Persamaan yang paling penting dan sering digunakan untuk menjelaskan adsorpsi isotermal adalah persamaan Langmuir, Freundlich, dan Langmuir-Freundlich (Wu *et al.* 2010). Terdapat tiga pendekatan teoritis yang mungkin digunakan untuk menentukan isotermal adsorpsi yaitu pendekatan kinetik, statistik dan termodinamik. Pada pendekatan secara kinetik, laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi pada saat kesetimbang, sehingga persamaan kedua laju dalam persamaan isotermal dapat diperoleh. Sementara pada pendekatan statistik, tetapan kesetimbangan mewakili nisbah fungsi partisi lokasi yang kosong yang sudah menyerap molekul dan molekul bebas pada fase gas.

Persamaan isotermal dapat diperoleh dengan menyamakan nisbah dengan konsentrasi. Kesetimbangan dapat didekati juga dengan termodinamika untuk menentukan jenis kondisi kerja yang dilakukan saat perpindahan sejumlah kecil gas dari fase gas ke permukaan pada suhu tetap sama dengan nol atau sebagai alternatif dapat digunakan persamaan adsorpsi Gibbs.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Persamaan isotermal Langmuir

Persamaan Langmuir diperoleh melalui penurunan termodinamik dan statistik, tetapi dibatasi dengan pendekatan kinetik. Pada pendekatan kinetik, kesetimbangan diasumsikan dinamis dengan laju molekul fase gas atau cairan yang menumbuk permukaan padatan dan berkondensasi pada tempat kosong sama dengan laju molekul yang menguap dari lokasi yang telah terisi. Dengan kata lain laju adsorpsi sama dengan laju desorpsi atau seluruh permukaan adsorben mempunyai afinitas yang relatif sama. Persamaan dalam bentuk umumnya adalah:

$$q_e = \frac{q_m b C_e}{1 + b C_e} \quad (2)$$

dengan q_e adalah jumlah adsorbat (mg/g atau mmol/g), C_e adalah konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan (mmol/L atau mg/L), q_m adalah konstanta kapasitas adsorpsi Langmuir (mmol/L atau mg/L) dan b adalah konstanta energi adsorpsi Langmuir (L/mmol atau L/g). Persamaan diatas juga dapat ditulis dalam bentuk persamaan linier sebagai berikut:

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

dengan memplotkan harga C_e terhadap C_e/q_e maka dapat ditentukan konstanta q_m dan b untuk setiap kondisi percobaan (Wu *et al.* 2010).

Parameter penting lain dari proses adsorpsi adalah R_L , disebut dengan parameter kesetimbangan untuk menentukan sistem adsorpsi menguntungkan atau tidak. R_L dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$R_L = \frac{1}{1 + b C_0} \quad (4)$$

dengan b adalah konstanta Langmuir dan C_0 adalah konsentrasi awal adsorbat (mg/g). Nilai R_L antara 0-1 menunjukkan sistem adsorpsi adalah menguntungkan.

Persamaan isotermal Freundlich

Isotermal Freundlich adalah bentuk terbatas dari isotermal Langmuir. Adsorpsi terjadi pada lebih dari satu lapisan tunggal dengan permukaan yang heterogen sehingga ikatan masing-masing adsorbat ditempat pelekatan berbeda-beda. Persamaan empiris untuk isotermal Freundlich adalah:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (5)$$



dengan q_e adalah jumlah adsorbat yang teradsorpsi per unit berat adsorben (mg/g), K_f dan n adalah konstanta empiris dan C_e adalah konsentrasi kesetimbangan adsorbat dalam larutan setelah adsorpsi berlangsung

Konstanta adsorpsi isothermal Freundlich dapat ditentukan dengan memplotkan q_e terhadap C_e sehingga dihasilkan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Log } q_e = \text{Log } K_f C_e^{1/n} + \frac{1}{n} \text{Log } C_e \quad (6)$$

Persamaan Lagmuir-Freundlich

Persamaan ini berhubungan dengan kapasitas adsorpsi jenuh pada lapisan monolayer, afinitas penyerapan untuk logam target dan konstanta model Freundlich. Persamaan Langmuir-Freundlich adalah:

$$q_e = \frac{q_m b C_e^{1/n}}{1 + b C_e^{1/n}} \quad (7)$$

dengan q_{\max} (mg/g atau mmol/g), b (l/mg atau l/mmol), n (dimensionalisasi/konstanta empiris) (Wu *et al.* 2010).

Kinetika Adsorpsi

Penyerapan adsorbat (logam) oleh adsorben dari larutan melibatkan beberapa tahap proses transfer zat terlarut (solut) dari larutan *bulk* ke pusat aktif spesifik adsorben. Transfortasi adsorbat meliputi difusi eksternal dan difusi intra partikel. Percampuran yang homogen (solut dan adsorbat) dibatasi oleh pengaruh daya tahan transfer massa ke difusi film. Pada kasus adsorpsi fisika, adsorpsi itu sendiri dapat dipertimbangkan menjadi tahap spontan dan kinetika sebagian besar dikendalikan oleh daya tahan transfer massa ke difusi intra partikel. Sedangkan pada kasus adsorpsi kimia, kinetika lajunya turut mempengaruhi laju adsorpsi (Guibal 2004).

Kinetika adsorpsi dapat dipelajari melalui persamaan kinetika orde pertama semu (*Pseude-first-order*) dan kedua semu (*pseudo-second-order*). Kinetika adsorpsi *Pseude-first-order* dihitung menggunakan persamaan Lagergren berikut:

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log } q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (8)$$

dengan q_e dan q_t adalah jumlah logam teradsorpsi pada kesetimbangan dan waktu t dan k_1 adalah konstanta laju orde pertama. q_e dan k_1 dihitung dari intersepsi dan



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

kemiringan plot kurva linier $\log (q_e - q_t)$ lawan t . Sedangkan persamaan kinetika *pseudo-second-order* dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{d_q}{d_t} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (9)$$

dengan k_2 adalah konstanta laju adsorpsi orde kedua, dan q_e dan q_t adalah jumlah logam teradsorpsi pada kesetimbangan dan waktu t . Dengan menggunakan kondisi $q_t=0$ dan $t=0$ dan $q_t=q_t$ pada $t=t$ menghasilkan persamaan berikut:

$$\frac{1}{(q_e - q_t) q_e} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (10)$$

Persamaan tersebut dapat dimodifikasi menjadi bentuk persamaan linier

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (11)$$

Konstanta laju *pseudo-second-order* k_2 dan q_e dihitung dari kemiringan dan intersepsi plot linier t/q_t terhadap t (Chang dan Chen 2006).

Termodinamika Adsorpsi

Parameter termodinamika penting ditentukan untuk mengidentifikasi bahwa proses adsorpsi terjadi secara spontan, eksotermis, membutuhkan energi pengaktifan atau tidak di lingkungan normal.

Energi bebas (ΔG), entalpi (ΔH), entropi (ΔS) dan energi pengaktifan (E_a) dapat dihitung dari persamaan berikut:

$$\Delta G = -RT \ln K_c \quad (12)$$

$$K_c = \frac{C_{Ae}}{C_e} \quad (13)$$

$$\log K_c = \frac{\Delta S}{2.303R} - \frac{\Delta H}{2.303RT} \quad (14)$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{R} \frac{1}{T} \quad (15)$$

Persamaan 14 dikenal dengan persamaan Van Hoff dan persamaan 15 dikenal dengan persamaan Arrhenius, dengan R adalah tetapan gas ideal $8.314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$, K_c adalah konstanta kesetimbangan, T adalah suhu dalam K, C_{Ae} adalah konsentrasi adsorbat dalam adsorben pada kesetimbangan (mg/L) dan C_e adalah konsentrasi adsorbat pada kesetimbangan dalam larutan (mg/L). nilai ΔH dan ΔS dihitung dari intersepsi dan kemiringan persamaan linier Van Hoff $\log K_c$ terhadap $1/T$, sedangkan nilai energi aktivasi E_a dihitung berdasarkan kemiringan dari plot linier persamaan Arrhenius $\ln k$ terhadap $1/T$ (Fuziwara *et al.* 2007).



BAHAN DAN METODE

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan adalah termometer, neraca analitik, spektrofotometer serapan atom (AAS Varians), XRD Shimadzu: model XRD-7000 Maxima, SEM Jeol: model JSM-6510LA, spektrometer UV-Vis Shimadzu.

Bahan-bahan yang digunakan adalah kitosan (derajat deasetilasi 73% dan bobot molekul 3200 kD), $H[Au(Cl)_4]$ 1000 mg/L, HCl 37 %, NaOH, NaCN, Glutaraldehida 25% (GA), CH_3COOH 100 %, HNO_3 65 % dan H_2SO_4 96%.

Prosedur Percobaan

Tahapan penelitian ini terdiri dari:

1. Pembuatan kitosan bertaut silang glutaraldehida (Peirano *et al.* 2003).
2. Pemilihan bentuk kitosan
3. Pada tahap ini akan dipilih bentuk kitosan (serpih, butir, gel atau membran) yang memiliki kapasitas adsorpsi terhadap $[Au(CN)_4]^-$ paling tinggi dan bentuk kitosan yang terpilih akan digunakan untuk optimasi proses adsorpsi selanjutnya.
4. Optimasi proses adsorpsi kitosan-GA $[Au(CN)_4]^-$ menggunakan metoda *batch* dengan parameter optimasi adalah waktu kontak, pH, dan bobot adsorben dan metode rancangan percobaan adalah *respon surface box behnken*.
5. Penetapan isothermal dan kinetika adsorpsi untuk melihat mekanisme, laju dan termodinamika proses adsorpsi.
6. Penelitian desorpsi $[Au(CN)_4]^-$.
7. pengaruh ion asing pada proses adsorpsi $[Au(CN)_2]^-$
7. Pengolahan data menggunakan analisis *respon surface* dan regresi linier menggunakan software Minitab 7.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Pembuatan Kitosan Bertaut Silang Glutaraldehida

Serpih

Serpih kitosan sejumlah 5 g direndam dalam 75 mL glutaraldehida 2,5% dan 4% diagitasi selama 24 jam pada 220 rpm dan suhu kamar. Selanjutnya serpih kitosan-GA dicuci dan dikering udarakan.

Butir

Serpih kitosan sebanyak 5 g dilarutkan dalam 100 mL asam asetat 2% kemudian diaduk hingga homogen. Larutan kitosan yang terbentuk diteteskan pada larutan basa NaOH 4% sampai terbentuk butiran berbentuk bola. Selanjutnya butiran kitosan dikumpulkan dan dicuci dengan aquades sampai pH netral kemudian direaksikan dengan 75 mL glutaraldehida 2,5% sambil diagitasi selama 24 jam pada suhu kamar. Selanjutnya butir kitosan-GA dicuci dan dikering udarakan.

Gel

Serpih kitosan sebanyak 5 g dilarutkan dalam 100 mL asam asetat 2%, diaduk hingga homogen, kemudian larutan kitosan direaksikan dengan glutaraldehida 2,5% (1:3) dan didiamkan semalam. Selanjutnya gel-GA dicuci dengan aquades dan dikering udarakan.

Membran

Serpih kitosan sebanyak 5 g dilarutkan dalam 100 mL asam asetat 2%, diaduk hingga homogen sehingga diperoleh larutan kitosan 5%, kemudian dituangkan kedalam plat kaca dan dikeringkan pada suhu kamar. Selanjutnya dicelupkan kedalam NaOH 1% pada suhu 25°C kemudian dicuci berulang-ulang dengan aquades untuk menghilangkan kadar NaOH dan dikeringkan pada suhu kamar. Membran kitosan yang dihasilkan direaksikan dengan glutaraldehida 2,5% dengan proses yang sama pada pembuatan taut silang kitosan-GA bentuk serpih dan butir.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Percobaan Kelarutan

Semua bentuk-bentuk kitosan yang telah dibuat sebelumnya diuji kelarutannya dalam asam dan basa dengan prosedur sesuai dengan metode Chen *et al.* (2008). Masing-masing bentuk kitosan dilarutkan kedalam HCl 6N, HNO₃ 5%, H₂SO₄ 5%, CH₃COOH 2%, HNO₃ pekat, H₂SO₄ pekat dan NaOH 6N dengan rasio kitosan/asam-basa 10% (b/v) selama 24 jam dengan pengadukan pada suhu ruang.

Pemilihan Bentuk Kitosan

Kitosan-GA serpih, butir, gel dan membran sebanyak 1 g masing-masing ditambahkan pada 50 mL larutan Au[(CN)₄]⁻ 10 mg/L, diaduk pada pH 2, waktu kontak 6 jam dan suhu kamar sesuai metoda Chang *et al.* (2006) yang dimodifikasi. Setelah itu disaring dan kadar Au dalam filtrat dianalisa oleh spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 242.8 nm.

Optimasi Adsorpsi

Tabel 2 menunjukkan rancangan percobaan metode *respon surface box behnken*. Proses optimasi dilakukan pada 3 parameter yaitu waktu, pH dan bobot adsorben.

Kitosan-GA terpilih ditambahkan kedalam 50 mL Au[(CN)₄]⁻ dengan konsentrasi 10 mg/L kemudian diaduk pada kondisi percobaan sesuai rancangan percobaan *box behnken*. Selanjutnya disaring dan kadar Au dalam filtrat dianalisa oleh spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 242.8 nm.

Tabel 2 Rancangan percobaan *respon surface box Behnken* adsorpsi Au[(CN)₄]⁻ oleh kitosan-GA

Waktu (menit)	pH	Bobot (g)	Waktu (menit)	pH	Bobot (g)
30	1	0.5025	30	1	0.5025
390	1	0.5025	390	1	0.5025
30	13	0.5025	30	13	0.5025
390	13	0.5025	390	13	0.5025
30	7	0.0050	30	7	0.0050
390	7	0.0050	390	7	0.0050
30	7	1.0000	30	7	1.0000
390	7	1.0000	390	7	1.0000
210	1	0.0050	210	1	0.0050
210	13	0.0050	210	13	0.0050
210	1	1.0000	210	1	1.0000
210	13	1.0000	210	13	1.0000
210	7	0.5025	210	7	0.5025
210	7	0.5025	210	7	0.5025
210	7	0.5025	210	7	0.5025

Penetapan Isotermal dan Kinetika

Parameter optimal (waktu, pH dan bobot) hasil dari percobaan optimasi digunakan untuk kondisi percobaan isotermal dan kinetika adsorpsi.

Isotermal adsorpsi

Kitosan-GA ditambahkan kedalam 50 mL larutan Au[(CN)₄]⁻ dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 140, 160 mg/L, kemudian diaduk pada kondisi optimal dan suhu kamar. Selanjutnya kitosan-GA disaring dan kadar Au dalam filtrat dianalisis oleh spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 242.8 nm.

Kinetika adsorpsi

Percobaan pengaruh konsentrasi awal larutan Au[(CN)₄]⁻ terhadap kinetika adsorpsi dilakukan sebagai berikut: kitosan-GA masing-masing ditambahkan kedalam 50 mL larutan Au[(CN)₄]⁻ dengan konsentrasi 10, 20, 30, 40, 50 mg/L kemudian diaduk pada kondisi optimal pada suhu kamar (30 °C). Pada selang waktu 150 menit setiap 30 menit diambil 10 mL aliquot. Selanjutnya kadar Au

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

dalam aliquot dianalisa oleh spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 242.8 nm.

Percobaan pengaruh suhu terhadap kinetika adsorpsi dilakukan sebagai berikut: kitosan-GA masing-masing ditambahkan kedalam 50 mL larutan $\text{Au}[(\text{CN})_4]^-$ dengan konsentrasi 10 mg/L, kemudian diaduk pada kondisi optimal pada suhu 30, 40, 50 dan 60 °C. Pada selang waktu 150 menit setiap 30 menit di ambil 10 mL aliquot. selanjutnya kadar Au dalam setiap aliquot dianalisis oleh spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 242.8 nm.

Percobaan Elusi

(Modifikasi metode Aworn *et al.* 2005)

Sejumlah konsentrasi Au dalam larutan sianida diadsorpsi oleh kitosan pada 220 nm, suhu kamar selama 2 jam. Kitosan-GA yang mengandung Au di saring dan dikeringkan. Kadar Au dalam filtrat dianalisis oleh spektrometer serapan atom pada panjang gelombang 242.8 nm. Hasil analisis kadar Au dalam filtrat ditetapkan sebagai jumlah Au awal yang ada dalam kitosan (kitosan-GA-Au).

Uji elusi dilakukan dengan pengadukan sejumlah kitosan-GA-Au pada larutan 50 mL NaCN 1% pada suhu kamar dan selama selang waktu 2 jam setiap 30 menit diambil 10 mL aliquot . Selanjutnya dianalisis kadar Au dalam setiap aliquot oleh spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 242.8 nm.

Percobaan Adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ dan Pengaruh Ion Asing

Sejumlah 50 mL larutan $\text{Au}[(\text{CN})_2]^-$ yang berasal dari unit pengolahan bijih emas PT Antam Pongkor diambil dan diencerkan konsentrasinya sampai 10 mg/L. kemudian kadar awal Au, Ag dan *base metal* (Fe, Zn, Cd, Pb, Cu, Mn) pada larutan tersebut dianalisa oleh spektrofotometer serapan atom masing-masing pada panjang gelombang 242.8; 328.1; 248.3; 213.9; 228.8; 217; 324.7; 279.5 nm.

Uji pengaruh ion asing dilakukan dengan pengadukan sejumlah kitosan-GA pada 50 mL larutan $\text{Au}[(\text{CN})_2]^-$ pada suhu kamar selama 2 jam. Selanjutnya kitosan-GA disaring dan kadar Au dalam filtrat dianalisa oleh spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang seperti pengukuran kadar logam awal.

Karakterisasi Material



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Kitosan sebelum perlakuan, kitosan-GA dan kitosan-GA setelah diperlakukan dengan larutan $\text{Au}[(\text{CN})_4]^-$ (kitosan-Ga-Au) dikarakterisasi sifat kristalinitasnya dan morfologinya menggunakan difraktometer sinar X dan SEM (*scanning electron microscope*).

Pengolahan Data

Pengolahan data pemilihan material menggunakan analisis ragam, optimasi proses adsorpsi menggunakan analisis *respon surface* dan untuk mengetahui kekuatan, pengaruh, prediksi hubungan isotermal dan kinetika adsorpsi terhadap prediktor (variabel bebas) menggunakan analisis regresi linier.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Pemilihan Material

Kitosan bertaut silang dengan glutaraldehida berhasil dimodifikasi fisik dalam berbagai bentuk, yaitu serpih, butir, gel dan membran (Lampiran 1). Perbedaan bentuk kitosan ini dibuat bertujuan untuk menentukan kapasitas dan persen adsorpsi terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ untuk dibandingkan dengan karbon aktif. Hasil penelitian kapasitas dan persen adsorpsi berbagai bentuk kitosan (Lampiran 2) tersebut terhadap terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kapasitas dan persen adsorpsi kitosan-GA dan karbon aktif terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$

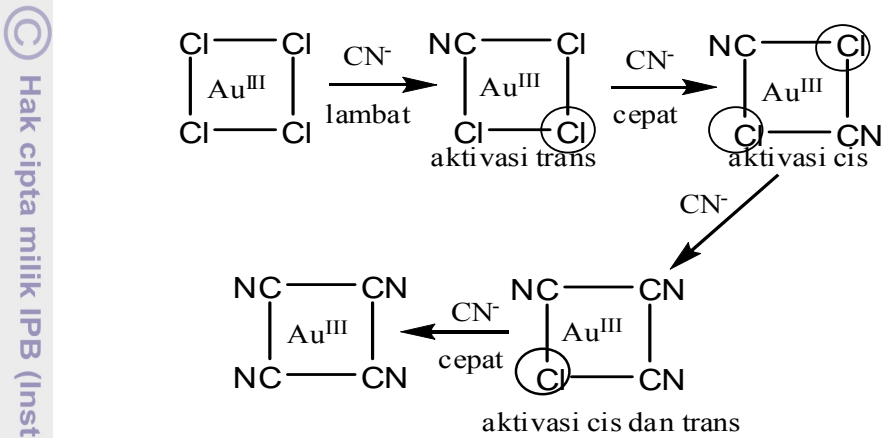
Material	GA (%)	Bentuk	Ukuran (mesh)	Kapasitas adsorpsi (mg/g) (qe)	Adsorpsi (%)
Kitosan	0	serpih	14	0.306	61.811
			14	0.489	97.874
	2.5	butir	35	0.490	98.059
			14	0.485	97.132
			gel	0.016	3.3140
			membran	0.480	98.509
	4	serpih	14	0.480	96.962
			35	0.482	97.786
Karbon aktif		serpih	14	0.496	99.226
			35	0.494	99.203

Selanjutnya nilai kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-GA dan karbon aktif pada Tabel 3 dianalisis dengan anova dan dilanjutkan analisis Dunett untuk membandingkan ragam dan mengetahui homogenitasnya. Hasil uji anova dan Dunnet (Lampiran 3) menunjukkan bahwa kapasitas dan persen adsorpsi berbagai kitosan-GA (serpih, butir dan membran) kecuali gel dan kitosan tanpa glutaradehida terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dibandingkan terhadap karbon aktif lebih besar atau sama dengan karbon aktif (H1 diterima), dimana nilai $p < 0.05$ pada tarap signifikan 95% dan ditunjukkan dengan nilai rata-rata kapasitas adsorpsi dibawah nilai kritis 3.24.

Persen adsorpsi semua bentuk kitosan-GA, kecuali gel lebih dari 96%, dikarenakan pada pH 2 kitosan memiliki kerapatan kationik sangat tinggi, total

gugus amina menjadi bermuatan positif dan berinteraksi ionik dengan ion kompleks $\text{Au}(\text{CN})_4^-$.

Kompleks tersebut terbentuk ketika pembuatan larutan dari $[\text{AuCl}_4]^-$ dengan larutan NaCN 1% (Lampiran 4). Seperti diketahui CN^- adalah ligan kuat (basa Lewis) dan Cl^- adalah ligan labil yang mudah diganti. Reaksi pembentukan kompleks melibatkan aktivasi cis dan trans. Mekanisme reaksinya diperlihatkan pada Gambar 6.



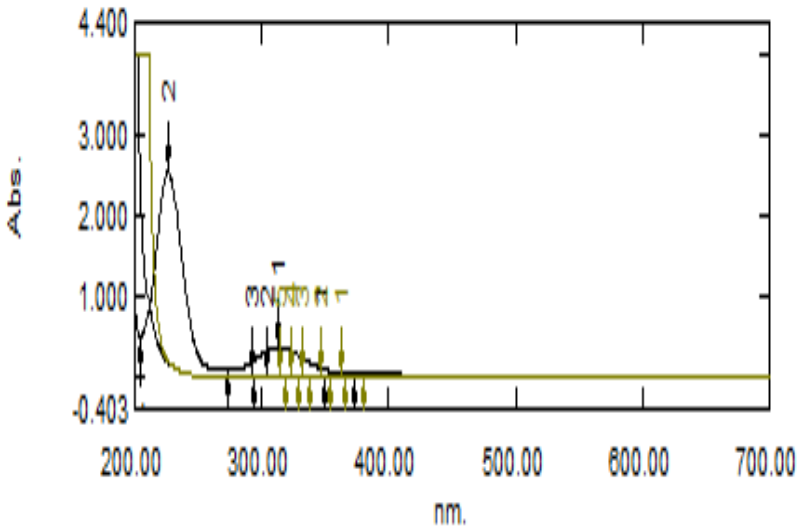
Gambar 6 Skema reaksi pembentukan kompleks $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ (Canumalla *et al.* 2001)

Spektrum UV-VIS pada Gambar 7 menunjukkan bahwa mekanisme pembentukan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ yang diperlihatkan pada Gambar 6 berhasil dilakukan. Pita absorpsi pada 312.5 nm (pita 2) dan 226 nm (pita 1) adalah karakteristik serapan $[\text{AuCl}_4]^-$.

Pada penambahan NaCN terlihat intensitas absorbansinya menurun secara linier sepanjang daerah panjang gelombang sekitar 200 nm dan tidak terlihat lagi pita serapan. Menurut Canumalla *et al.* 2001 dan sesuai dengan hasil penelitian Bassem (2010), spektra tersebut adalah karakteristik untuk $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$.

Pada pH 2 dan 13 spektra $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ menunjukkan pola yang sama, hal ini membuktikan bahwa kompleks ini stabil pada kondisi asam dan basa.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Gambar 7 Spektra UV-VIS kompleks $[\text{AuCl}_4]^-$ (a); $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 2 (b) dan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 13 (c).

Tabel 3 menunjukkan juga bahwa: (1) Ukuran tidak mempengaruhi perbedaan kapasitas dan persen adsorpsi, sehingga modifikasi kitosan bentuk serpih, membran, dan butir, berpotensi sama dengan karbon aktif sebagai adsorben logam emas. (2) Penggunaan glutaraldehida sebagai agen penaut silang kitosan meningkatkan kapasitas dan persen adsorpsi kitosan dikarenakan penambahan glutaraldehida dalam konsentrasi tertentu pada kitosan menyebabkan pembentukan tautan silang antara sebagian gugus amina kitosan dan gugus karbonil glutaraldehida, hasilnya adalah struktur yang stabil dan porositas kitosan meningkat (Osifo *et al.* 2008).

Proses desorpsi atau elusi ion logam umumnya menggunakan pelarut asam atau basa. Adsorben yang menguntungkan harus dapat digunakan kembali dan tahan terhadap kondisi asam. Oleh karena itu penting dilakukan uji kelarutan kitosan-GA dalam berbagai konsentrasi asam-asam mineral sebelum digunakan lebih lanjut. Tabel 4 menyajikan hasil uji kelarutan berbagai bentuk kitosan-GA dalam pelarut asam.

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Tabel 4 Kelarutan bentuk-bentuk kitosan-GA pada berbagai pelarut asam

Bentuk Kitosan	GA (%)	Kelarutan dalam					
		HCl 6N	HNO ₃ pekat	H ₂ SO ₄ Pekat	CH ₃ COOH 2%	HNO ₃ 5%	H ₂ SO ₄ 5%
Serpih	2.5	-*	+/-	-*	-	-	-
	4.0	-	+/-	+/-	-	-	-
Butir	2.5	-	+	+	-	-	-
Membran	2.5	-	+/-*	+	-	-	-
Gel	2.5	+/-	+	+	-	+/-	-

Keterangan: (+) larut; (-) tidak larut; (+/-) larut sebagian; * Pecah

Hasilnya menunjukkan bahwa semua bentuk kitosan tidak larut dalam pelarut CH₃COOH encer, H₂SO₄ encer, HNO₃ encer dan HCl 6N, kecuali gel kitosan-GA larut sebagian dalam HCl dan HNO₃ encer. Serpih kitosan-GA 4% memperlihatkan ketahanannya dalam berbagai asam dan tidak pecah dibandingkan bentuk yang lain.

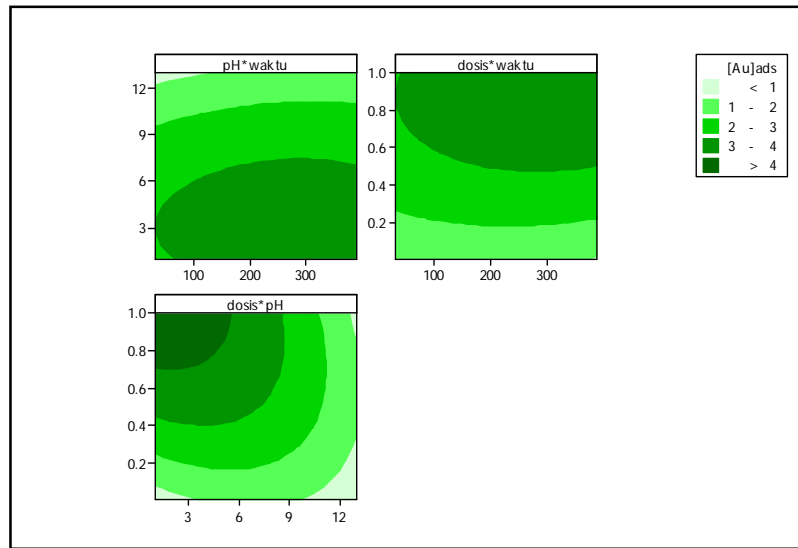
Ketahanan serpih kitosan-GA 4% dari asam berhubungan dengan semakin tinggi konsentrasi glutaraldehid maka jumlah tautan silang semakin banyak akibatnya stabilitas struktur dan sifat hidrofobisitas serpih kitosan-GA 4% meningkat, dikarenakan sebagian gugus aktif amina yang bersifat hidrofilik menjadi tertaut silang oleh glutaraldehid, namun derajat tautan silang terlalu tinggi tidak baik, struktur kitosan akan rapuh dan kapasitas adsorpsi akan cenderung turun karena konsentrasi gugus aktif amino menjadi berkurang (Yoshida *et al.* 1993).

Berdasarkan hasil penelitian ketahanan terhadap kondisi asam, maka pada penelitian selanjutnya bentuk kitosan yang digunakan adalah serpih kitosan-GA 4%.

Optimasi Adsorpsi [Au(CN)₄]⁻ oleh Serpih Kitosan-GA 4%

Hasil optimasi tahap 1 proses adsorpsi [Au(CN)₄]⁻ dengan konsentrasi 10 mg/L oleh serpih kitosan-GA 4% (Lampiran 5) disajikan pada Gambar 8, daerah optimum berada pada rentang pH 1-6, waktu >100 menit, bobot kitosan 0.75-1 g dan kapasitas adsorpsi [Au(CN)₄]⁻ oleh serpih kitosan-GA 4% melebihi 4 mg/L. Dari Gambar 8 terlihat juga bahwa daerah dengan kapasitas adsorpsi lebih dari 4

mg/L sangat dipengaruhi oleh pH dan bobot ditunjukkan oleh semakin sempit daerah responnya.



Gambar 8 Kontur *respon surface* adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%

Uji signifikansi model *respon surface* menggunakan tabel anova (Lampiran 5). Analisis variansi dari adsorpsi menunjukkan bahwa adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh kitosan-GA 4% mengikuti pola linier, kuadrat dan interaksi (semua pola mempunyai nilai $p = 0,000$) yang signifikan karena nilai p kurang dari $\alpha=0.05$ (kasus menggunakan level signifikansi 5%) (Lampiran 6).

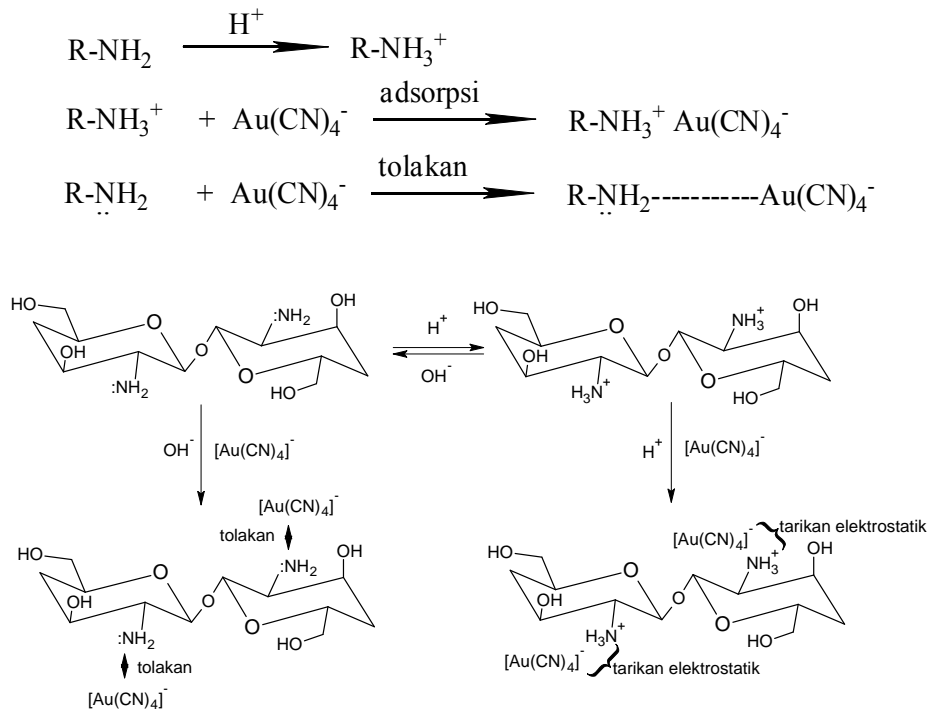
Berdasarkan hasil optimasi tahap 1, pada daerah optimal dibuat rancangan *respon surface* box behnken kedua (optimasi tahap 2) (Lampiran 7) dan diambil 5 titik yang dianggap akan memberikan respon terbesar dan hasil penelitian ini ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5 Kapasitas adsorpsi dan persen adsorpsi serpih kitosan-GA terhadap $[Au(CN)_4]^-$ pada 5 titik daerah optimal

Waktu (menit)	pH	Bobot kitosan (g)	Kapasitas adsorpsi (mg/g)	Adsorpsi (%)
240	2	0.750	0.6463	97.5379
120	2	0.875	0.5544	97.6123
240	3.5	0.875	0.2488	43.8054
120	3.5	0.750	0.1846	27.8634
240	5	0.756	0.1665	25.3268

Hasilnya menunjukkan bahwa (1) terdapat 2 variasi desain yaitu pada waktu 240 menit, pH 2, bobot kitosan-GA 0.750 g dan pada waktu 120 menit, pH 2, bobot kitosan-GA 0.875 g mempunyai kapasitas adsorpsi dan persen adsorpsi tertinggi dan relatif sama, masing-masing berturut-turut yaitu 0.6463 mg/g; 0.5544 mg/g dan 97.5379 %; 97.6123%. (2) Kapasitas adsorpsi menurun dengan meningkatnya pH.

Pengaruh pH pada adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dengan konsentrasi 10 mg/L oleh serpih kitosan-GA 4% dapat dipahami juga bahwa kitosan pada umumnya memiliki pKa antara 6.3-7.2 (tergantung derajat deasetilasi/DD). Sehingga pada pH rendah gugus amina kitosan terprotonasi total. Sebaliknya pada peningkatan pH sampai mendekati netral akan menyebabkan sebagian gugus amina menjadi tidak terprotonasi membentuk amina bebas kembali, sehingga tolakan elektrostatis akan terjadi antara permukaan kitosan dengan ion kompleks Au. Interaksi adsorpsi dapat ditulis dengan ilustrasi Gambar 9 dan persamaan reaksi sebagai berikut:



Gambar 9 Interaksi ionik $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dengan serpih kitosan-GA 4% terprotonasi pada pH 2

Kapasitas adsorpsi ion kompleks $\text{Au}(\text{CN})_4^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% meningkat dengan meningkatnya jumlah kitosan, hal ini berhubungan dengan meningkatnya gugus amina kitosan sebagai pusat aktif adsorpsi.

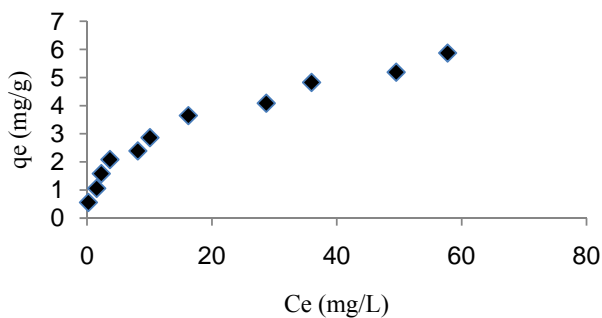
Pada penelitian ini, daerah optimal yang lebih efisien untuk mengadsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ berada pada kondisi: waktu kontak 120 menit, pH 2 dan bobot 0.875 g dengan persen adsorpsi > 97%. Daerah optimal ini cukup efisien jika dibandingkan dengan hasil penelitian adsorpsi kompleks Au sianida oleh abu terbang yang dilakukan Aworn *et al.* (2005) dan karbon aktif yang dilakukan oleh Soleimani *et al.* (2008) yang ditunjukkan oleh Tabel 6.

Tabel 6 Perbandingan parameter optimal adsorpsi $\text{Au}(\text{CN})_4^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% dengan abu terbang dan karbon aktif

Adsorben	Kode	Adsorbat	Waktu kontak (menit)	pH	Bobot (g)	Adsorpsi (%)
Kitosan-GA 4%	KG	$[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$	90-120	2	0.875	97.612
Abu terbang	AT	$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	120	10-11	2.25-7.5	86.000
Karbon aktif	KAK	$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	180	10.5	1.000	98.000

Isotermal Adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh Serpih Kitosan-GA 4%

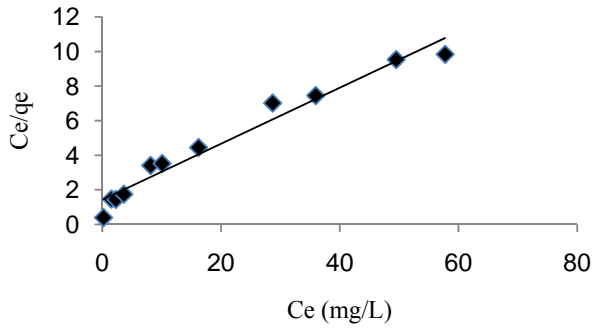
Penentuan isotermal adsorpsi dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi awal ion logam terhadap jumlah ion logam yang diadsorpsi oleh adsorben pada suhu kamar (Lampiran 8). Keseimbangan adsorpsi isotermal $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 2 dan suhu kamar diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Isotermal adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% pada suhu kamar (30°C), konsentrasi ion awal: 10-160 mg/L; pH 2; bobot adsorben: 0.8750 g dan waktu kontak 2 jam.

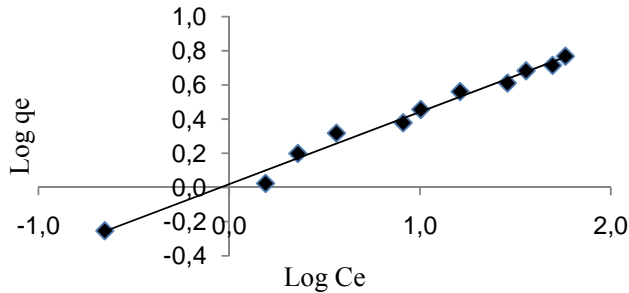
Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi awal $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$, hal ini berhubungan dengan meningkatnya konsentrasi adsorbat maka jumlah ion kompleks Au yang berinteraksi semakin bertambah pada tahap awal dan selanjutnya akan cenderung konstan (permukaan kitosan-GA mengalami kejenuhan).

Data percobaan adsorpsi isothermal $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% dianalisis oleh dua model isothermal adsorpsi yaitu model Langmuir dan Freundlich (Lampiran 9). Isothermal Langmuir berdasarkan adsorpsi *monolayer* pada sisi aktif adsorben yang homogen, sebaliknya isothermal Freundlich menggambarkan adsorpsi pada permukaan *multilayer* (heterogen) dengan energi adsorpsi seragam. Kedua isothermal adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% disajikan pada Gambar 11 dan 12.



Gambar 11

Adsorpsi isothermal Langmuir $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%. (konsentrasi ion awal: 10-160 mg/L; pH 2; bobot adsorben: 0.8750 g dan waktu kontak 2 jam).



Gambar 12

Adsorpsi isothermal Freundlich $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%. (konsentrasi ion awal: 10-160 mg/L; pH 2; bobot adsorben: 0.8750 g dan waktu kontak 2 jam)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

Berdasarkan persamaan 3 dan 6 maka nilai parameter isothermal yaitu: q_m , K_f , n dan R^2 dapat ditentukan dari kemiringan dan intersepsi pada Gambar 12 dan 13 diatas. Parameter isothermal adsorpsi $Au(CN)_4^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% dan perbandingannya dengan material adsorben lain disajikan pada Tabel 7.

Pada adsorpsi $Au(CN)_4^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%, nilai korelasi model isothermal Freundlich lebih besar dibandingkan model Langmuir, menunjukkan bahwa proses adsorpsi adsorpsi $Au(CN)_4^-$ oleh serpih kitosan-GA 4 didominasi oleh proses adsorpsi multilayer (heterogen). Isothermal Freundlich disebut juga adsorpsi fisika yang terjadi bila gaya intramolekul lebih besar dari gaya tarik antar molekul. Sehingga dapat diduga proses adsorpsi $Au(CN)_4^-$ berupa interaksi ion-ion (pertukaran ion) atau penjerapan (*entrapment*) atau kombinasi keduanya, sehingga interaksi yang terjadi antara $[Au(CN)_4]^-$ dengan serpih kitosan-GA dapat juga dikatakan ikatan vanderwaals (Atkins 1996).

Demikian pula pada abu terbang dan karbon aktif yang berasal dari biji aprikot proses adsorpsi Au-sianida didominasi juga oleh proses adsorpsi multilayer (heterogen), kecuali proses adsorpsi Au-sianida oleh karbon aktif yang berasal dari tempurung kelapa yang cenderung mengikuti model isothermal Langmuir dan kapasitas adsorpsi 5 kali lebih besar dari kapasitas adsorpsi $Au(CN)_4^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%, hal ini dikarenakan karbon aktif merupakan material dengan total volume pori dan luas permukaan aktif sangat besar ($0.6236 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan $1113 \text{ m}^2/\text{g}$) dan sangat homogen karena umumnya karbon aktif dibuat oleh proses karbonasi dan aktivasi.

Tabel 7 Parameter isothermal adsorpsi Langmuir dan Freundlich $[Au(CN)_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%

Adsorben	Suhu (°C)	Langmuir			Freundlich				Referensi
		q_m	$b(1/\text{mg})$	R^2	R_L	K_f	$1/n$	R^2	
Serpih kitosan-GA	30	6.172	0.114	0.964	0.466	1.0477	0.422	0.968	
Abu terbang kayu	30	7.790	0.102	0.990	0.203	0.962	0.555	0.995	Aworn <i>et al</i> 2005
Karbon aktif dari:									Soleimani <i>et al.</i> 2008
Biji aprikot	25	6.028	0.180	0.879	0.217	1.254	0.451	0.981	
Tempurung kelapa	30	60.95	0.307	0.990	0.078	14.455	0.412	0.983	Aworn <i>et al</i> 2005



1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

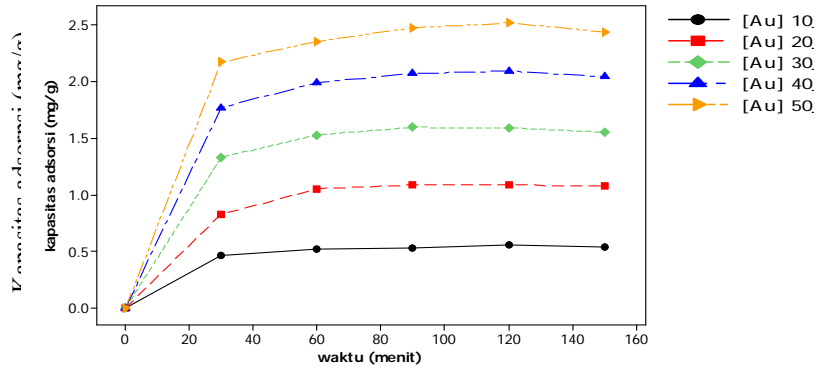
Parameter lain yang menentukan proses adsorpsi akan menguntungkan adalah R_L . R_L merupakan parameter kesetimbangan atau dimensi adsorpsi, jika $R_L > 1$ proses adsorpsi tidak menguntungkan; $R_L = 1$ proses adsorpsi linier; $0 < R_L < 1$ proses adsorpsi menguntungkan dan $R_L = 0$ proses adsorpsi tidak dapat balik (*irreversible*). Tabel 7 menunjukkan nilai R_L serpih kitosan-GA 4%, abu terbang dan karbon aktif berada pada rentang $0 < R_L < 1$ yang menunjukkan proses adsorpsi terhadap Au-sianida adalah menguntungkan, akan tetapi jika dibandingkan, serpih kitosan-GA 4% lebih menguntungkan, karena nilai R_L lebih besar dan berada pada nilai tengah pada rentang $0 < R_L < 1$, sehingga menunjukkan proses adsorpsi-desorpsi berjalan setimbang. Sebaliknya pada karbon aktif nilai R_L cenderung 0 dan nilai b besar yang menunjukkan proses adsorpsinya mudah terjadi, tetapi adsorbat cenderung sukar didesorpsi. Energi ikat total karbon aktif terhadap Au-sianida lebih kuat dibandingkan interaksi ionik. Hal ini dikarenakan proses adsorpsi melibatkan banyak interaksi dengan kompleks Au-sianida yaitu (1) interaksi kovalen orbital p dari gugus fungsi karbon (2) interaksi gugus heteroatom (3) interaksi dipol (hidrofobisitas permukaan karbon).

Kinetika Adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh Serpih Kitosan-GA 4%

Pengaruh Konsentrasi

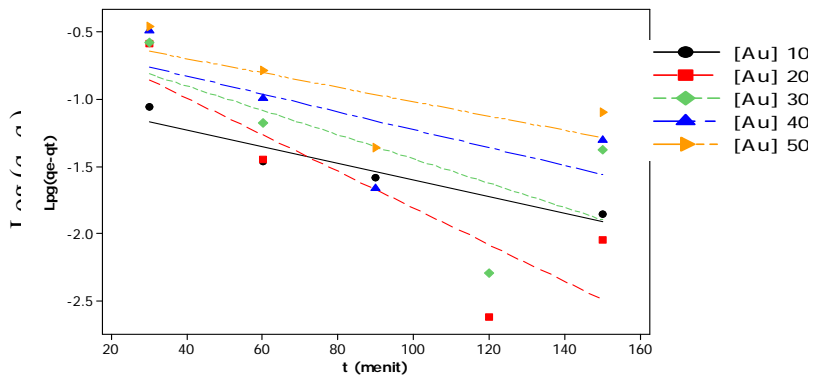
Kinetika adsorpsi menjelaskan laju pengambilan zat terlarut oleh adsorben selama kontak waktu reaksi penyerapan. Parameter ini penting untuk menentukan efisiensi proses penyerapan.

Kinetika adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% pada konsentrasi awal 10-50 mg/L dan pH 2 (Lampiran 10 dan 11) diperlihatkan pada Gambar 13, terlihat sekitar 90% kesetimbangan kapasitas adsorpsi tercapai setelah 30 menit (cepat) dan kesetimbangan lengkap (kejenuhan adsorpsi) tercapai setelah 60-120 menit (lambat). Hasil percobaan menunjukkan bahwa jumlah $[Au(CN)_4]^-$ meningkat dengan meningkatnya konsentrasi $[Au(CN)_4]^-$ awal, hal ini berhubungan dengan semakin tinggi konsentrasi semakin besar dan nyata $[Au(CN)_4]^-$ berinteraksi dengan serpih kitosan-GA 4% .

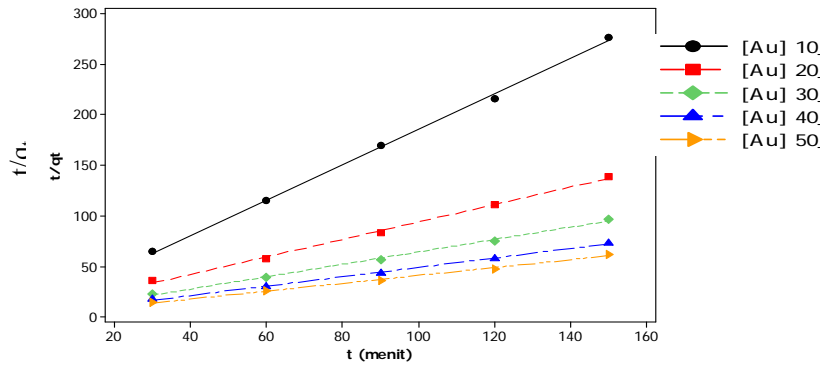


Gambar 13 Pengaruh waktu kontak pada adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% (konsentrasi ion awal: 10-50 mg/L; pH 2; bobot adsorben: 0.8750 g dan waktu kontak 2 jam)

Untuk mengevaluasi mekanisme kinetika yang mengendalikan proses adsorpsi, data kinetika dianalisis oleh model kinetika orde pertama semu dan orde kedua semu (Lampiran 12). Model kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% ditunjukkan pada gambar 14 dan 15 serta parameter kinetika yang ditentukan dari kemiringan dan intersepsinya berdasarkan persamaan 8 dan 11 (Lampiran 12) disajikan pada tabel 8.



Gambar 14 Plot kinetika orde pertama semu adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%(konsentrasi ion awal: 10-50 mg/L; pH 2; bobot adsorben: 0.8750 g dan waktu kontak 2 jam)



Gambar 15 Plot kinetika orde kedua semu adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh kitosan-GA 4% (konsentrasi ion awal: 10-50 mg/L; pH 2; bobot adsorben: 0.8750 g dan waktu kontak 2 jam)

Tabel 8 Perbandingan konstanta laju orde pertama dan orde kedua serta nilai q_e hasil perhitungan dan percobaan

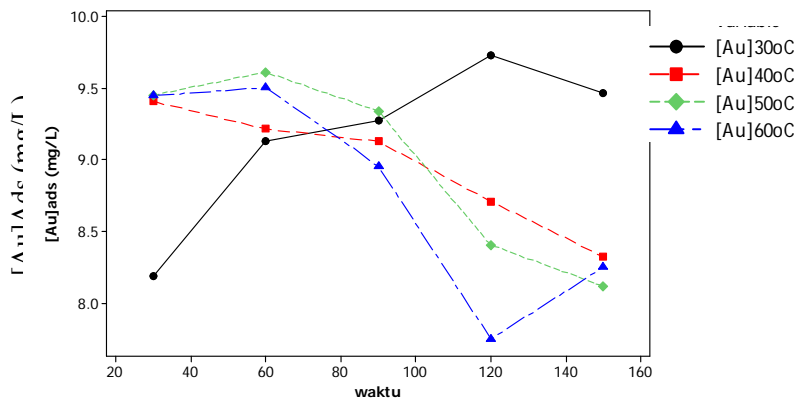
[Au] ₀	q _e (mg/g) percobaan	kinetika orde pertama			kinetika orde kedua		
		k ₁ (menit ⁻¹)	q _e hitung (mg/g)	R ²	k ₂ (g/mgmenit)	q _e hitung (mg/g)	R ²
10	0.5559	0.0142	0.1045	0.900	0.2938	0.5701	0.998
20	1.0877	0.0314	0.3581	0.737	0.1005	1.1581	0.996
30	1.5969	0.0208	0.2876	0.483	0.1354	1.6300	0.997
40	2.0945	0.0130	0.2745	0.472	0.0978	2.1427	0.998
50	2.5212	0.0123	0.3289	0.501	0.0912	2.5536	0.998

Keterangan: [Au]₀: konsentrasi ion Au awal; q_e: kapasitas adsorpsi Au dalam kesetimbangan; k₁: konstanta laju orde 1; k₂: konstanta laju orde 2

Hasilnya menunjukkan bahwa koefisien korelasi orde kedua semu lebih besar dari pada orde pertama semu. Selain itu besarnya nilai q_e hitung (teoritis) model orde kedua semu lebih dekat dengan nilai q_e percobaan (Lampiran 13). Sehingga pada penelitian ini mekanisme adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% dikendalikan oleh model kinetika orde kedua semu. Model kinetika orde kedua berdasarkan asumsi bahwa tahap pembatas laju adalah adsorpsi kimia dan tidak melibatkan transfer massa dalam larutan atau proses adsorpsi melibatkan kekuatan valensi melalui pertukaran elektron antara ion logam dengan adsorben (Fujiwara *et al.* 2007).

Pengaruh suhu

Pengaruh suhu pada kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% diteliti menggunakan konsentrasi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ awal 10 mg/L, pH 2 pada suhu 30, 40, 50 dan 60 °C ditunjukkan oleh Gambar 16. Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas adsorpsi menurun dengan meningkatnya suhu, hal ini menunjukkan bahwa proses adsorpsi berlangsung eksotermis dilingkungan dikarenakan mekanisme adsorpsinya adalah adsorpsi fisik, sehingga interaksi ikatan kitosan-GA dengan kompleks emas-sianida lemah (sesuai dengan model Freundlich pada percobaan isotermal adsorpsi).



Gambar 16 Pengaruh suhu pada kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA4% pada pH 2 dan suhu 30-60 °C

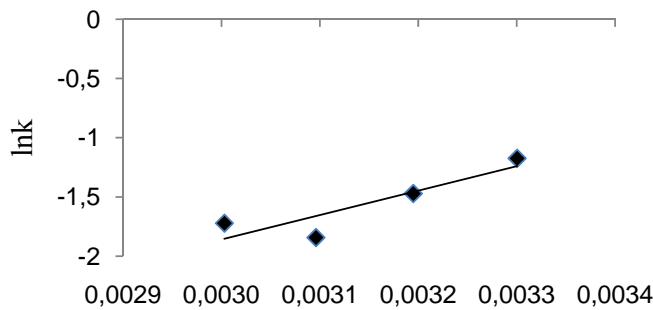
Berdasarkan percobaan kinetika sebelumnya bahwa proses adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% mengikuti model kinetika orde kedua semu, maka pada penelitian ini, model tersebut juga digunakan untuk menginterpretasikan data kinetika adsorpsi yang dipengaruhi oleh suhu dan hasilnya disajikan pada Tabel 9 (Lampiran 14 dan 15).

Tabel 9 Parameter kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% pada konsentrasi awal 10 mg/L dan variasi suhu

Suhu (°C)	qe percobaan (mg/g)	k ₂ (g/mgmenit)	qe hitung (mg/g)	R ²
30	0.5559	0.3091	0.5701	0.998
40	0.5491	-0.2296	0.4625	0.997
50	0.5431	-0.1584	0.4444	0.993
60	0.5397	-0.1788	0.4581	0.989

Kinetika orde kedua semu masih menunjukkan proses adsorpsi yang baik, terlihat dari nilai koefisien korelasi (R^2) mendekati nilai 1 dan nilai q_e hitung cukup dekat dengan nilai q_e percobaan.

Kenaikan suhu menyebabkan menurunnya kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% atau meningkatnya jumlah $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dalam larutan. Penentuan nilai konstanta laju orde kedua semu (k_2) berasal dari plot linier t/qt terhadap t menurut persamaan 11 dan nilai k_2 yang diperoleh bertanda negatif (proses desorpsi terjadi).



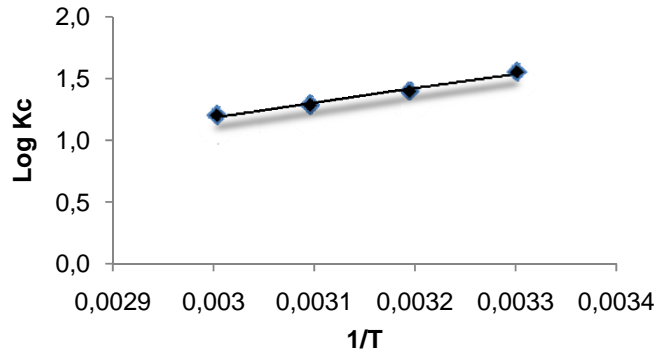
Gambar 17 Hubungan antara $\ln k$ dan $1/T$ adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%

Besar energi aktivasi (E_a) proses adsorpsi ditentukan oleh persamaan Arrhenius dengan cara memplot linierkan $\ln k_2$ (Tabel 9) terhadap $1/T$ (persamaan 5). Nilai E_a adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% diperoleh dari kemiringan kurva linier Gambar 17 sebesar -17.095 KJ/mol (tanda negatif menunjukkan proses desorpsi), dimana pada kesetimbangan nilai E_a desorpsi sama dengan adsorpsi, hanya berbeda tanda (Lampiran 16).

Energi aktivasi adsorpsi fisika berkisar $5-40 \text{ KJ/mol}$, sementara adsorpsi kimia berkisar $40-800 \text{ KJ/mol}$ (Chang *et all* 2006). Oleh karena itu adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA adalah adsorpsi fisika. Hal ini sesuai dengan penjelasan sebelumnya bahwa jumlah adsorbat yang teradsorpsi oleh serpih kitosan-GA 4% melalui interaksi ionik dan penjerapan (*entrapment*).

Perbandingan parameter termodinamika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% dan karbon aktif diperlihatkan pada Tabel 10, Parameter termodinamika tersebut diperoleh dari perhitungan kemiringan dan intersepsi

persamaan 12 dan plot linier Van't Hoff (Gambar 18) dari persamaan 14 (Lampiran 17).



Gambar 18 Plot Van't Hoff adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%, pada konsentrasi ion kompleks Au 10 mg/L; pH 2; bobot 0.0875 g; waktu kontak: 120 menit dan suhu 30-60°C.

Tabel 10 Parameter termodinamika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-GA

Adsorben	Adsorbat	Suhu	Parameter termodinamika			Referensi
		T(°C)	ΔG° (Kj/mol)	ΔH° Kj/mol	ΔS (J/molK)	
Serpih kitosan GA 4%	$[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$	30	-9.0071	-22.6344	-45.3	
		40	-8.3439			
		50	-7.9340			
		60	-7.6507			
Abu terbang kayu	$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	20	-11.50	-8.48	10.32	Aworn <i>et al</i> 2005
		30	-11.643		10.43	
		40	-11.77		10.53	
		60	-11.91		10.53	
Karbon aktif biji apricot	$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	25	0.048	-85.714	-0.288	Soleimani <i>et al</i> 2008
		40	0.090		-0.274	
		60	0.134		-0.257	
Karbon Aktif Tempurung kelapa	$[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$	20	-14.02	-6.96	24.11	Aworn <i>et al</i> 2005
		30	-14.42		24.64	
		40	-14.46		23.98	
		60	-15.05		24.30	

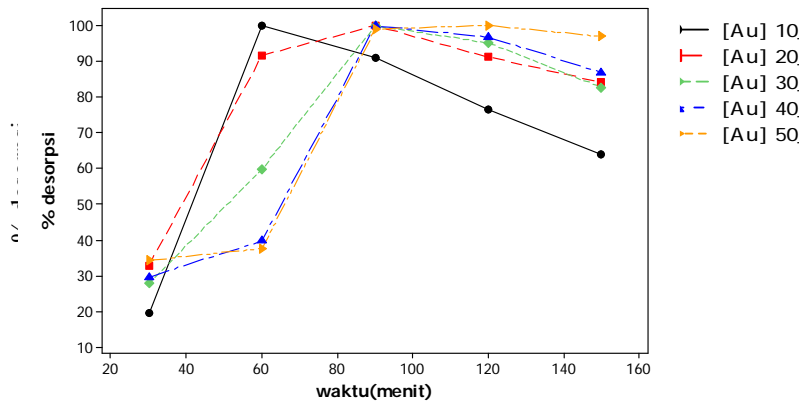
Tabel 10 menunjukkan bahwa proses adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% memberikan nilai ΔG° negatif, yang menunjukkan bahwa adsorpsi terjadi secara spontan dilingkungan dan pada suhu yang meningkat kespontanan adsorpsi menurun (proses desorpsi terjadi), ditunjukkan dengan ΔG° yang meningkat, yang menunjukkan energi yang menggerakkan proses adsorpsi (*driving force*) rendah (adsorpsi fisika), sehingga menyebabkan kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ menurun

pada suhu tinggi. Nilai negatif dari ΔH dan ΔS menunjukkan bahwa proses adsorpsi eksotermis dilingkungan dan menurunkan ketidakteraturan pada antar muka adsorben dan adsorbat selama proses adsorpsi, sehingga nilai negatif dari ΔG° , ΔH dan ΔS pada proses adsorpsi Au-sianida oleh serpih kitosan-GA 4% spontan pada suhu rendah dan tidak spontan pada suhu tinggi.

Sama halnya dengan proses adsorpsi pada abu terbang dan karbon aktif dari tempurung kelapa menunjukkan nilai negatif dari ΔG° dan ΔH dan positif dari ΔS menunjukkan proses adsorpsi Au-sianida terjadi secara spontan, eksotermis dilingkungan dan adsorpsi fisik, tetapi kespontanan adsorpsi terjadi pada semua nilai T (suhu).

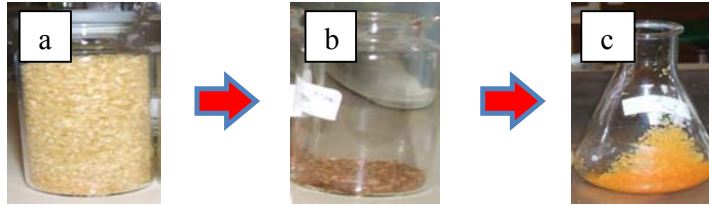
Desorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dari Serpih Kitosan-GA 4%

Proses adsorpsi yang berguna atau menguntungkan adalah jika adsorbat mudah dilepaskan kembali dan adsorben dapat digunakan ulang. Pada penelitian ini efisiensi desorpsi (*recovery*) $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dari serpih kitosan-GA 4% dilakukan pada 50 mL larutan NaCN 1 %. Hasil dari penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 19 dan 20 (Lampiran 18). Perolehan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dari serpih kitosan-GA 4% adalah 100% yang terjadi setelah 90 menit, selanjutnya cenderung konstan (kesetimbangan adsorpsi-desorpsi tercapai) dan pada Gambar 20c serpih kitosan-GA 4% setelah dielus oleh NaCN kembali seperti semula, sehingga diharapkan dapat digunakan kembali (*reuse*).



Gambar 19 Profil desorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dengan konsentrasi awal 10-50 mg/L dari kitosan-GA setiap waktu

Tingginya perolehan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ disebabkan karena NaCN adalah garam yang berasal dari basa kuat dan asam lemah sehingga dalam air akan terhidrolisis dan memberikan sifat basa yang kuat terhadap larutan. Pada saat pH larutan alkalis, kitosan mempunyai rapat muatan kationik sangat rendah atau total tidak bermuatan, pada gugus aminanya, sehingga yang terjadi adalah tolakan elektrostatis $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ (proses desorpsi).



Gambar 20. Bentuk dan warna serpih kitosan-GA 4% sebelum (a) dan sesudah diperlakukan dengan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ (b) dan dielusi dengan NaCN 1% (c)

Tabel 11 menunjukkan perbandingan metode perolehan Au, penggunaan teknologi dan pelarut. Perolehan Au dari serpih kitosan-GA 4% menunjukkan keunggulan dibandingkan dengan karbon aktif yaitu perolehannya tinggi, waktu elusi cepat dan efisiensi penggunaan pelarut dan energi.

Tabel 11 Perbandingan metode desorpsi Au dari serpih kitosan-GA 4% dengan karbon aktif

Adsorben	Larutan pengelusi	Suhu(°C)	Waktu Desorpsi	Desorpsi (%)	Metode
Kitosan-GA	NaCN 1%	30	90 menit	100	
Karbon aktif	NaCN 0.2%	95-100	72 jam	35-70	Zadra
	NaOH 1% P= 1 atm				
	NaCN 0.2%	140	10-12 jam	75	Modifikasi Zadra
	NaOH 1% P>1 atm				
	NaCN 5%	100-120	8-12 jam	<80	AARL
	NaOH 1%				
	NaOH 1M Pelarut organic	30	2.5 jam	51-90%	Soleimani et al 2008

Keterangan: AARL (*The Anglo American Research Laboratory*)



Pengaruh ion asing pada proses adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%

Penelitian adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh kitosan-GA telah diteliti. Kondisi optimum proses adsorpsinya diterapkan pada larutan kaya akan $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ yang berasal dari unit pengolahan logam Au PT ANTAM Tbk. Konsentrasi Au dan ion asing (*base metal*) ditentukan terlebih dahulu. Hasil uji adsorpsi kitosan-GA terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Pengaruh ion asing terhadap kapasitas dan persen adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ oleh kitosan-GA

JenisLogam	konsentrasi awal (mg/L)	konsentrasi akhir (mg/L)	Kapasitas ads (mg/g)	% adsorpsi
Au	10.0393	0.1383	0.5658	98.62
Ag	0.6400	0.4700	0.0097	26.56
Fe	0.0737	0.0140	0.0034	81.00
Cu	1.6420	0.8110	0.0475	50.61
Zn	0.7542	0.7522	0.0001	0.270
Mn	0.1280	0.1260	0.0001	1.560
Cd	0.0204	0.0062	0.0008	69.61

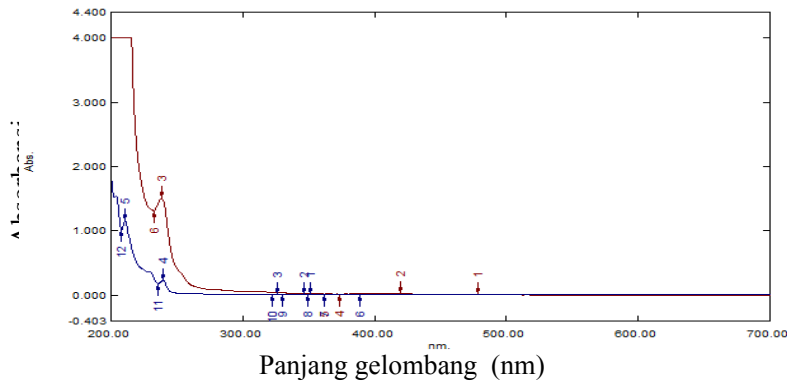
Hasilnya menunjukkan kapasitas dan % adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ tidak berbeda jauh dengan adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ yang dilakukan pada percobaan sebelumnya yaitu 0.5544 mg/g dan 97.6123%. Serpih kitosan-GA 4% mampu mengadsorpsi ion kompleks Au lebih dari 98%. Hal ini membuktikan bahwa ion kompleks $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dan $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ memiliki karakter yang sama untuk diadsorpsi oleh serpih kitosan-GA melalui mekanisme interaksi ionik, akan tetapi tidak selektif, terdapat kompetisi adsorpsi dengan kompleks sianida terutama dari logam Fe, Cu dan Cd.

Pelarutan mineral emas (Au) yang dilakukan menggunakan larutan alkalis sianida menghasilkan cairan kaya (*lixiviates*) yang mengandung campuran kompleks logam sianida yaitu $\text{Au}(\text{CN})_2^-$, $\text{Ag}(\text{CN})_2^-$, $\text{Fe}(\text{CN})_6^-$, $\text{Ni}(\text{CN})_4^{2-}$, $\text{Cu}(\text{CN})_3^{2-}$ dan anion seperti SCN^- dan HS^- (Garcia *et al.* 1997), $\text{Zn}(\text{CN})_4^{2-}$, $\text{Cd}(\text{CN})_4^{2-}$ (Gonen *et al.* 2004). Kompleks logam sianida kuat adalah Au, Ag, Fe, Ni, Cd dan Cu dan kompleks logam sianida lemah adalah Zn. Stabilitas atau kekuatan kompleks logam sianida yang tinggi, teradsorpsi lebih kuat oleh serpih

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

kitosan-GA 4% pada pH 2. Terlihat pada Tabel 12 kompleks sianida Au dan Fe sangat kuat di adsorpsi oleh serpih kitosan-GA 4%, diikuti oleh Cd dan Cu dan kompleks sianida teradsorpsi lemah adalah Zn.

Pada kasus kompleks Ag sianida, perlakuan penurunan pH sampai 2 dengan HCl menyebabkan terbentuknya endapan AgCl, sehingga jumlah kompleks Ag sianida dalam larutan berkurang dan jumlah yang teradsorpsi juga berkurang. Lain halnya dengan logam Mn, Mn tidak membentuk ion kompleks dengan sianida, pada pH rendah Mn berada sebagai kation Mn^{2+} sehingga yang terjadi adalah tolakan elektrostatis. Adanya respon adsorpsi serpih kitosan-GA 4% terhadap ion kompleks lemah dan kation logam (Mn^{2+}) diduga dikarenakan mekanisme adsorpsi penjerapan (*entrapment*) seperti dijelaskan sebelumnya.



Gambar 21 Spektra UV-VIS $Au(CN)_2^-$ pada pH 2 (a) dan 13 (b)

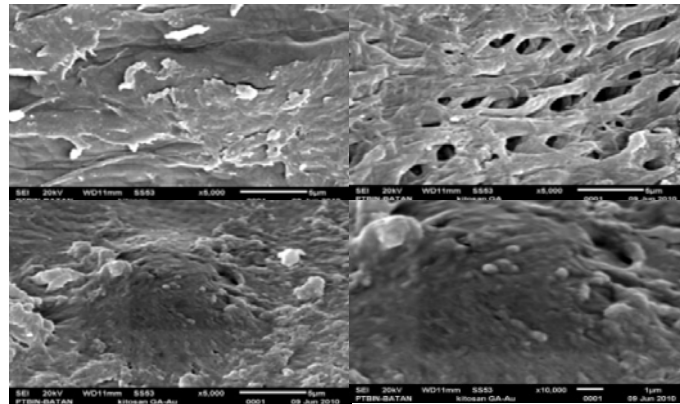
Menurut Jia *et al.* (1998), ion sianida yang ditambahkan berlebih memberikan pengaruh kecil terhadap adsorpsi $Au(CN)_2^-$ karena kompleks ini stabil pada suasana asam dan basa, sebaliknya untuk logam Ag, Fe, Cu, Zn dan Cd kelebihan ion sianida bebas dalam larutan menyebabkan kompleks logam yang terbentuk terhidrolisis kembali, sehingga menurunkan adsorpsivitas serpih kitosan-GA 4% terhadap spesies tersebut. Fakta ini dapat dijelaskan oleh spektra UV-VIS larutan $Au(CN)_2^-$ yang disajikan pada Gambar 21, Kompleks sianida yang terdapat dalam larutan yang berasal dari unit ekstraksi PT ANTAM Tbk pada pH 2 dan 13 tidak ada perbedaan nyata dan hanya kompleks $Au(CN)_2^-$ yang memberikan pita serapan karakteristik pada panjang gelombang 239.5, 211, 236 dan 208 nm (sesuai penelitian Canumalla *et al.* 2000). Hal ini menunjukkan bahwa kompleks $Au(CN)_2^-$ stabil dan kompleks logam lain tidak stabil. Kondisi ini memberikan keuntungan

pada proses adsorpsi $\text{Au}(\text{CN})_2^-$ untuk mengadsorpsi ion kompleks Au lebih tinggi lagi.

Karakterisasi

Morfologi

SEM digunakan untuk mengamati morfologi permukaan struktur kitosan sebelum perlakuan, setelah ditaut silang dengan glutaraldehida (kitosan-GA) dan setelah diperlakukan dengan ion kompleks Au sianida (kitosan-GA-Au). Gambar 22a, 22b dan 22c menunjukkan gambar SEM kitosan sebelum dan sesudah perlakuan dengan pembesaran 5000 kali.

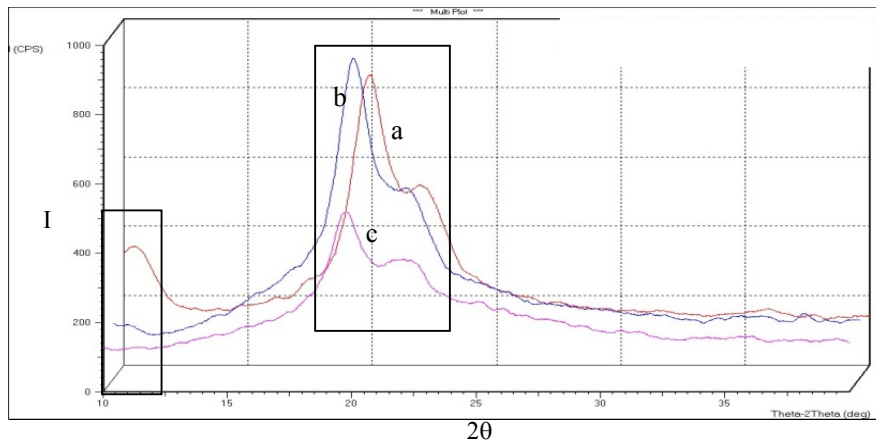


Gambar 22 SEM pembesaran 5000x: serpih kitosan tanpa perlakuan (a); serpih kitosan-GA 4%(b); serpih kitosan-GA 4%-Au (c) dan serpih kitosan-GA 4% -Au pembesaran 10000x (d)

Perubahan morfologi yang signifikan terjadi setelah kitosan direaksikan dengan glutaraldehida dan diinteraksikan dengan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$. Terlihat kitosan serpih memiliki permukaan halus dengan kerutan atau lipatan mikrostruktur pada permukaannya (Gambar 22a), akan tetapi kitosan-GA memperlihatkan struktur permukaan yang sangat berbeda, terlihat permukaan menjadi berpori-pori tidak seragam (heterogen)) yang terbentuk akibat tautan silang kitosan dengan glutaraldehida (Gambar 22b), dimana besarnya diameter pori serpih kitosan-GA 4% adalah 1.15-2.7 μm . Mikrostruktur kitosan-GA berubah dengan drastis setelah diinteraksikan dengan $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 2. Pengamatan SEM memberikan fakta bahwa ion kompleks Au telah teradsorpsi kedalam kitosan-GA (Gambar 22c), ion kompleks Au nampak tidak saja menutupi pori-pori, tetapi juga terdistribusi acak dipermukaan adsorben.

Kristalinitas

XRD digunakan untuk menganalisis kristalinitas kitosan sebelum dan sesudah perlakuan. Hal ini dapat membantu mengidentifikasi kerusakan struktur kitosan setelah diperlakukan pada suasana asam (pH 2). Difraktogram XRD serpih kitosan-GA 4% sebelum dan sesudah perlakuan ditunjukkan pada gambar 23.



Gambar 23 Difraktogram XRD kitosan tanpa perlakuan (-) (a); kitosan-GA (-) (b) dan kitosan-GA-Au (-) (c)

Gambar 23 menunjukkan bahwa kitosan tanpa perlakuan memiliki 2 bentuk kristal, terdapat dua puncak difraktogram pada sudut 2θ : 10.76° dan $20.1-21.95^\circ$, menurut Beppu *et al* 2007 difraktogram pada 10° dan 20° berhubungan dengan refleksi (200) dan (020), tetapi umumnya struktur kitosan memperlihatkan struktur semi kristalin dikarenakan adanya kesetimbangan energi bebas akibat pembentukan ikatan hidrogen (Costa *et al.*).

Puncak XRD pada sudut 2θ : 10.76° menunjukkan kitosan selalu mengikat air (5%). Penggabungan molekul air dalam kisi kristal akan membentuk kristal terhidrat dan umumnya struktur kitosan di dominansi struktur polimorf. Sedangkan pada puncak $20.1-21.95^\circ$ menunjukkan kisi kristal yang relatif teratur (Wan *et al.* 2006).

Penambahan glutaraldehida tidak signifikan mengubah kristalinitas kitosan sebesar 56.07% (Lampiran 19), ikatan imina yang terbentuk sedikit mengubah konfigurasi kitosan menjadi kitosan-GA dengan kristalinitas sebesar 59.73%,(lampiran 20), perubahan ini dapat dilihat pada difraktogram pada sudut $2\theta = 10^\circ$ tidak terlihat lagi. Hal ini membuktikan kitosan-GA menjadi lebih



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

hidrofobik dikarenakan gugus amina kitosan (hidrofilik) sudah terikat oleh gugus aldehida dari glutaraldehida. Sifat inilah yang menjadikan kitosan lebih tahan dalam air dan larutan asam-asam organik atau mineral.

Perlakuan kitosan-GA oleh $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ pada pH 2 menghasilkan penurunan kristalinitas kitosan-GA menjadi 46.15% (lampiran 21), hal ini terlihat dari intensitas puncak difraktogram lebih rendah. Perubahan kristalinitas kitosan-GA setelah diperlakukan pada pH rendah dapat dipahami, bahwa ikatan imina yaitu ikatan yang terbentuk antara gugus amina rantai kitosan dengan gugus karbonil glutaraldehida tidak terlalu kuat, sehingga dapat diputuskan oleh kehadiran asam.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture



SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Serpih kitosan-GA 4% mempunyai persen adsorpsi terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ mencapai > 96%, sebanding dengan persen adsorpsi karbon aktif dan stabil pada suasana asam dan basa kuat.

Kondisi optimum adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ tercapai pada pH 2, bobot kitosan-GA 0.0875 g dan waktu kontak 90-120 menit, cukup efisien jika dibandingkan dengan karbon aktif.

Proses adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% mengikuti model isotermal Freundlich dan cenderung mengikuti kinetika reaksi orde kedua semu, sehingga proses adsorpsi cenderung terjadi secara fisik (interaksi ionik), spontan, reversible, dan eksotermis.

Perolehan Au (desorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$) lebih tinggi dibandingkan dengan karbon aktif mencapai 100% Au, tanpa membutuhkan suhu tinggi, jumlah pelarut yang banyak dan waktu yang relatif singkat yaitu 90 menit.

Serpih kitosan-GA 4% dapat diaplikasikan untuk mengadsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ menggunakan kondisi optimum yang sama dengan adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$, tetapi tidak selektif, kompleks logam-sianida stabil berkompetisi untuk diadsorpsi oleh kitosan-GA, namun kapasitas adsorpsi serpih kitosan-GA terhadap $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ masih lebih dari 98%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pemakaian ulang (*reuse*) kitosan-GA dalam mengadsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$ untuk melihat umur pakainya.

Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai penggunaan kitosan-GA dengan derajat deasetilasi lebih tinggi untuk melihat efisiensi bobot adsorben sehingga kapasitas adsorpsi maksimumnya meningkat atau sebanding dengan karbon aktif

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



DAFTAR PUSTAKA

- Asosiasi Pertambangan Indonesia. 2007. <http://www.ima-api.com/news>. [20 Juni 2010].
- Atkins. PW. 1996. *Physical chemistry*. England. Oxford University Press.
- Aworn A *et al.* 2005. Recovery of gold from gold slag by wood shaving fly ash. *Journal of Colloidal and Interface Science* 287: 394-400.
- Bassem A *et al.* 2010. ¹H, ¹³C NMR and UV spectroscopy studies of gold(III)-tetracyanide complex with L-Cysteine, Glutathione, L-Methionine an DL-Seleno-Methionine in aqueous solution. *Inorganica Chimica Acta*, pp. 1-25.
- Bakker E, Voncken J, Rem P. 2004. *Reducing Gold Loss in Carbon-In-Leach Process*. Nederland. Delft University of Technology.
- Berger J *et al.* 2004. Structure and interactions in covalently and ionically crosslinked chitosan hydrogels for biomedical applications. *Eur J of Pharmaceutics and Biopharmaceutics* 57: 19-34.
- Beppu MM, Vieira RS, Aimoli CG, Santana CC. 2007. Crosslinking of kitosan membranes using glutaraldehyde effect on ion permeability and water absorption. *Journal of Membrane Science* 301:126-130.
- Cannumala A J, Al-Zamil N, Phillips M, Isab AA, Frank S. C. 2001. Redox and Ligan exchange reaction of potensial gold(I) and gold(III)-cyanide metabolite under biomimetic conditions. *Journal of Inorganic Biochemistry* 85: 67-76.
- Chang YC, Chen DH. 2006. Recovery of Gold(III) ions by a Chitosan Coated Magnetic Nano-Adsorbent. *Gold Bulletin* 39(3): 98-102.
- Chen HA, Liu CS, Chen Yuan C, Chen Yun C. 2008. Comparative adsorption of Cu(II), Zn(II) and Pb(II) ions in aqueous solution on the crosslink kitosan with epichlorohydrin. *Journal of Hazardous Materials* 154: 184-191.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Chryssoulis LS, McMullen J . 2001. Mineralogical investigation of gold ores. *Developments in Mineral Processing* 15: 21-66.
- Costa J *et al.* 2009. Preparation and Characterisation of Chitosan/Poly (vinyl Alcohol) Chemically Crosslinked Blends for Medical Application. *Carbohydrate Polymer* 76: 472-481.
- Deschenes G. 2005. Advance in The Cyanide of Gold. *Depelovment in Mineral Processing* 15: 479-497.
- Dunne R. 2005. Flotation of gold and gold-bearing ores. *Depelovment in Mineral Processing* 15: 309-343.
- Fujiwara K, Ramesh A, Maki T, Hasegawa H, Ueda K. 2007. Adsorption of platinum (IV), palladium (II) and gold (III) from aqueous solution onto L-Lysin modified crosslinked chitosan resin. *Journal of Hazardous Material* 146: 39-50.
- Garcia AM, Marti V, Meinhardt E, Cortina LJ, Granados M. 1997. Metal cyanide control in hydrometallurgical processing of gold ore by multivariate calibration procedures. *Analitica Chemical Acta* 353: 123-131.
- Gonen N, Kabasakal OS, Ozdil G. 2004. Recovery of Cyanide in gold leach waste solution by volatilization and absorption. *Journal of Hazardous Material* 113: 231-236.
- Guibal E, Milot C, Roussy J. 1997. Chitosan gel beads for metal ion recovery. France. European Chitin Society.
- Guzman L, Chimenos JM, Fernandez MA., Segarra, M., Espiell, F. 2000. Gold Cyanidation with Potassium Persulfate in The Presence of a Thallium(I) Salt. *Hydrometallurgy* 54: 185–193.
- Jia YF *et al.* 1998. Mechanism of Adsorption of gold and silver species on activated carbons. *Journal of Carbon* 36: 1299-1308.
- Li N, Bai R, 2005 .Copper adsorption on chitosan-cellulose hydrogel beads: behavior and mechanisme. *Separation and Purification Tehcnology* 42:237-247.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Guibal E. 2004. Interaction of metal ions with chitosan-based sorbents: a review. *Separation and Purification Technology* 38: 43-74.
- Habashi, Fathi. 1967. Kinetic and mechanism of gold and silver dissolution in cyanide solution. Montana. Montana College of Mineral Science and Technology.
- Kushakova L, Muszer A. 2009. Optimation Of roasting of arsenic carbon refractory gold ores for cyanide leaching. *Physicochemical Problem of Mineral Processing* 43: 59-64.
- Hima LRP. 2007. Dynamic simulation of the Carbon-In-Pulp and Carbon-In-Leach processes. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. 24:623-635
- Marsden, John, House I. 1992. The chemistry of gold extraction. England. Ellis horwood Ltd.
- Meriatna.2008. Penggunaan Membran kitosan Untuk Menurunkan Kadar Logam Krom dan Nikel Dalam Limbah Industri Pelapisan Logam. [Tesis] Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik. Universitas Sumatra Utara.
- Mi L, Fwu K, Yang C, Shyu SS, Lee TS, Chang Foun-Shoun. 2000. The study of gelation kinetics and chain relaxation properties of glutaraldehyde-cross-linked kitosan gel and their effects on microspheres preparation and drug release. *Carbohydrate Polymer* 41:389-393.
- Monteiro *et al.* 1999. Some thermodynamic dataon copper-chitin and copper-chitosan biopolymer interaction. *J. Colloid Interface Sci* 212: 212-219
- Mulder M. 1991. Basic principles of membrane technology. Nederland. Kluwer academic publisher.
- Oshita K, Gao Y, Oshima M, Motomizu S. 2001. Adsorption behavior of mercury in aqueous solution on cross-linked chitosan. *Analitical Science* 17: 317-320.
- Oshifo PO *et al.* 2008. The influence of the degree of cross-linked on the adsorption properties of chitosan beads. *Bioresources Technol* 49: 7377-7382.



Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Peirano F, Flores A, Jaime, Ruiodrigues A, Borja A, Neptalie, Ly Martha, Maldonado Holger. 2003. Adsorption of gold (III) ions by kitosan biopolymer. *Rev. Soc. Quinn*. 69:211-221.
- Ramesh A, Hasegawa H, Sugimoto W, Maki T, Ueda K. 2008. Adsorption of gold(III), Platinum(IV) and Palladium(II) onto glysin modified kitosan resin. *Biosensor Technology* 99:3801-3809.
- Schlitt JW, Larson C, Hiskey BJ. 1981. Gold and silver leaching, recovery and economic.Proceeding from the 110th AIME annual meeting. Chicago.
- Shentu J, Wu J, Jia J. 2005. Chitosan microsphere as immobilized dye affinity support for catalase adsorption. *Int J Biol Macromol* 37:42-46.
- Souza BWS, Cerqueira MA, Martins JT, Casariego A, Teixeira JA, Vicente AA. 2010. Influence of electric field on structure of chitosan edible coatings. *Food Hydrocolloid Journal*. 24:330-335.
- Soleimani Mansoreh, Taherah Kaghazchi. 2007. The Investigation of The Potential of Activated Hard Shell of Apricot Stones as Gold Adsorbents. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 14: 28-37.
- Sugita P. 2008. Kitosan (Sintesis, Karakterisasi, dan Aplikasinya Sebagai Adsorben). Institut Pertanian Bogor.
- Sun S, Wang Q, Wang A. 2007. Adsorption properties of Cu(II) ions onto *N*-succinyl-chitosan and crosslinked *N*-succinyl-chitosan template resin. *Biochem Eng J* 36: 131-138.
- Stevens MP. 2001. *Kimia Polimer*. Sopyan I, penerjemah. Jakarta: PT Pradyna Paramita. Terjemahan dari: *Polymer Chemistry: An Introduction*.
- Sugita. 1992. Isolasi kitin dan komposisi senyawa kimia limbah udang windu (*Panaeus monodon*) [tesis]. Bandung: Program Pascasarjana, Institut Teknologi Bandung.
- Sugita P, Sjahriza A, Lestari SI. 2006a. Sintesis dan optimalisasi gel kitosan-gom guar. *J Natur* 9:32-36.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Sugita P, Sjahriza A, Wahyono D. 2006b. Sintesis dan optimalisasi gel kitosan-alginat. *J Sains dan Teknologi* 8:133-137.
- Sugita P, Sjahriza A, Rachmanita. 2007a. Sintesis dan optimalisasi gel kitosan-karboksimetilselulosa. *Prosiding Seminar Nasional Himpunan Kimia Indonesia* 437-443.
- Wan *et al.* 2006. Biodegradable Polylactide/Chitosan Blend Membranes. *Biomacromolekul* 7: 1362-1372.
- Wang T, Turhan M, Gunasekaram S. 2004. Selected properties of pH-sensitive, biodegradable chitosan-poly(vinyl alcohol) hydrogel. Society of Chemical Industry. *Polym Int* 53: 911-918.
- Wu *et al.* 2005. Chitosan nanoparticles as a novel delivery system for ammonium glycyrrhizinate. *International Journal of Pharmaceutics* 295: 235-245.
- Wu CF, Tseng LR, Juang SR. 2010. A review and experimental verification of using chitosan and its derivatives as adsorbent for selected heavy metals. *Journal of Environmental Management* 91: 798-806.
- Xu WL, Chun Ling FU, Jun Li. 2001. Studies on the adsorption capacity for bilirubin of the adsorbent chitosan- β -cyclodextrin. *Chinese Chemical Letters*. 12: 359-362.
- Yamaura M, Costa CH, Yamamura APG. 2007. Adsorption Studies For Cr(VI) Onto Magnetic Particles Covered With Chitosan. Brazil. International Nuclear Atlantic Conference.
- Yoshida H, Okamoto A, Kataoka T. 1993. Adsorption of acid dye on cross-linked chitosan fibers: equilibria. *Chem Eng Sci* 48: 2261-2272.



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

LAMPIRAN

Lampiran 1 Bentuk-bentuk kitosan-GA yang digunakan pada penelitian adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$



Serpih kitosan



Serpih kitosan-GA 4%



Butir kitosan-GA 2.5%



Gel kitosan-GA 2.5%



Membran kitosan-GA 2.5%

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan disertasi atau sejenisnya;
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

Lampiran 2 Kapasitas dan persen adsorpsi kitosan-GA dan karbon aktif terhadap $[Au(CN)_4]^-$

Jenis material	GA	bentuk	Ukuran (mess)	Massa kitosan (g)	[Au] _o (mg/L)	[Au] _e (mg/L)			[Au] _{Ae} (mg/L)			q _e (mg/g)	% adsorpsi
						Ulangan		rata-rata	Ulangan		rata-rata		
						1	2		1	2			
Kitosan	0	serpih	14	1.000	9.8924	3.7715	3.7841	3.7778	6.1209	6.108	6.1146	0.3057	61.811
			14	1.000	10.0000	0.2130	0.2123	0.2127	9.787	9.788	9.7874	0.4894	97.874
		35	1.001	10.0000	0.1938	0.1945	0.1942	9.8062	9.8055	9.8059	0.4898	98.059	
	2.5	butir	14	1.001	10.0000	0.2864	0.2872	0.2868	9.7136	9.7128	9.7132	0.4852	97.132
			gel		1.024	9.8924	9.5421	9.5871	9.5646	0.3503	0.3053	0.3278	0.0160
		membran	2x2 cm	1.026	10.0000	0.1488	0.1495	0.1492	9.8512	9.8505	9.8509	0.4801	98.509
	4	serpih	14	1.000	9.8924	0.2900	0.3110	0.3005	9.6024	9.581	9.5919	0.4796	96.962
35			1.003	9.8924	0.2290	0.2090	0.2190	9.6634	9.683	9.6734	0.4824	97.786	
Karbon aktif	serpih	14	1.001	10.0000	0.0777	0.0772	0.0774	9.9223	9.9228	9.9226	0.4956	99.226	
		35	1.004	10.0000	0.0810	0.0785	0.0797	9.9190	9.9215	9.9203	0.4940	99.203	

Keterangan: GA: Glutaraldehida; [Au]_o; konsentrasi Au awal; [Au]_e: konsentrasi Au akhir; q_e: kapasitas Adsorpsi

Contoh perhitungan kapasitas adsorpsi (q_e) dan % adsorpsi

$$q_e = \frac{([Au]_o - [Au]_e)V}{m}, \text{ V: volume larutan Au(III)}$$

$$q_e = \frac{(9.8924 - 3.7778)0.05}{1.000} = 0.3057 \text{ mg/g}$$

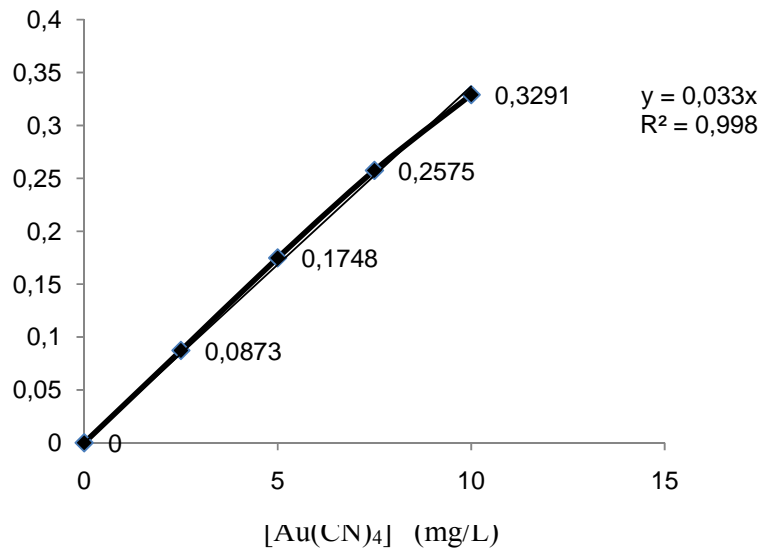
$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{([Au]_o - [Au]_e) \times 100\%}{[Au]_o}$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(9.9824 - 3.778) \times 100\%}{9.9824} = 61.811\%$$

Lampiran 4 Pembuatan larutan standar $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ 2.5, 5, 7.5 dan 10 mg/L dan kurva standar Au

10 mL $\text{H}[\text{Au}(\text{Cl})_4]$ 1000 mg/L masing-masing ditambahkan pada 20 mL NaCN 1% dalam labu 100 mL, selanjutnya diencerkan dengan aquades sampai batas tera dan diaduk kemudian disimpan lemari pendingin sebagai larutan standar $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ 100 mg/L, selanjutnya larutan standar $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ 100 mg/L diencerkan dengan aquades sampai konsentrasi 2.5, 5, 7.5 dan 10 mg/L. Kadar Au dari setiap larutan standar dianalisis oleh spektrofotometer serapan atom pada panjang gelombang 242.8 nm, selanjutnya dibuat kurva standar. Kurva standar ini digunakan untuk mengukur kinerja spektrofotometer serapan atom saja dan tidak digunakan untuk penetapan konsentrasi Au dalam sampel, karena spektrofotometer serapan atom model Varians yang digunakan sudah langsung dapat mengukur konsentrasi Au dalam sampel.

Kurva standar $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$



Lampiran 3 Perbandingan kapasitas dan persen adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ kitosan-GA dan karbon aktif serta Tabel ANOVA menggunakan uji Dunnett

Pernyataan hipotesis:

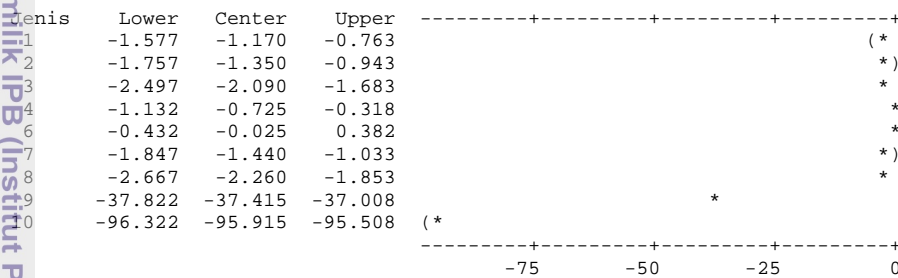
Ho: Kapasitas adsorpsi kitosan < karbon aktif

H1: Kapasitas adsorpsi kitosan \geq karbon aktif

Tabel ANOVA kapasitas dan persen adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ kitosan-GA dan karbon aktif

Source	DF	SS	MS	F	P
Jenis KG	9	17174.69	1908.30	121161.84	0.000
Error	10	0.16	0.02		
Total	19	17174.85			

$\eta^2 = 0.1255$ R-Sq = 100.00% R-Sq(adj) = 100.00%



Nilai kritis = 3.24

Kontrol = karbon aktif (14 mesh)/jenis 5

Keterangan:

Jenis	Nama material	Ukuran (mesh)
1	serpih kitosan-GA 2.5%	35
2	serpih kitosan-GA 2.5%	14
3	butir kitosan-GA 2.5%	14
4	membran kitosan-GA 2.5%	2x2 cm
5	karbon aktif	14
6	karbon aktif	35
7	serpih kitosan-GA 4%	35
8	serpih kitosan-GA 4%	14
9	serpih kitosan tanpa GA	
10	gel kitosan-GA2.5%	

Lampiran 5 Data hasil optimasi (tahap 1) box bekhen kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%

waktu (detik)	pH	Dosis Kitosan-GA (g)	Konsentrasi (mg/L)		
			[Au]o	[Au]e	[Au]Ae
30	1	0.5025	9.851	6.7765	3.0745
390	1	0.5025	9.851	6.8105	3.0405
30	13	0.5025	9.851	9.0170	0.8340
390	13	0.5025	9.851	8.7934	1.0576
30	7	0.0050	9.851	9.2345	0.6165
390	7	0.0050	9.851	8.9594	0.8916
30	7	1.0000	9.851	6.5310	3.3200
390	7	1.0000	9.851	5.7036	4.1474
210	1	0.0050	9.851	9.2969	0.5541
210	13	0.0050	9.851	9.5926	0.2584
210	1	1.0000	9.851	5.3837	4.4673
210	13	1.0000	9.851	9.3836	0.4674
210	7	0.5025	9.851	6.9572	2.8938
210	7	0.5025	9.851	6.7870	3.0640
210	7	0.5025	9.851	6.9291	2.9219
30	1	0.5025	9.851	6.7729	3.0781
390	1	0.5025	9.851	7.0759	2.7751
30	13	0.5025	9.851	9.0043	0.8467
390	13	0.5025	9.851	8.7921	1.0589
30	7	0.0050	9.851	9.2471	0.6039
390	7	0.0050	9.851	8.8743	0.9767
30	7	1.0000	9.851	7.1656	2.6854
390	7	1.0000	9.851	5.7101	4.1409
210	1	0.0050	9.851	8.9962	0.8548
210	13	0.0050	9.851	9.1562	0.6948
210	1	1.0000	9.851	5.4003	4.4507
210	13	1.0000	9.851	9.2069	0.6441
210	7	0.5025	9.851	6.9467	2.9043
210	7	0.5025	9.851	6.5221	3.3289
210	7	0.5025	9.851	6.7416	3.1094

Keterangan: [Au]o: konsentrasi Au awal; [Au]e: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam larutan; [Au]Ae: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam adsorben



Lampiran 6 Hasil analisis *respon surface box Behnken* adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%

Analisis variansi

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	54.7298	54.7298	6.08109	66.71	0.000
Linear	3	39.7123	12.8131	4.27103	46.86	0.000
Square	3	7.8545	7.8545	2.61816	28.72	0.000
Interaction	3	7.1631	7.1631	2.38770	26.19	0.000
Residual Error	20	1.8231	1.8231	0.09115		
Lack-of-Fit	3	1.2839	1.2839	0.42798	13.50	0.000
Pure Error	17	0.5391	0.5391	0.03171		
Total	29	56.5529				

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan buku, pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 - b. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

Lampiran 7 Data hasil optimasi *box Behnken* kapasitas adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% tahap 2

waktu (menit)	pH	Dosis kitosan(g)	[Au]o/Co (mg/L)	[Au]e/Ce(mg/L)			[Au]Ae/CAe (mg/L)			qe (mg/g)	% ads
				1	2	rataan	1	2	rataan		
240	2	0.750	9.9385	0.2468	0.2426	0.2447	9.6917	9.6959	9.6938	0.6463	97.5379
120	2	0.875	9.9385	0.2371	0.2375	0.2373	9.7014	9.7010	9.7012	0.5544	97.6123
240	3.5	0.875	9.9385	5.5769	5.5929	5.5849	4.3616	4.3456	4.3536	0.2488	43.8054
120	3.5	0.750	9.9385	7.1694	7.1692	7.1693	2.7691	2.7693	2.7692	0.1846	27.8634
240	5	0.756	9.9385	7.4205	7.4223	7.4214	2.5180	2.5162	2.5171	0.1665	25.3268

Keterangan: [Au]o: konsentrasi Au awa/Co; [Au]e/Ce: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam larutan
[Au]Ae/CAe: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam adsorben; qe: kapasitas adsorpsi

Contoh perhitungan qe dan persen adsorpsi

$$q_e = \frac{([Au]_o - [Au]_e)V}{m}, \text{ V: volume larutan Au(III)}$$

$$q_e = \frac{(9.9385 - 0.2447) \cdot 0.05}{0.750} = 0.6463 \text{ mg/g}$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{([Au]_o - [Au]_e) \times 100\%}{[Au]_o}$$

$$\% \text{ adsorpsi} = \frac{(9.9385 - 0.2447) \times 100\%}{9.9385} = 97.5379\%$$

$$[Au]_{Ae} = [Au]_o - [Au]_e \quad [Au]_{Ae}$$

$$= \quad \quad \quad 9.9385 - 0.2447$$

$$= \quad \quad \quad 9.6938$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan disertasi atau sejenisnya;
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

Lampiran 8 Data hasil percobaan isothermal adsorpsi serpih kitosan-GA 4% terhadap $[Au(CN)_4]^-$.

massa kitosan (g)	[Au] _o (Co) (mg/L)	[Au] _e /Ce (mg/L) ulangan			[Au] _{Ae} /CAe (mg/L) ulangan			(q _e) (mg/L)	% adsorpsi
		1	2	Rata-rata	1	2	Rata-rata		
0.875	10	0.2227	0.2231	0.2229	9.7773	9.7769	9.7771	0.5587	97.7710
0.8726	20	1.5354	1.5654	1.5504	18.4646	18.4346	18.4496	1.0572	92.2480
0.8754	30	2.2817	2.2886	2.2852	27.7183	27.7114	27.7149	1.5830	92.3828
0.8724	40	3.6454	3.6804	3.6629	36.3546	36.3196	36.3371	2.0826	90.8428
0.8751	50	8.1209	8.1587	8.1398	41.8791	41.8413	41.8602	2.3917	83.7204
0.8723	60	10.0804	10.0904	10.0854	49.9196	49.9096	49.9146	2.8611	83.1910
0.8750	80	16.2104	16.2454	16.2279	63.7896	63.7546	63.7721	3.6441	79.7151
0.8724	100	28.7104	28.6904	28.7004	71.2896	71.3096	71.2996	4.0864	71.2996
0.8711	120	35.9654	35.9604	35.9629	84.0346	84.0396	84.0371	4.8236	70.0309
0.8721	140	49.4954	49.5154	49.5054	90.5046	90.4846	90.4946	5.1883	64.6390
0.8713	160	57.9004	57.6004	57.7504	102.0996	102.3996	102.2496	5.8676	63.9060

Keterangan: [Au]_o: konsentrasi Au awa/Co; [Au]_e/Ce: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam larutan; [Au]_{Ae}/CAe: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam adsorben; q_e: kapasitas adsorpsi

Lampiran 9 Data hasil analisis isothermal Langmuir dan Freundlich adsorpsi serpih kitosan-GA 4% terhadap $[Au(CN)_4]^-$ dan contoh perhitungan parameter isothermal

(Ce) (mg/L)	(qe) (mg/g)	Analisis isothermal			
		Langmuir		Freundlich	
		Ce	Ce/qe	Log(Ce)	Log(qe)
0.2229	0.5587	0.2229	0.3990	-0.6519	-0.2528
1.5504	1.0572	1.5504	1.4666	0.1904	0.0241
2.2852	1.5830	2.2886	1.4458	0.3596	0.1995
3.6629	2.0826	3.6454	1.7504	0.5617	0.3186
8.1398	2.3917	8.1587	3.4112	0.9116	0.3787
10.0854	2.8611	10.0804	3.5233	1.0035	0.4565
16.2279	3.6441	16.2279	4.4532	1.2103	0.5616
28.7004	4.0864	28.7004	7.0234	1.4579	0.6113
35.9629	4.8236	35.9629	7.4556	1.5559	0.6834
49.5054	5.1883	49.5054	9.5417	1.6947	0.7150
57.7504	5.8676	57.7504	9.8422	1.7616	0.7685

Keterangan: $[Au]_0$: konsentrasi Au awal/Co; $[Au]_e/C_e$: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam larutan; $[Au]_e/C_Ae$: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam adsorben; qe: kapasitas adsorpsi.

Persamaan regresi linier isothermal Langmuir dan Freundlich

$$Ce/qe = 0.162X + 1.419$$

$$\log qe = 0.422X + 0.019$$

Perhitungan parameter isothermal: q_m , b, K_f dan n

$$Ce/qe = Ce/q_m + 1/q_m K_L$$

$$\text{Slope} = 1/q_m \rightarrow q_m = 1/0.162 = 6.1728 \text{ mg/g}$$

$$\text{Intersep} = 1/q_m K_L \rightarrow K_L = 1/(6.1728 \times 1.419) = 0.1142 \text{ mg}^{-1}$$

$$\log qe = \log K_f + 1/n \log Ce$$

$$\text{Slope} = 1/n \rightarrow n = 0.422 \text{ mg}^{-1}$$

$$\text{Intersep} = \log K_f \rightarrow K_f = \text{invLog } 0.019 = 1.0047 \text{ mg/g}$$

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan buku, pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 - b. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

Lampiran 10 Data hasil adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% pada berbagai variasi konsentrasi

[Au] _o mg/L	M kit (g)	[Au] _e /C _e (mg/L) setelah t (menit)					[Au] _{Ae} /C _{Ae} (mg/L) setelah t (menit)				
		30	60	90	120	150	30	60	90	120	150
10	0.8750	1.8485	0.8754	0.7301	0.2723	0.5364	8.1515	9.1246	9.2699	9.7277	9.4636
	0.8750	1.7837	0.8601	0.7228	0.2727	0.5285	8.2163	9.1399	9.2772	9.7273	9.4715
	rataan						8.1839	9.1323	9.2736	9.7275	9.4676
20	0.8758	6.3350	1.5746	0.9527	0.9838	1.1115	13.6650	18.4254	19.0473	19.0162	18.8885
	0.8756	4.7150	1.5683	0.9456	0.9995	1.1041	15.2850	18.4317	19.0544	19.0005	18.8959
	rataan						14.4750	18.4286	19.0509	19.0084	18.8922
30	0.8754	6.6000	3.1653	2.0536	2.1420	2.7978	23.4000	26.8347	27.9464	27.8580	27.2022
	0.8750	6.8400	3.2475	2.0407	2.1318	2.7813	23.1600	26.7525	27.9593	27.8682	27.2187
	rataan						23.2800	26.7936	27.9529	27.8631	27.2105
40	0.8748	9.0900	5.1134	3.7503	3.3469	4.2042	30.9100	34.8866	36.2497	36.6531	35.7958
	0.8750	8.9700	5.1563	3.7168	3.3534	4.2383	31.0300	34.8437	36.2832	36.6466	35.7617
	rataan						30.9700	34.8652	36.2665	36.6499	35.7788
50	0.8750	11.9900	8.7261	6.6322	5.8935	7.2993	38.0100	41.2739	43.3678	44.1065	42.7007
	0.8750	11.9150	8.7250	6.6655	5.8644	7.2746	38.0850	41.2750	43.3345	44.1356	42.7254
	rataan						38.0475	41.2745	43.3512	44.1211	42.7131

Keterangan: [Au]_o: konsentrasi Au awal/Co; [Au]_e/C_e: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam larutan;
[Au]_{Ae}/C_{Ae}: konsentrasi Au pada kesetimbangan dalam adsorben; mkit: massa kitosan



Lampiran 11 Pengaruh waktu pada kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA

Waktu (menit)	q _e pada konsentrasi Au awal (mg/L)				
	10	20	30	40	50
0	0	0	0	0	0
30	0.4677	0.8265	1.3300	1.7699	2.1741
60	0.5218	1.0522	1.5307	1.9925	2.3585
90	0.5299	1.0877	1.5969	2.0726	2.4772
120	0.5559	1.0853	1.5918	2.0945	2.5212
150	0.5419	1.0787	1.5545	2.0447	2.4407

q_e: kapasitas adsorpsi

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.



Lampiran 12 Data analisis kinetika adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA

[Au] ₀ mg/L	Waktu (menit)	q _e (mg/g)	q _t (mg/g)	q _e -q _t	orde 1 Log(q _e -q _t)	orde 2 t/q _t
10	30	0.5559	0.4677	0.0882	-1.0545314	64.1437
	60	0.5559	0.5218	0.0341	-1.4672456	114.9866
	90	0.5559	0.5299	0.0260	-1.5850267	169.8434
	120	0.5559	0.5559	0.0000		215.8662
	150	0.5559	0.5419	0.0140	-1.853872	276.8038
20	30	1.0877	0.8265	0.2612	-0.5830268	36.2976
	60	1.0877	1.0522	0.0355	-1.4497716	57.0234
	90	1.0877	1.0877	0.0000		82.7434
	120	1.0877	1.0853	0.0024	-2.6197888	110.5685
	150	1.0877	1.0787	0.0090	-2.0457575	139.0563
30	30	1.5969	1.3300	0.2669	-0.5736514	22.5564
	60	1.5969	1.5307	0.0662	-1.179142	39.1978
	90	1.5969	1.5969	0.0000		56.3592
	120	1.5969	1.5918	0.0051	-2.2924298	75.3864
	150	1.5969	1.5545	0.0424	-1.3726341	96.4940
40	30	2.0945	1.7699	0.3246	-0.4886515	16.9501
	60	2.0945	1.9925	0.1020	-0.9913998	30.1129
	90	2.0945	2.0726	0.0219	-1.6595559	43.4237
	120	2.0945	2.0945	0.0000		57.2929
	150	2.0945	2.0447	0.0498	-1.3027707	73.3604
50	30	2.5212	2.1741	0.3471	-0.4595454	13.7988
	60	2.5212	2.3585	0.1627	-0.7886124	25.4399
	90	2.5212	2.4772	0.0440	-1.3565473	36.3313
	120	2.5212	2.5212	0.0000		47.5964
	150	2.5212	2.4407	0.0805	-1.0942041	61.4578

Keterangan: q_e adalah kapasitas adsorpsi Au dalam kesetimbangan dan q_t: kapasitas adsorpsi Au pada waktu t

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

Lampiran 13 Persamaan regresi linier laju adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%

[Au] _o (mg/L)	Orde pertama semu	[Au] _o (mg/L)	Orde kedua semu
10	Log (qe-qt) = -0.9805-0.006178t	10	t/qt = 10.47+1.754t
20	Log (qe-qt) = -0.4459-0.01365t	20	t/qt = 7.419+0.8635t
30	Log (qe-qt) = -0.5411-0.009038t	30	t/qt = 2.780+0.6135t
40	Log (qe-qt) = -0.5614-0.005657t	40	t/qt = 2.227+0.4667t
50	Log (qe-qt) = -0.4830-0.5354t	50	t/qt = 1.682+0.3916

Keterangan: [Au]_o adalah konsentrasi larutan Au awal

Contoh perhitungan parameter kinetika

Kinetika orde satu semu

$$\text{Log}(q_e - q_t) = \text{Log} q_e - k_1 / 2.303 \times t$$

$$\text{Slope} = -k_1 / 2.303 \rightarrow k_1 = -2.303 \times (-0.0061) = 0.0142 \text{ menit}^{-1}$$

$$\text{Interesep} = \text{Log} q_e \rightarrow q_e = \text{inv log} 10.47 = 0.1045$$

Kinetika orde dua semu

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + 1/q_e \times t$$

$$\text{slope} = 1/q_e \rightarrow q_e = 1/1.754 = 0.5701$$

$$\text{interesep} = 1/k_2 q_e^2 \rightarrow k_2 = 1/(0.5701)^2 \times 10.47 = 0.2938$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan disertasi atau sejenisnya.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

Lampiran 14 Perbandingan konstanta laju orde satu dan orde dua serta nilai q_e hasil perhitungan adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4%

[Au] ₀	q_e (mg/g) percobaan	Kinetika orde satu			Kinetika orde dua		
		k_1 (menit ⁻¹)	q_e (hitung) (mg/g)	R^2	k_2 (g/mgmenit)	q_e (hitung) (mg/g)	R^2
10	0.5559	0.0142	0.1045	0.9	0.2938	0.5701	0.998
20	1.0877	0.0314	0.3581	0.737	0.1005	1.1581	0.996
30	1.5969	0.0208	0.2876	0.483	0.1354	1.6300	0.997
40	2.0945	0.0130	0.2745	0.472	0.0978	2.1427	0.998
50	2.5212	0.0123	0.3289	0.501	0.0912	2.5536	0.998

Keterangan: q_e adalah kapasitas adsorpsi Au pada kesetimbangan

Hak Cipta Diindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan disertasi atau sejenisnya;
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

Lampiran 15 Data laju orde dua adsorpsi $[Au(CN)_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% pada berbagai variasi suhu

Suhu °C	[Au]awal mg/L	Bobotkitosan (g)	[Au]e/Ce (mg/L) pada t (menit)					[Au]Ae/CAe (mg/L) pada t (menit)				
			30	60	90	120	150	30	60	90	120	150
30	10	0.8750	1.8485	0.8754	0.7301	0.2723	0.5364	8.1515	9.1246	9.2699	9.7277	9.4636
	10	0.8750	1.7837	0.8601	0.7228	0.2727	0.5285	8.2163	9.1399	9.2772	9.7273	9.4715
	Rataan							8.1839	9.1323	9.2736	9.7275	9.4676
40	10	0.8750	0.3871	0.7898	0.8768	1.2956	1.6731	9.6129	9.2102	9.1232	8.7044	8.3269
	10	0.8752	0.3917	0.7817	0.8700	1.2870	1.6802	9.6083	9.2183	9.1300	8.7130	8.3198
	Rataan							9.6106	9.2143	9.1266	8.7087	8.3234
50	10	0.8749	0.5476	0.4965	0.6610	1.6008	1.8847	9.4524	9.5035	9.3390	8.3992	8.1153
	10	0.8750	0.5529	0.4944	0.6601	1.5828	1.8840	9.4471	9.5056	9.3399	8.4172	8.1160
	Rataan							9.4498	9.5046	9.3395	8.4082	8.1157
60	10	0.8751	0.5527	0.5988	1.0460	2.2448	1.7555	9.4473	9.4012	8.9540	7.7552	8.2445
	10	0.8751	0.5556	0.5882	1.0420	2.2609	1.7465	9.4444	9.4118	8.9580	7.7391	8.2535
	Rataan							9.4459	9.4065	8.9560	7.7472	8.2490

Lampiran 16 Kapasitas adsorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ oleh serpih kitosan-GA 4% setiap waktu, analisis kinetika orde kedua dan perhitungan E_a

Suhu °C	[Au] _o mg/L	mkit (g)	Kapasitas adsorpsi (mg/g) pada waktu t (menit)				
			30	60	90	120	150
30	10	0.8750	0.4658	0.5214	0.5297	0.5559	0.5408
	10	0.8750	0.4695	0.5223	0.5301	0.5558	0.5412
	rataan		0.4677	0.5218	0.5299	0.5559	0.5410
40	10	0.8750	0.5493	0.5263	0.5213	0.4974	0.4758
	10	0.8752	0.5489	0.5266	0.5216	0.4978	0.4753
	rataan		0.5491	0.5265	0.5215	0.4976	0.4756
50	10	0.8749	0.5402	0.5431	0.5337	0.4800	0.4638
	10	0.8750	0.5398	0.5432	0.5337	0.4810	0.4638
	rataan		0.5400	0.5431	0.5337	0.4805	0.4638
60	10	0.8751	0.5398	0.5372	0.5116	0.4431	0.4711
	10	0.8751	0.5396	0.5378	0.5118	0.4422	0.4716
	rataan		0.5397	0.5375	0.5117	0.4426	0.4713

Suhu °C	q _e (mg/g) percobaan	1/T 1/K	kinetika orde dua		
			k ₂ (g/mgmenit)	q _e (hitung)mg/g	R ²
30	0.5559	0.0033	0.3091	0.5701	0.998
40	0.5491	0.0032	-0.2296	0.4625	0.997
50	0.5431	0.0031	-0.1584	0.4444	0.993
60	0.5397	0.0030	-0.1788	0.4581	0.989

Suhu	1/T	k	lnk	Regresi linier	E _a (Kj/mol)
30	0.0033	0.3091	-1.1740	ln k = -8027 + 2056/T R ² = 0.791	-17.095
40	0.0032	0.2296	-1.4714		
50	0.0031	0.1584	-1.8426		
60	0.0030	0.1788	-1.7214		

$$\ln k = \ln A - E_a/R \times 1/T$$

$$\text{Kemiringan kurva} = E_a/R$$

$$E_a = -2056 \times 0.0083149 \text{ Kj/mol} = -17.095 \text{ Kj/mol}$$



Lampiran 17 Data analisis pengaruh suhu dan perhitungan parameter termodinamika adsorpsi $[Au(CN)_4]$ oleh serpih kitosan-GA 4%

Suhu T(°C)	Co mg/L	[Au]ads ((,)) mg/L	1/T (K)	C_{Ae}/C_e (Kc)	LogKc	Persamaan regresi linierr
30	10	9.7275	0.0033	0.9727	-0.0120	$\log Kc = 11821/T - 2.364$ $R^2 = 0.985$
40	10	9.6106	0.0032	0.9611	-0.0172	
50	10	9.5046	0.0031	0.9610	-0.0221	
60	10	9.4065	0.0030	0.9504	-0.0266	

Keterangan: C_e : konsentrasi Au(III) dalam larutan pada kesetimbangan= $[Au]_{\text{sis}}$
 C_{Ae} = konsentrasi Au(III) dalam kitosan-GA pada kesetimbangan= $[Au]_{\text{ads}}$

Perhitungan parameter termodinamika

$$\log Kc = \frac{\Delta S}{2.303R} - \frac{\Delta H}{2.303RT}$$

$$\text{Slope} = \frac{\Delta H}{2.303R} \rightarrow \Delta H = -1182 \times 2.303 \times 8.3149 \cdot 10^{-3} = -22.634$$

$$\text{Intersep} = \frac{\Delta S}{2.303R} \quad \Delta S = -2.364 \times 2.303 \times 8.3149 \cdot 10^{-3} = -0.0453$$

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan buku, pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
 - b. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

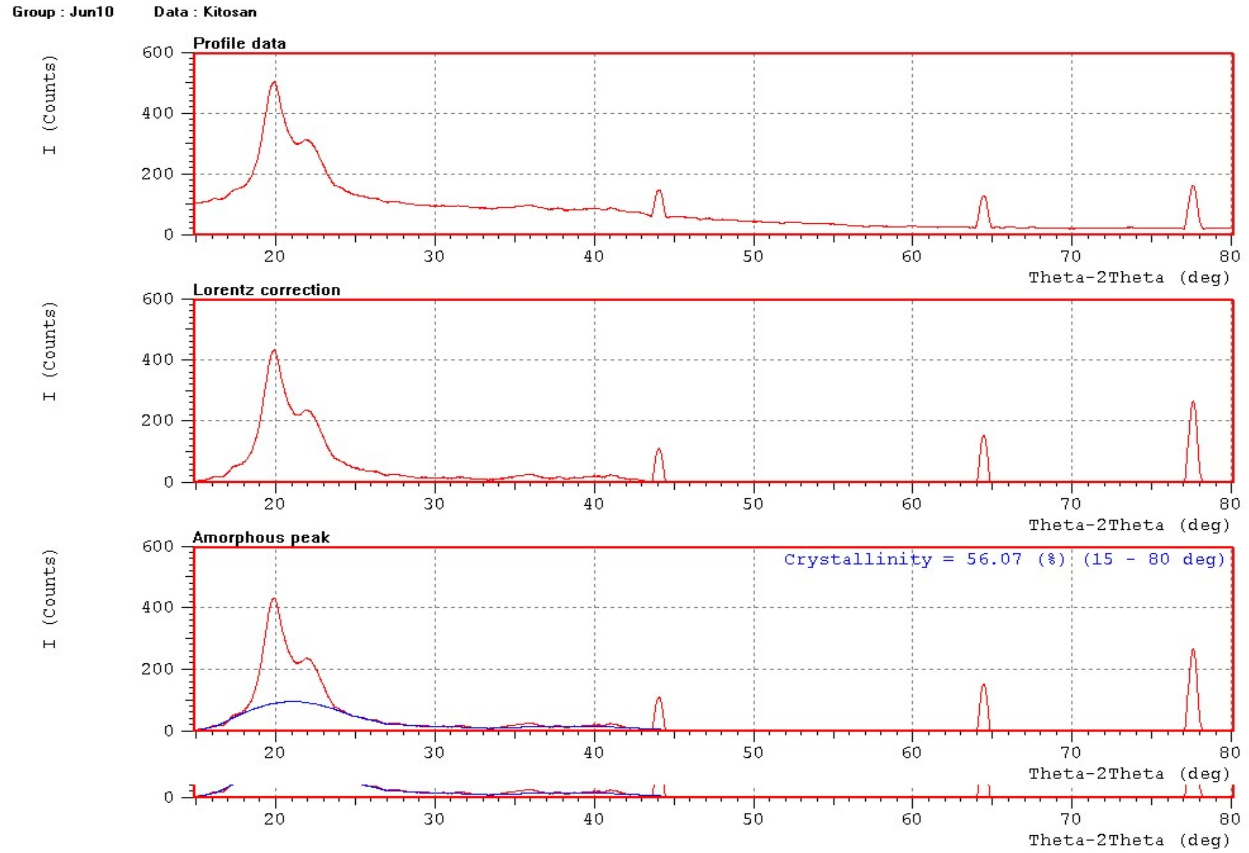
Lampiran 18 Data desorpsi $[\text{Au}(\text{CN})_4]^-$ dari serpih kitosan-GA 4%

[Au]awal (mg/L)	Pelarut pendesorpsi	volume pendesorpsi (ml)	Waktu (menit)	[Au]sisa (mg/L)			[Au]ads (mg/L)			desorpsi %
				ulangan		rataan	ulangan		rataan	
				1	2		1	2		
9.316	NaCN 1%	10	30	1.8485	1.7837	1.8161	8.1515	8.2163	8.1839	19.49
			60	9.3718	9.2602	9.316	0.6282	0.7398	0.6840	100.00
			90	8.4644	8.4689	8.4667	1.5356	1.5311	1.5334	90.88
			120	7.1381	7.1434	7.1408	2.8619	2.8566	2.8593	76.65
			150	6.0212	5.9084	5.9648	3.9788	4.0916	4.0352	64.03
16.853	NaCN 1%	10	30	6.335	4.715	5.525	13.665	15.285	14.4750	32.78
			60	15.615	15.285	15.45	4.385	4.715	4.5500	91.68
			90	16.685	17.020	16.853	3.315	2.98	3.1475	100.00
			120	15.395	15.355	15.375	4.605	4.645	4.6250	91.23
			150	13.935	14.435	14.185	6.065	5.565	5.8150	84.17
24.22	NaCN 1%	10	30	6.6	6.890	6.745	23.4	23.11	23.2550	27.85
			60	14.365	14.650	14.508	15.635	15.35	15.4925	59.90
			90	24.215	24.225	24.22	5.785	5.775	5.7800	100.00
			120	23.02	23.075	23.048	6.98	6.925	6.9525	95.16
			150	20.29	19.815	20.053	9.71	10.185	9.9475	82.79
30.358	NaCN 1%	10	30	9.09	8.970	9.03	30.91	31.03	30.9700	29.75
			60	11.94	12.20	12.07	28.06	27.8	27.9300	39.76
			90	30.86	29.855	30.358	9.14	10.145	9.6425	100.00
			120	29.515	29.27	29.393	10.485	10.73	10.6075	96.82
			150	26.27	26.515	26.393	13.73	13.485	13.6075	86.94
34.733	NaCN 1%	10	30	11.99	11.915	11.953	38.01	38.085	38.0475	34.41
			60	13.39	12.78	13.085	36.61	37.22	36.9150	37.67
			90	34.075	34.715	34.395	15.925	15.285	15.6050	99.03
			120	34.51	34.955	34.733	15.49	15.045	15.2675	100.00
			150	34.955	32.41	33.683	15.045	17.59	16.3175	96.98

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan disertasi atau artikel untuk media massa.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

Lampran 19 Kristalinitas serpih kitosan

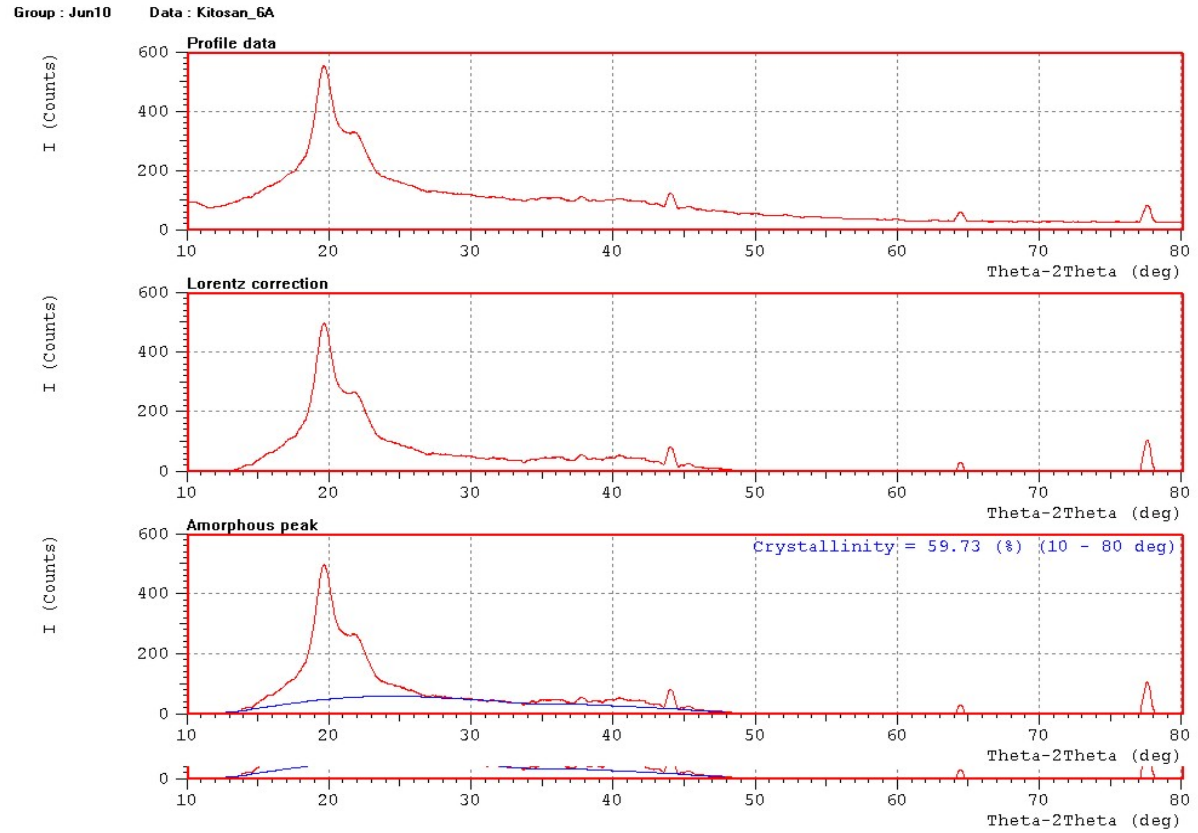


20

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan disertasi atau artikel untuk tujuan akademik.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

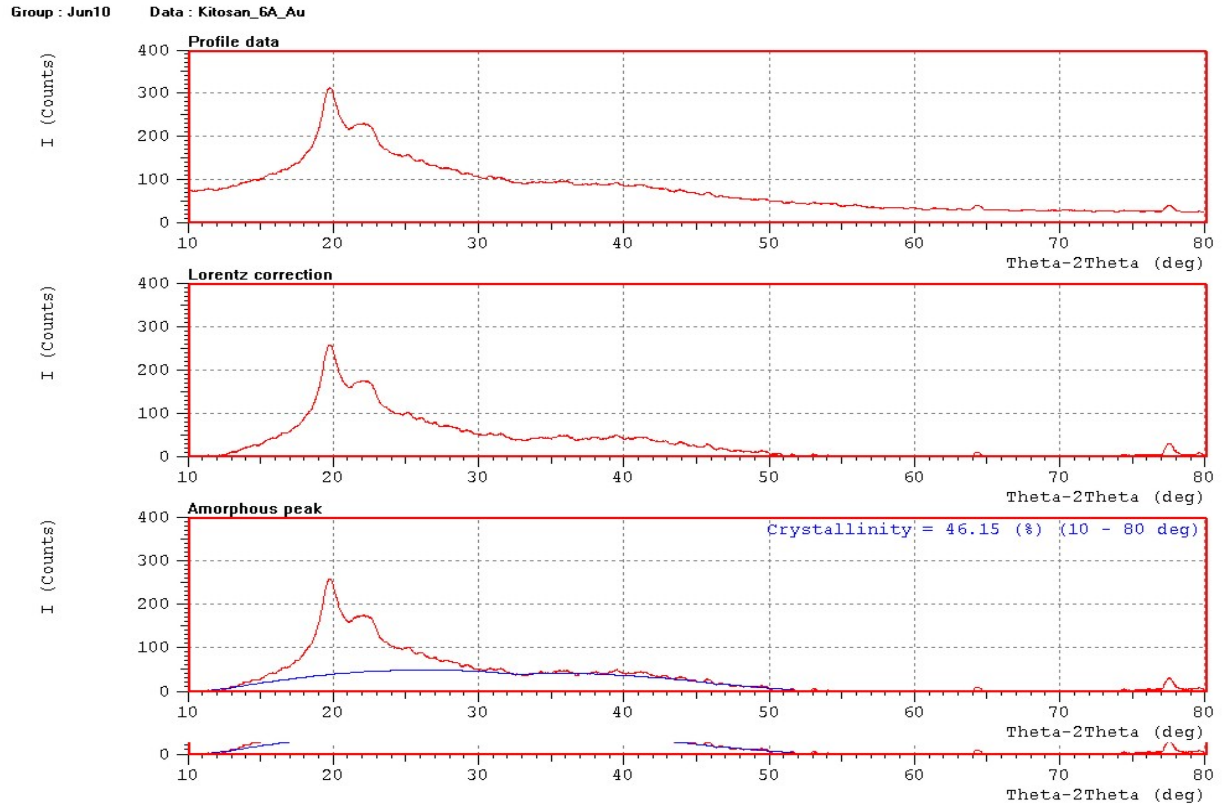
Lampiran 20 Kristalinitas serpih kitosan-GA



Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan disertasi atau sejenisnya, dengan mencantumkan sumber kutipan.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin.

Lampiran 21 Kristalinitas serpih kitosan-GA-Au





Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB.

© Hak cipta milik IPB (Institut Pertanian Bogor)

Bogor Agriculture