

## APLIKASI HUMIN PADA PROSES ADSORPSI REDUKTIF $\text{AuCl}_4^-$ DI BAWAH PENGARUH SINAR UV

<sup>1</sup> L.I. Ardhayanti

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam  
Indonesia  
Yogyakarta, Indonesia

e-mail: lutfia.isna@uii.ac.id

### Abstrak

Telah dilakukan proses adsorpsi reduktif larutan  $\text{AuCl}_4^-$  menggunakan humin di bawah pengaruh sinar UV. Humin diisolasi dari tanah gambut Kalimantan Selatan, Indonesia, menggunakan metode yang diadopsi dari *International Humic Substances Society (IHSS)*. Hasil karakterisasi menunjukkan humin isolasi memiliki kandungan  $-\text{COOH}$  dan  $-\text{OH}$  fenolat yang bertanggung jawab dalam proses adsorpsi dan reduksi  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi Au. Kondisi optimum reaksi diperoleh pada pH 2 dengan waktu interaksi selama 900 menit di bawah sinar UV, waktu ini lebih cepat dibandingkan interaksi pada kondisi gelap. Kinetika adsorpsi mengikuti model kinetika pseudo orde dua. Sedangkan model isoterm adsorpsi mengikuti model isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi sebesar 83,33 mg/g. Kemampuan humin dalam mereduksi  $\text{AuCl}_4^-$  ditunjukkan dengan keberadaan puncak karakteristik logam Au pada difraktogram humin setelah proses adsorpsi.

**Kata kunci:** Humin, Adsorpsi reduktif,  $\text{AuCl}_4^-$ , sinar UV

### Abstract

Reductive adsorption of  $\text{AuCl}_4^-$  by means of humin under UV rays has been studied. Isolation method for humin has been adopted by International Humic Substances Society (IHSS). The result shows that humin had  $-\text{COOH}$  and  $-\text{OH}$  phenolic that are responsible for binding and reducing process of  $\text{AuCl}_4^-$  to Au. The optimum condition of reaction is at pH 2 with 900 minutes interaction time that is faster than reaction without UV. The Adsorption process followed the pseudo second order kinetic model and also Langmuir isotherm model with adsorption capacity 83.33 mg/g. The reduction process of  $\text{AuCl}_4^-$  to Au was confirmed by characteristic peaks of Au at humins diffractogram after interaction with  $\text{AuCl}_4^-$ .

**Keywords:** Humin, Reductive adsorption,  $\text{AuCl}_4^-$ , UV rays

## PENDAHULUAN

Seiring dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi, barang elektronik yang ada di pasaran sebagai produk dari teknologi juga mengalami peningkatan. Gaya hidup masyarakat yang konsumtif menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi penambahan jumlah barang. Diantara berbagai dampak dari banyaknya barang elektronik di pasaran adalah keberadaan limbah elektronik yang menjadi fokus tersendiri di kalangan para pemerhati lingkungan. Limbah elektronik yang berupa barang-barang elektronik yang sudah rusak dan habis masa pakainya, mengandung sejumlah bahan kimia baik yang berbahaya maupun yang bermanfaat bagi manusia dan lingkungan. Kandungan bahan berbahaya dalam limbah elektronik diantaranya berasal dari kandungan logam merkuri dan kadmium (Tanskanen, 2013), sedangkan kandungan bahan yang bermanfaat diantaranya keberadaan logam mulia seperti emas.

Emas merupakan logam mulia yang diminati baik oleh kalangan masyarakat maupun industri. Bagi masyarakat, emas merupakan perhiasan serta investasi yang bernilai tinggi, sedangkan dalam bidang industri, emas diminati karena beberapa sifat yang dimilikinya seperti kemampuan daya hantar listrik yang baik serta tahan terhadap korosi. Alasan tersebut yang menyebabkan masih tingginya kebutuhan masyarakat akan logam emas. Tingginya kebutuhan terhadap logam emas, tidak berimbang bila dibandingkan dengan jumlahnya sebagai bijih di alam (Birloaga, De Michelis, Ferella, Buzatu, & Vegliò, 2013). Mengingat kondisi tersebut, tidaklah mengherankan apabila mulai muncul pemikiran bahwa emas yang berada dalam limbah elektronik akan menjadi sumber sekunder logam emas. Sebagai pendahuluan, dilakukan penelitian untuk

mengkaji metode yang tepat dalam proses perolehan kembali emas dari larutannya. Beberapa penelitian tersebut diantaranya perolehan kembali emas dari larutan  $\text{AuCl}_4^-$  menggunakan *microbial fuel cell* (Choi & Hu, 2013); biosorpsi  $\text{AuCl}_4^-$  menggunakan modifikasi persimmon dengan formaldehid (Fan, Xie, Guan, Zhang, & Luo, 2014); serta adsorpsi  $\text{AuCl}_4^-$  menggunakan modifikasi D301 resin (An et al., 2017). Berdasarkan metode yang diajukan dalam proses perolehan kembali logam, metode adsorpsi merupakan metode yang banyak diadopsi karena merupakan metode yang cukup efektif (Fan et al., 2014). Selain itu, metode adsorpsi dikenal sebagai metode yang mudah dalam pengoperasian maupun penanganannya.

Banyaknya kasus mengenai pembakaran tanah gambut di Indonesia, seakan-akan menyatakan bahwa keberadaan tanah gambut belum dapat dimanfaatkan. Dalam tanah gambut terdapat senyawa humat yang terbagi menjadi fraksi asam humat, asam fulvat maupun humin (Stevenson, 1994). Sebagai salah satu fraksi senyawa humat, humin dikenal sebagai adsorben yang memiliki potensi dalam proses adsorpsi logam (Jesus, Romão, Araújo, Costa, & Marques, 2011). Beberapa penelitian yang menggunakan humin sebagai adsorben logam diantaranya adalah kajian kemampuan humin dan asam humat dalam mengadsorpsi ion  $\text{Cu}^{2+}$  (Li, Wang, Ji, Zhang, & Wang, 2015), serta kajian mengenai interaksi antara humin dengan logam Cd dalam air tawar maupun air laut pada berbagai kondisi pH (Andreas & Zhang, 2014). Kajian adsorpsi logam emas menggunakan humin juga telah dilakukan (Santosa, Sudiono, Siswanta, Kunarti, &

Dewi, 2011).

Humin diketahui memiliki gugus fungsional karboksilat dan hidroksi fenolat yang mampu mengikat sekaligus mereduksi  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi logam Au (Santosa et al., 2011). Dalam proses pengolahan air, terdapat metode yang menggunakan sinar UV dimana diketahui bahwa penggunaan sinar UV dalam larutan yang mengandung senyawa organik, dapat menghilangkan kandungan senyawa organik tersebut (Vilhunen, Vilve, Vepsäläinen, & Sillanpää, 2010). Humin merupakan salah satu senyawa organik. Oleh sebab itu, dalam penelitian ini, akan dilakukan kajian mengenai penggunaan humin dalam proses adsorpsi reduktif  $\text{AuCl}_4^-$  yang akan dikerjakan di bawah sinar UV untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil reaksi yang terjadi.

## METODE

### Bahan dan Alat

Sampel tanah gambut diperoleh dari Amuntai, Hulu Sungai Utara, Kalimantan Selatan, Indonesia.

Bahan-bahan kimia produksi Merck dengan kemurnian p. a. (NaOH, HCl, HF, dan  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ),  $\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  produksi Wako Pure Chemical, gas  $\text{N}_2$  produksi CV. Perkasa, larutan  $\text{HAuCl}_4$  1000 mg/L produksi Laboratorium Kimia Analitik FMIPA UGM, kertas saring Whatman-42, larutan buffer 4 dan 7 (Horiba pH *standard solution*), akuabides produksi Otsuka, dan akuades.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu peralatan untuk isolasi humin yang meliputi neraca analitik, shaker merek Marius Instrumen, centrifuge tipe h-107 merek Fisher Scientific Model 228, oven merek Fisher Scientific Model 655F, ayakan 200 mesh merk Retsch; serta peralatan analisis yang meliputi pH meter

merek Horiba pH meter F-52, Spektrofotometer Infrared tipe FTIR merek Shimadzu Prestige 21, Spektrofotometer UV-vis tipe UV-1601 merek Shimadzu, dan Difraktometer Sinar-X merek Shimadzu 6000.

### Isolasi humin

Proses isolasi humin dilakukan mengikuti metode ekstraksi alkali yang diadopsi dari *International Humic Substances Society (IHSS)*.

Sebanyak 100 g sampel tanah gambut dimasukkan ke dalam tabung polietilen yang kemudian ditambahkan NaOH 0,1 M sambil dialiri gas  $\text{N}_2$  dan diaduk selama 24 jam (Santosa et al., 2011). Endapan kemudian dipisahkan dari filtrat menggunakan sentrifugasi selama 10 menit dengan kecepatan 2000 rpm. Endapan dipisahkan antara endapan dan filtrat dimana endapan yang diperoleh merupakan humin kotor yang perlu dimurnikan. Proses pemurnian dilakukan dengan mencuci endapan menggunakan larutan campuran 0,1 M HCl dan 0,3 M HF dengan perbandingan 1:1. Setelah dirasa kandungan mineral sudah berkurang, endapan dicuci menggunakan aquades untuk menghilangkan ion klorida ( $\text{Cl}^-$ ). Endapan selanjutnya dikeringkan dan diayak untuk menyeragamkan ukuran partikel.

### Pengaruh Sinar UV terhadap Proses Adsorpsi $\text{AuCl}_4^-$ Menggunakan Humin

#### a. Pengaruh pH terhadap Proses Adsorpsi

Sebanyak 10 mg humin diinteraksikan dengan 10 mL larutan  $\text{AuCl}_4^-$  dengan konsentrasi awal yang sama. Dilakukan variasi pH larutan  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi pH 1, 2, 3 dan 4 sebelum diinteraksikan. Campuran

diaduk selama 24 jam di bawah radiasi UV kemudian disaring. Filtrat selanjutnya dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-vis. Sebagai pembanding, dilakukan pula reaksi pada kondisi gelap.

#### **b. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Proses Adsorpsi**

Sebanyak 10 mg humin diinteraksikan dengan 10 mL larutan  $\text{AuCl}_4^-$  dengan konsentrasi awal yang sama pada kondisi pH optimum (yang diperoleh dari variasi pH). Campuran diaduk selama variasi waktu interaksi dan dilakukan di bawah radiasi UV, kemudian disaring. Filtrat selanjutnya dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-vis. Waktu interaksi yang digunakan adalah 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 600, 900, 1200, 1500 dan 1800 menit. Sebagai pembanding, dilakukan pula reaksi pada kondisi gelap.

#### **c. Penentuan Isoterm Adsorpsi**

Sebanyak 10 mg humin diinteraksikan dengan 10 mL larutan  $\text{AuCl}_4^-$  dengan variasi konsentrasi 50, 100, 200 dan 400 ppm pada kondisi pH dan waktu optimum (yang diperoleh dari variasi pH dan waktu) di bawah radiasi sinar UV. Campuran kemudian disaring yang selanjutnya filtrat dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-vis. Sebagai pembanding, dilakukan pula reaksi pada kondisi gelap.

#### **Karakterisasi Humin**

Dilakukan karakterisasi humin hasil isolasi untuk menentukan kandungan gugus fungsional humin secara kualitatif dan kuantitatif, serta penentuan struktur humin

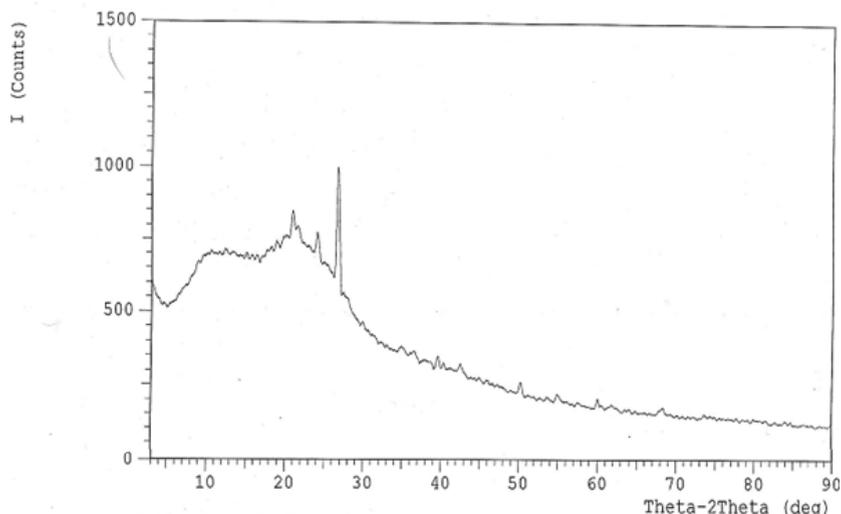
menggunakan Difraksi sinar-X. Penentuan secara kualitatif dilakukan menggunakan spektroskopi FTIR. Sedangkan secara kuantitatif (gugus fungsional diwakilkan sebagai kandungan keasaman total, kandungan gugus karboksilat dan kandungan hidroksi fenolat) dilakukan menggunakan metode yang diajukan Schnitzer (Stevenson, 1994). Dilakukan pula karakterisasi terhadap humin setelah interaksi dengan menentukan gugus fungsional humin menggunakan Spektroskopi FTIR dan struktur humin menggunakan Difraksi Sinar-X.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **Isolasi Humin**

Humin hasil ekstraksi alkali memiliki kandungan mineral yang dapat ditentukan sebagai kadar abu. Humin yang belum dimurnikan ini disebut sebagai humin kotor. Kadar abu dalam humin dianggap sebagai pengotor dan dapat mengganggu dalam proses adsorpsi sehingga dalam proses isolasi humin perlu dilakukan pencucian humin menggunakan larutan HF/HCl. Hasil pencucian menunjukkan penurunan kadar abu dalam humin sebesar 27,04%.

Karakterisasi humin menggunakan difraksi sinar-X yang ditunjukkan pada Gambar 1, mengonfirmasi struktur humin hasil isolasi yang bersifat *amorf*. Difraktogram tersebut juga menunjukkan keberadaan silika dalam humin hasil isolasi yang ditunjukkan pada  $2\theta : 26,7217^\circ$  mendekati data milik Santosa (Santosa et al., 2011).

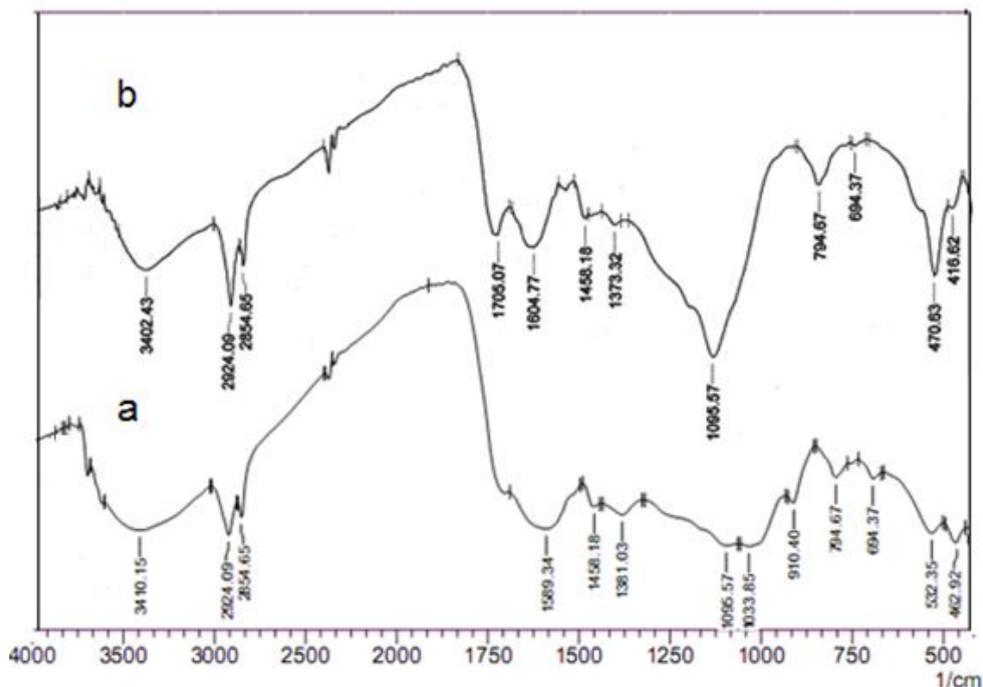


Gambar 1. Difraktogram humin murni hasil isolasi

Berkurangnya pengotor pada humin setelah proses isolasi juga ditunjukkan dari spektra FTIR pada Gambar 2. Spektra humin murni pada Gambar 2 menunjukkan peningkatan intensitas serapan beberapa gugus fungsional humin setelah proses pemurnian. Beberapa gugus fungsional yang mengalami peningkatan intensitas diantaranya gugus hidroksi (-OH) pada  $3402,18\text{ cm}^{-1}$ ; gugus hidrokarbon alifatik (-CH) pada serapan  $2924,09\text{ cm}^{-1}$  dan  $2854,65\text{ cm}^{-1}$ ; munculnya gugus karbonil karboksilat (C=O) pada serapan  $1705,07\text{ cm}^{-1}$ ; meningkatnya gugus (C=C) aromatis pada serapan  $1604,77$  dan  $1458,18\text{ cm}^{-1}$  serta meningkatnya serapan vibrasi (C-O) milik fenolat pada  $1095,57\text{ cm}^{-1}$ .

Penentuan kandungan gugus fungsional humin secara kuantitatif dilakukan dengan menentukan kandungan keasaman total humin yang berupa kandungan gugus fungsi -OH

fenolat dan -COOH. Gugus fungsi -OH fenolat merupakan gugus fungsi polifenol dimana pada sebagian besar penelitian yang menggunakan biosorben menyatakan bahwa gugus polifenol sebagai gugus fungsi yang memiliki peran utama dalam proses adsorpsi logam, termasuk logam Au (Fan et al., 2014). Gugus fungsi -COOH dalam humin berfungsi dalam mengikat logam  $\text{AuCl}_4^-$  sedangkan gugus -OH fenolat berfungsi dalam mereduksi  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi Au (Santosa et al., 2011). Hasil penentuan kandungan keasaman total pada penelitian ini menunjukkan bahwa humin memiliki kandungan -OH fenolat sebesar  $535,52\text{ cmol/kg}$  serta -COOH sebesar  $17,49\text{ cmol/kg}$ . Hidroksil fenolat berperan dalam proses reduksi  $\text{AuCl}_4^-$  (Santosa et al., 2011), maka besarnya kandungan -OH fenolat dalam humin hasil isolasi akan berpengaruh terhadap besarnya proses reduksi yang terjadi.



Gambar 2. Spektra (a) humin kotor dan (b) humin murni

**Interaksi antara Humin dengan AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup>**

Untuk mengetahui parameter apa saja yang berpengaruh dalam proses adsorpsi AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> oleh humin, maka dilakukan pengujian dengan berbagai parameter uji seperti variasi pH, waktu interaksi serta konsentrasi larutan AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup>.

Sebelum dilakukan interaksi antara humin dengan larutan AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup>, terlebih dahulu dilakukan penentuan panjang gelombang yang memberikan serapan AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> paling besar yang nantinya akan digunakan sebagai panjang gelombang untuk menentukan konsentrasi larutan AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup>. Panjang gelombang optimum yang diperoleh adalah pada 314 nm. Panjang gelombang ini mendekati panjang gelombang optimum AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> yang ditentukan oleh Paclawski & Fitzner

(Paclawski & Fitzner, 2004).

**a. Pengaruh pH terhadap Proses Adsorpsi**

Pengaruh pH terhadap proses adsorpsi dilakukan dengan memvariasi pH larutan AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> pada kisaran kondisi asam. Hal ini dipengaruhi oleh spesiasi AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> yang optimum berada pada kondisi asam (Paclawski & Fitzner, 2004).

Hasil variasi pH pada Tabel 1, menunjukkan persentase adsorpsi maksimum AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> oleh humin terjadi pada kondisi asam yaitu pH 2. Kapasitas adsorpsi menunjukkan penurunan pada pH yang terlalu asam maupun pH lebih dari 2. Pada pH yang terlalu asam (pH 1), terjadi penurunan persentase adsorpsi

sebagai akibat adanya kompetisi antara ion  $\text{Cl}^-$  dengan  $\text{AuCl}_4^-$ . Dalam penelitian ini, larutan HCl digunakan sebagai

adsorpsi diakibatkan oleh berkurangnya spesiasi  $\text{AuCl}_4^-$  pada pH di atas 3.

Proses adsorpsi yang berlangsung pada kondisi asam memiliki kelebihan

pengatur keasaman larutan sehingga, keberadaan ion  $\text{Cl}^-$  tidak dapat dihindarkan. Sedangkan pada pH 3 dan 4 penurunan kapasitas

terutama ketika akan diaplikasikan pada limbah pertambangan maupun industri yang pada umumnya berada pada kondisi asam (Dwivedi, Dubey, Hokkanen, Fallah, & Sillanpää, 2014).

Tabel 1. Persen adsorpsi  $\text{AuCl}_4^-$  pada berbagai kondisi pH

pH medium	Adsorpsi $\text{AuCl}_4^-$ (%)
1	88,93
2	93,55
3	90,58
4	76,99

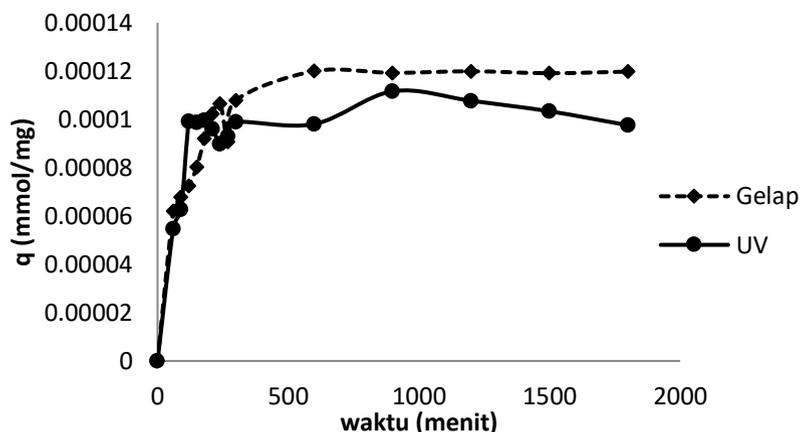
#### b. Pengaruh Waktu Kontak terhadap Proses Adsorpsi

Untuk mengetahui pengaruh waktu kontak terhadap proses adsorpsi yang terjadi maka, dilakukan variasi waktu kontak. Pada umumnya, kapasitas adsorpsi akan meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu kontak antara adsorben dengan adsorbat hingga waktu tertentu ketika seluruh situs aktif adsorben telah habis berinteraksi dengan adsorbat.

Hasil uji pengaruh waktu kontak terhadap proses adsorpsi ditunjukkan pada Gambar 3. Pada awal interaksi, yang pada penelitian ini terjadi dari awal waktu interaksi hingga waktu kontak 300 menit, kapasitas adsorpsi meningkat cukup signifikan

dikarenakan masih banyaknya situs aktif humin yang tersedia untuk digunakan berinteraksi dengan  $\text{AuCl}_4^-$ . Setelah waktu keseimbangan dicapai, pada penelitian ini dicapai pada waktu kontak 900 menit, kapasitas adsorpsi tidak lagi mengalami perubahan yang disebabkan karena telah habisnya situs aktif humin untuk berinteraksi dengan  $\text{AuCl}_4^-$ .

Model kinetika reaksi pada penelitian ini, mengikuti model kinetika pseudo orde dua  $H_0$  yang mengasumsikan proses adsorpsi yang terjadi merupakan adsorpsi kimia dimana baik situs aktif adsorben maupun konsentrasi larutan (jumlah adsorbat) berperan dalam proses adsorpsi (Dwivedi, 2014).



Gambar 3. Pengaruh waktu kontak terhadap kapasitas adsorpsi ion  $\text{AuCl}_4^-$  oleh humin

### c. Penentuan Model Isoterm Adsorpsi

Model isoterm adsorpsi pada penelitian ini mengikuti model isoterm Langmuir dengan kapasitas adsorpsi sebesar 83,33 mg/g. Model isoterm Langmuir mengasumsikan bahwa proses adsorpsi terjadi dalam satu lapisan (*monolayer*) dikarenakan sifat permukaan yang homogen.

### Kemampuan Adsorpsi Reduktif $\text{AuCl}_4^-$ oleh Humin

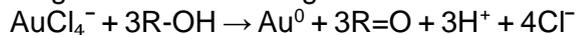
Selama proses adsorpsi  $\text{AuCl}_4^-$  oleh humin, dimungkinkan terjadinya proses reduksi  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi Au oleh gugus  $-\text{OH}$  fenolat (Santosa et al., 2011), maka, untuk membuktikan bahwa telah terjadi pula proses reduksi dalam penelitian ini, dilakukan karakterisasi humin menggunakan difraksi sinar-X. Gambar 4 menunjukkan difraktogram humin setelah berinteraksi dengan  $\text{AuCl}_4^-$ . Berdasarkan gambar tersebut, selain keberadaan puncak silika seperti pada difraktogram humin murni hasil isolasi, terdapat pula beberapa puncak karakteristik milik logam Au (Santosa et al.,

2011);(Dwivedi et al., 2014). Hal ini membuktikan bahwa pada penelitian ini, telah terjadi proses reduksi  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi Au.

Proses reduksi  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi Au dapat terjadi melalui reaksi redoks antara gugus fungsional humin dengan  $\text{AuCl}_4^-$  maupun melalui elektron yang dihasilkan dari terbentuknya senyawa intermediet hasil reaksi gugus fungsional humin dengan sinar UV. Senyawa intermediet yang dihasilkan berupa hidroksi radikal yang berasal dari gugus fungsional hidroksi yang terkena sinar UV. Dalam penelitian ini, penggunaan gugus fungsional humin untuk membentuk hidroksi radikal dikonfirmasi dengan semakin berkurangnya kapasitas adsorpsi yang dimiliki humin ketika proses adsorpsi dilakukan pada kondisi di bawah sinar UV. Hal ini ditunjukkan dari tercapainya waktu keseimbangan yang lebih cepat pada kondisi di bawah sinar UV dibandingkan pada kondisi gelap.

Kuyucak dan Volesky (Santosa et al., 2011) mengajukan persamaan reaksi reduksi  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi Au oleh gugus

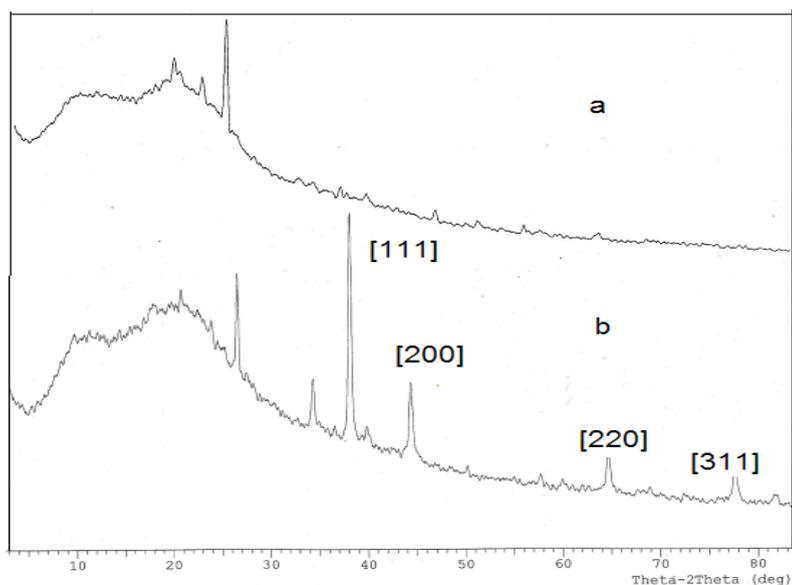
fungsi humin sebagai berikut :



Berdasarkan persamaan reaksi tersebut, terjadinya proses reduksi akan diikuti dengan peningkatan pH larutan. Pada penelitian ini, saat dilakukan variasi pH dalam penentuan pH optimum interaksi, menunjukkan terjadinya kenaikan pH larutan setelah proses adsorpsi

berlangsung.

Sehingga, dalam penelitian ini, proses reduksi  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi Au dibuktikan dengan keberadaan puncak karakteristik logam Au yang terlihat pada difraktogram humin hasil interaksi dengan  $\text{AuCl}_4^-$  disertai kenaikan pH larutan setelah adsorpsi berlangsung.



Gambar 4. Difraktogram (a) humin murni dan (b) humin setelah interaksi dengan ion  $\text{AuCl}_4^-$

### Pengaruh sinar UV terhadap proses adsorpsi reduktif

Untuk mengetahui pengaruh sinar UV terhadap proses adsorpsi reduktif yang terjadi, dilakukan perbandingan antara reaksi pada kondisi gelap dengan reaksi yang dilakukan di bawah sinar UV. Hasil penelitian dapat diamati pada Gambar 3. Berdasarkan Gambar 3, reaksi yang dilakukan di bawah sinar UV berlangsung lebih cepat dalam mencapai waktu keseimbangan reaksi yaitu selama 900 menit, dibandingkan reaksi yang dilakukan

tanpa adanya sinar UV yang membutuhkan waktu 1200 menit untuk mencapai waktu keseimbangan. Hal ini dikarenakan keberadaan sinar UV dalam larutan menghasilkan senyawa intermediet yang berasal dari reaksi antara sinar UV dengan gugus fungsional humin, sehingga berdampak pada semakin berkurangnya situs aktif humin yang digunakan untuk berinteraksi dengan  $\text{AuCl}_4^-$ . Berkurangnya situs aktif pada humin berdampak pada semakin cepat tercapainya waktu keseimbangan reaksi. Hal ini juga didukung

dengan data kapasitas adsorpsi pada Tabel 2, kondisi di bawah sinar UV memiliki

kapasitas adsorpsi lebih rendah dibandingkan kondisi gelap.

Tabel 2. Kapasitas Adsorpsi

Kondisi	Kapasitas Adsorpsi (mg/g)
UV	83,33
Gelap	111,11

## SIMPULAN

Gugus fungsional –COOH dan –OH fenolat yang dimiliki humin berperan dalam proses adsorpsi reduktif  $\text{AuCl}_4^-$  menjadi Au. Penggunaan sinar UV dalam reaksi, menurunkan kapasitas adsorpsi humin dikarenakan terbentuknya senyawa intermediet dari reaksi antara gugus fungsional humin dengan sinar UV yang berdampak pada semakin cepat tercapainya waktu keseimbangan reaksi.

## SARAN

Pada penelitian selanjutnya, disarankan untuk menentukan banyaknya Au yang terbentuk pada reaksi di bawah sinar UV dibandingkan pada kondisi gelap. Sebelum diaplikasikan pada limbah elektronik, disarankan pula membandingkan adsorben maupun menambahkan logam lain dalam proses adsorpsi untuk mengetahui selektifitas humin dalam mengadsorpsi ion  $\text{AuCl}_4^-$ .

## DAFTAR PUSTAKA

An, F.-Q., Li, M., Guo, X.-D., Wang, H.-Y., Wu, R.-Y., Hu, T.-P., . . . Jiao, W.-Z. (2017). Selective adsorption of  $\text{AuCl}_4^-$  on chemically modified D301 resin with containing N/S functional polymer. *Journal of Environmental*

*Chemical Engineering*, 5(1), 10-15. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.iece.2016.11.010>

Andreas, R., & Zhang, J. (2014). Characteristics of Adsorption Interactions of Cadmium(II) onto Humin from Peat Soil in Freshwater and Seawater Media. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 92(3), 352-357. doi:10.1007/s00128-014-1205-x

Birloaga, I., De Michelis, I., Ferella, F., Buzatu, M., & Vegliò, F. (2013). Study on the influence of various factors in the hydrometallurgical processing of waste printed circuit boards for copper and gold recovery. *Waste Management*, 33(4), 935-941. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.003>

Choi, C., & Hu, N. (2013). The modeling of gold recovery from tetrachloroaurate wastewater using a microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, 133, 589-598. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2013.01.143>

Dwivedi, A. D., Dubey, S. P., Hokkanen, S., Fallah, R. N., & Sillanpää, M. (2014). Recovery of gold from aqueous solutions by taurine modified cellulose: An adsorptive–reduction pathway. *Chemical Engineering*

- Journal*, 255, 97-106.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.017>
- Fan, R., Xie, F., Guan, X., Zhang, Q., & Luo, Z. (2014). Selective adsorption and recovery of Au(III) from three kinds of acidic systems by persimmon residual based bio-sorbent: A method for gold recycling from e-wastes. *Bioresource Technology*, 163, 167-171.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2014.03.164>
- Jesus, A. M. D., Romão, L. P. C., Araújo, B. R., Costa, A. S., & Marques, J. J. (2011). Use of humin as an alternative material for adsorption/desorption of reactive dyes. *Desalination*, 274(1-3), 13-21.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2011.01.063>
- Li, C. L., Wang, S., Ji, F., Zhang, J. J., & Wang, L. C. (2015). Thermodynamics of Cu<sup>2+</sup> Adsorption on soil Humin. *International Journal of Environmental Research*, 9(1), 43-52. Retrieved from [http://ijer.ut.ac.ir/article\\_872.html](http://ijer.ut.ac.ir/article_872.html)
- Paclawski, K., & Fitzner, K. (2004). Kinetics of gold(III) chloride complex reduction using sulfur(IV). *Metallurgical and Materials Transactions B*, 35(6), 1071-1085.  
doi:10.1007/s11663-004-0063-z
- Santosa, S. J., Sudiono, S., Siswanta, D., Kunarti, E. S., & Dewi, S. R. (2011). Mechanism of the Removal of AuCl<sub>4</sub><sup>-</sup> Ions from Aqueous Solution by Means of Peat Soil Humin. *Adsorption Science & Technology*, 29(8), 733-746. doi:10.1260/0263-6174.29.8.733
- Stevenson, F. J. (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*: Wiley.
- Tanskanen, P. (2013). Management and recycling of electronic waste. *Acta Materialia*, 61(3), 1001-1011.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2012.11.005>
- Vilhunen, S., Vilve, M., Vepsäläinen, M., & Sillanpää, M. (2010). Removal of organic matter from a variety of water matrices by UV photolysis and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> method. *Journal of Hazardous Materials*, 179(1-3), 776-782.  
doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.03.070>