



PERILAKU ADSORPSI EMAS DARI LARUTAN AMMONIUM THIOSULFAT DENGAN KARBON AKTIF DAN RESIN PENUKAR ION

Wahyudin Prawira M* dan M. Zaki Mubarok

Program Studi Teknik Metalurgi, FTTM-ITB

Jl. Ganesa 10, Bandung, 40312

Email: *wahyudin@gmail.com

Masuk Tanggal : 04-08-2016, revisi tanggal : 24-08-2016, diterima untuk diterbitkan tanggal 31-08-2016

Intisari

Teknik perolehan kembali emas yang efektif dari larutan thiosulfat masih terus dipelajari oleh para peneliti. Pada penelitian ini dibahas hasil-hasil percobaan adsorpsi emas dalam larutan ammonium thiosulfat dengan menggunakan 3 tipe resin penukar ion dan karbon aktif. Serangkaian percobaan adsorpsi *batch* pada suhu kamar dilakukan dalam selang pH 7-9 untuk mempelajari perilaku adsorpsi Au dari larutan thiosulfat pada keempat jenis adsorben, kapasitas adsorpsi dan laju adsorpsi Au pada masing-masing adsorben. Hasil percobaan menunjukkan bahwa perolehan emas dari larutan hasil pelindian bijih emas dalam larutan ammonium thiosulfat dapat dilakukan dengan efektif menggunakan resin penukar ion tipe basa kuat Lewatit Monoplus MP 800. Dalam rentang pH 7-9, persen adsorpsi Au pada resin basa kuat Lewatit Monoplus MP800 melebihi 97% setelah 2 jam dan mencapai level maksimum 100% setelah 25 jam pada pH 8. Sebaliknya, karbon aktif tidak menunjukkan performa yang memadai untuk mengambil kembali Au dari larutan thiosulfat pada mana persen adsorpsi Au tertinggi setelah 25 jam kurang dari 80% dalam rentang pH 7-9. Resin basa kuat Lewatit Monoplus MP 800 menunjukkan kapasitas adsorpsi Au paling tinggi dan laju adsorpsi paling cepat diikuti oleh resin basa lemah Guanidine, resin polimerik bermatriks karbon AF5 dan karbon aktif dalam rentang pH 7-9.

Kata Kunci: Emas, Thiosulfat, Adsorpsi, Karbon aktif, Resin penukar ion

Abstract

Effective recovery methods of gold from thiosulfate solution are still being studied by many researchers. In this paper, results of gold adsorption tests in ammonium thiosulfate solutions using 3 types of ion exchange resin and activated carbon is discussed. Series of batch adsorption tests at room temperature have been carried out within pH range of 7-9 to study Au adsorption behaviour from thiosulfate solution onto four types of adsorbents, loading capacity and adsorption kinetics of each adsorbent. The investigation results show that recovery of gold from pregnant leach solution of gold ore in ammonium thiosulfate can be effectively performed by using a strong-base resin of Lewatit Monoplus MP 800. At a pH range of 7-9, adsorption percentages of Au onto the strong-base resin of Lewatit Monoplus MP exceed 97% after 2 hour and reach a maximum level of 100% after 25 hour at pH 8. In contrast, activated carbon did not exhibit a sufficient performance in recovery of Au from thiosulfate solution, in which the highest adsorption percentage of Au after 25h <80% at pH range of 7-9. The strong base resin of Lewatit Monoplus MP 800 demonstrated the highest loading capacity and fastest adsorption rate followed by weak base resin of Guanidine, polymeric resin with carbon matrix AF5 and activated carbon at pH range of 7-9.

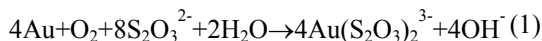
Keywords: Gold, Thiosulfate, Adsorption, Activated carbon, Ion exchange resin

1. PENDAHULUAN

Lebih dari seratus tahun lalu yaitu sejak tahun 1887 hingga kini, pelindian dengan larutan sianida (proses sianidasi), merupakan proses dominan yang digunakan di industri untuk mengekstraksi emas dari bijihnya. Dalam

beberapa tahun belakangan ini, penggunaan sianida di beberapa negara telah dibatasi karena sianida merupakan senyawa yang beracun^[1]. Selama 20 tahun terakhir, banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mencari alternatif pengganti sianida sebagai reagen pelindi emas

seperti thiosulfat, thiourea dan larutan berbasis klorida^[2-3]. Terdapat 2 jenis garam thiosulfat komersil yaitu sodium thiosulfat, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ dan ammonium thiosulfat $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_3$. Thiosulfat banyak diteliti sebagai reagen pelindi alternatif untuk bijih emas dalam bentuk senyawa ammonium thiosulfat. Dalam larutan thiosulfat yang basa atau mendekati netral dan dengan kehadiran oksigen, emas terlarut dalam bentuk kompleks $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ sesuai dengan reaksi berikut^[4-7]:



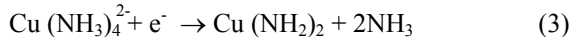
Terdapat dua kompleks emas-thiosulfat yang dapat terbentuk yaitu $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^-$ dan $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$. $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$ merupakan kompleks emas-thiosulfat yang paling stabil^[4]. Kondisi larutan yang basa diperlukan untuk mencegah dekomposisi thiosulfat pada pH yang rendah dan meminimalkan kelarutan unsur pengotor, khususnya besi.

Reaksi (1) berlangsung lambat pada suhu kamar dan untuk mempercepat laju pelindian pada suhu kamar, ditambahkan ammonia (NH_3) dan ion tembaga sebagai katalis^[4]. Dengan adanya ammonia, ion tembaga di dalam larutan membentuk *cupric tetra-ammine complex*, $\text{Cu}(\text{NH}_3)_4^{2+}$, yang berfungsi sebagai oksidator yang mengoksidasi Au menjadi Au^+ . Reaksi pelarutan emas dalam larutan thiosulfat dengan adanya ammonia dan katalis ion tembaga berlangsung melalui mekanisme elektrokimia yang melibatkan reaksi anodik dan katodik berikut^[4-7]:

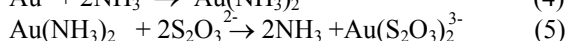
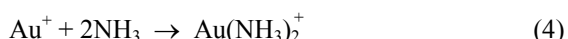
Reaksi anodik:



Reaksi katodik:



Kation Au^+ akan membentuk kompleks dengan NH_3 dan teradsorpsi dalam permukaan mineral yang selanjutnya terkonversi dan stabil dalam ruah larutan dalam bentuk $\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2^{3-}$, sesuai dengan reaksi-reaksi kimia berikut^[6-7]:



Kelebihan-kelebihan penggunaan thiosulfat sebagai reagen pelindi emas dibandingkan sianida yaitu tingkat toksisitasnya yang sangat rendah, dapat melindi bijih dengan berbagai tipe (termasuk bijih kompleks dan *preg-*

robbing), dan memberikan tingkat *recovery* yang tinggi serta kinetika yang lebih cepat dibandingkan proses sianidasi^[3]. Menurut Alymore dan Muir^[4], ekstraksi emas dari bijih tipe sulfida dalam larutan thiosulfat dalam 1 jam dapat mencapai 90%, sementara untuk proses sianidasi diperlukan minimal 24 jam untuk mendapatkan 50% ekstraksi emas dari bijih yang sama.

Salah satu faktor yang masih menjadi kendala pada penerapan proses pelindian bijih emas dengan larutan thiosulfat adalah proses pengambilan kembali emas dari larutan hasil pelindian yang tidak dapat dilakukan secara efektif dengan *adsorbent* yang murah, yaitu karbon aktif. Oleh karena itu, baik metoda *carbon in pulp* (CIP) maupun *carbon in leach* (CIL) belum dapat diterapkan secara komersial untuk pelindian bijih emas dengan larutan thiosulfat sebagaimana diterapkan pada proses sianidasi.

Perolehan kembali emas dari larutan thiosulfat dengan cara sementasi menggunakan serbuk seng (sebagaimana pada proses rekoveri emas dari larutan hasil sianidasi) juga kurang efektif karena konsumsi serbuk seng yang tinggi. Ini disebabkan adanya ion tembaga terlarut yang digunakan sebagai katalis pada proses pelindian dengan thiosulfat (Reaksi 3). Ion tembaga akan bereaksi dengan serbuk seng dan ikut mengendap sehingga mengotori produk presipitat emas-perak yang dihasilkan. Studi-studi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa metoda yang efektif untuk mengambil kembali emas dari larutan thiosulfat adalah dengan menggunakan resin penukar ion^[1,9,11]. Kelebihan resin penukar ion dibandingkan dengan karbon aktif adalah kapasitas adsorpsinya yang cenderung lebih tinggi, laju adsorpsinya yang lebih cepat, mempunyai ketahanan terhadap atrisi yang lebih baik dan tidak perlu dilakukan reaktivasi dengan pemanasan sebagaimana pada karbon aktif^[2]. Dalam paper ini dibahas perilaku adsorpsi emas dari larutan hasil pelindian bijih emas dalam larutan thiosulfat pada karbon aktif komersial dan tiga tipe resin penukar ion (tipe resin basa kuat, resin basa lemah dan resin polimerik bermatriks karbon).

2. PROSEDUR PERCOBAAN

Larutan kaya emas diperoleh dari proses pelindian bijih emas yang berasal dari Pongkor selama 24 jam dengan menggunakan larutan ammonium thiosulfat yang ditambahkan ammonia dan tembaga sulfat. Penambahan

ammonia dan tembaga sulfat adalah sebagai katalis. Pelindian dilakukan pada 40% padatan bijih berukuran -200# sebanyak 333,33 gram pada pH 9,8 ±0,3 konsentrasi tembaga sulfat 0,03 M, dan ammonia 3 M. Setelah dilakukan proses pemisahan padat-cair dengan filtrasi menggunakan kertas saring, diperoleh larutan kaya emas dengan konsentrasi 2,21 ppm.

Serangkaian percobaan adsorpsi emas dari larutan thiosulfat hasil pelindian bijih emas dilakukan dengan menggunakan karbon aktif dan 3 tipe resin penukar ion berbeda yaitu resin Lewatit Monoplus MP800 (mewakili resin basa kuat), resin Guanidine (mewakili resin basa lemah) dan resin Lewatit AF5 (mewakili resin bermatriks karbon). Karbon aktif yang digunakan adalah karbon aktif komersial yang digunakan di Pabrik Pengolahan Emas PT. Antam di Pongkor, Jawa Barat. Karakteristik fisik dan kimia dari 4 jenis *adsorbent* yang digunakan tersebut disajikan dalam Tabel 1. Proses adsorpsi dilakukan dengan metode *resin in solution* (RIS) yaitu dengan cara pengadukan resin di dalam larutan hasil pelindian dengan volume 200 mL menggunakan agitator mekanik vertikal pada kecepatan pengadukan 200 rpm selama 25 jam pada temperatur ruangan.

Pengukuran konsentrasi emas sebelum dan setelah proses adsorpsi dilakukan dengan metode AAS (*atomic absorption spectroscopy*). Selain variasi jenis *adsorbent*, penelitian ini juga dilakukan dengan variasi pH (7, 8 dan 9) dan lamanya proses adsorpsi (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, dan 25 jam).

Setelah data konsentrasi emas dalam keadaan setimbang diketahui, lalu ditentukan kapasitas adsorpsi emas (Q_e) untuk tiap *adsorbent* yang menyatakan berat emas yang dapat teradsorpsi oleh resin dengan satuan mg-Au/g-resin. Berat emas yang teradsorpsi pada resin ditentukan dari selisih antara berat awal emas terlarut dalam larutan dengan berat emas terlarut pada keadaan setimbang dikalikan dengan volume larutan. Perhitungan kapasitas adsorpsi emas oleh resin (Q_e) ditentukan dengan persamaan berikut^[8]:

$$Q = \frac{(C - C_t)}{m} \cdot V \quad (6)$$

Adapun C_i dan C_t menyatakan konsentrasi awal dan konsentrasi emas setelah dicapai kesetimbangan dalam larutan (mg/L), m menyatakan berat resin (g) dan V menyatakan volume larutan (L).

Tabel 1. Data karakteristik sifat fisik dan kimia *adsorbent*^[8]

Adsorban	Karbon Aktif	AF5	MP800	Guanidine
Matriks	Karbon	Karbon	<i>Crosslinked polystyrene</i>	<i>Crosslinked polystyrene</i>
Gugus Fungsional	-	-	<i>Quaternary amine, type I</i>	<i>Strong basic selective</i>
Ukuran partikel (mm)	6	0,4 – 0,8	0,62	0,7
Diameter pori (mm)	-	8×10^{-6}	-	-
Massa jenis ruah (g/L)	500 - 530	550 – 650	620	710
Luas permukaan (m ² /g)	1000 - 1100	1200	-	-

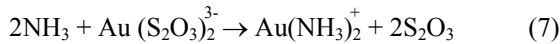
3. HASIL DAN DISKUSI

A. Persen Adsorpsi Emas Pada Karbon Aktif dan Tiga Tipe Resin Penukar Ion

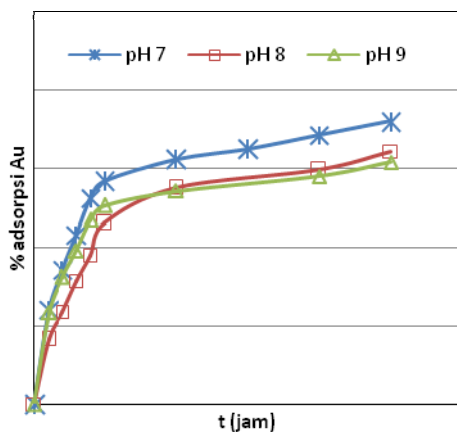
Adsorpsi emas dari larutan hasil pelindian bijih emas dalam ammonium thiosulfat dengan karbon aktif tidak menunjukkan tingkat perolehan yang memadai. Persen adsorpsi emas maksimum pada karbon aktif yang diperoleh hanya 72,1%, yaitu pada pH 7. Bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang mempelajari adsorpsi Au dari larutan sianida^[8], persen adsorpsi Au pada karbon aktif untuk larutan thiosulfat ini signifikan lebih rendah dan menunjukkan bahwa afinitas karbon terhadap $(Au(S_2O_3)_2)^{3-}$ lebih rendah

dibandingkan terhadap kompleks $Au(CN)_2$ yang dihasilkan dari pelindian emas dalam larutan sianida^[8]. Penelitian sebelumnya oleh Mubarok dan Blassmara^[8] menunjukkan tingkat adsorpsi > 90% pada percobaan adsorpsi Au dari larutan hasil pelindian sianidasi dengan karbon aktif komersial sejenis yang digunakan pada penelitian ini. Profil persen adsorpsi Au dari larutan hasil pelindian dengan thiosulfat sebagai fungsi pH larutan ditunjukkan dalam Gambar 1. Adsorpsi yang dilakukan pada pH 7 menghasilkan persen perolehan Au yang lebih tinggi dibandingkan adsorpsi pada pH 8 dan 9. Pada percobaan yang dilakukan, peningkatan pH dilakukan dengan

penambahan NH_3 ke dalam larutan yang diaduk bersama-sama dengan *adsorbent*. Penurunan persen adsorpsi Au dengan peningkatan pH dari 7 sampai 9 kemungkinan disebabkan oleh konversi sebagian $(\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2)^{3-}$ menjadi $\text{Au}(\text{NH}_3)_2^+$ yang bersifat tidak dapat teradsorpsi oleh karbon aktif. Konversi $(\text{Au}(\text{S}_2\text{O}_3)_2)^{3-}$ menjadi $\text{Au}(\text{NH}_3)_2^+$ berlangsung melalui reaksi berikut^[6]:



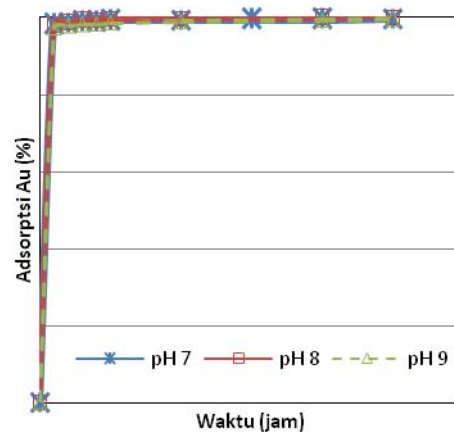
Pada dasarnya, karbon aktif adalah penukar anion, yaitu menukarkan ion OH^- sehingga apabila sebagian anion kompleks tersebut di atas terkonversi menjadi kation, maka tidak akan teradsorpsi oleh karbon aktif. Reaksi adsorpsi Au dari larutan thiosulfat oleh karbon aktif adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Persen adsorpsi emas sebagai fungsi waktu dalam selang pH 7-9 pada karbon aktif

Resin penukar ion menunjukkan performa adsorpsi emas yang lebih baik dibandingkan karbon aktif. Adsorpsi emas tertinggi ditunjukkan oleh resin tipe basa kuat yaitu Lewatit Monoplus MP 800. Persen adsorpsi emas sebagai fungsi waktu dalam selang pH 7-9 pada resin Lewatit Monoplus MP800 disajikan pada Gambar 2. Terlihat bahwa resin Lewatit Monoplus MP800 cukup efektif mengadsorpsi emas dari larutan thiosulfat yaitu dengan waktu adsorpsi 2 jam telah diperoleh persen adsorpsi $> 97\%$, pada semua rentang pH yang diuji. Persen adsorpsi Au tertinggi sebesar 100% diperoleh setelah 25 jam pada pH 8, sementara pada pH 7 dan 9 diperoleh persen adsorpsi Au tertinggi masing-masing $99,6\%$ dan $99,3\%$ setelah 25 jam. Hasil percobaan juga menunjukkan bahwa variasi pH dalam selang 7-9 tidak mempengaruhi adsorpsi Au

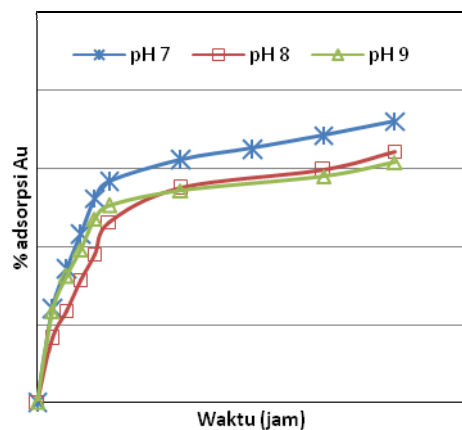
pada Resin Lewatit Monoplus MP800 dan kurva persen adsorpsi Au terhadap Au pada ketiga pH berimpit. Dengan karakteristik resin ini yang efektif beroperasi pada kondisi yang basa, tidak diperlukan pengaturan pH karena pada dasarnya larutan hasil pelindian thiosulfat berada dalam selang pH yang basa.



Gambar 2. Persen adsorpsi emas sebagai fungsi waktu dalam selang pH 7-9 pada resin Lewatit Monoplus MP800

Resin basa lemah (Guanidine) menunjukkan persen adsorpsi Au yang lebih rendah dibandingkan dengan resin basa kuat Lewatit Monoplus MP800. Adsorpsi emas pada resin basa lemah ini cenderung menurun dengan peningkatan pH. Hasil percobaan ini berkesesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Nicol dan Malley^[9], yang menggunakan jenis resin basa kuat dan basa lemah yang berbeda. Hasil percobaan yang menunjukkan adsorpsi emas pada resin Guanidine sebagai fungsi waktu pada selang pH 7-9 ditunjukkan dalam Gambar 3. Persen adsorpsi Au setelah 25 jam pada pH 7,8 dan 9 masing-masing sebesar $84,9\%$, $86,1\%$ dan $83,2\%$. Persen adsorpsi emas yang lebih rendah pada resin tipe basa lemah dibandingkan tipe basa kuat berkaitan dengan karakteristik *functional amine groups* yang cenderung tetap dalam bentuk terikat di dalam larutan yang bersifat basa dan aktivasi gugus fungsi ammonia ini membutuhkan pH yang lebih asam^[8]. Namun demikian, hasil percobaan tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan karena selang pH yang digunakan tidak terlalu lebar. Tidak dilakukan percobaan pada kondisi yang lebih asam karena pada pH yang rendah akan terjadi dekomposisi thiosulfat menjadi tetrathionate dan trithionate ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-} \rightarrow \text{S}_4\text{O}_6^{2-} \rightarrow \text{S}_3\text{O}_6^{2-}$)^[1,7]. Berdasarkan hasil-hasil percobaan yang telah dilakukan, tidak disarankan untuk menggunakan resin tipe basa lemah untuk

mengambil emas dari larutan hasil pelindian dalam larutan thiosulfat.

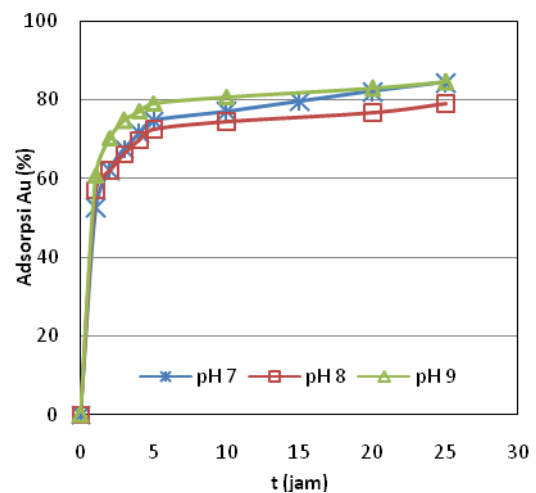


Gambar 3. Persen adsorpsi emas sebagai fungsi waktu dalam selang pH 7-9 pada resin Guanidine

Profil persen adsorpsi emas sebagai fungsi waktu dalam selang pH 7-9 pada resin Lewatit AF5 yang merupakan jenis resin dengan matriks karbon disajikan pada Gambar 4. Terlihat bahwa resin dengan matriks karbon kurang efektif digunakan untuk mengadsorpsi emas dari larutan thiosulfate. Persen adsorpsi Au tertinggi yang diperoleh pada pH 7, 8 dan 9 masing-masing 84,4%, 79,1% dan 84,4%. Sebagaimana pada karbon aktif, persen adsorpsi yang rendah ini diyakini karena afinitas kompleks $Au(S_2O_3)_2^{3-}$ terhadap karbon dalam resin yang rendah. Namun demikian, bila dibandingkan dengan karbon aktif, persen adsorpsi pada resin dengan matriks karbon ini masih lebih tinggi karena ukuran partikel resin Lewatit AF 5 yang lebih halus dibandingkan karbon aktif (Tabel 1). Ukuran partikel resin yang lebih halus memberikan luas permukaan adsorpsi yang lebih besar sehingga persen adsorpsi Au lebih tinggi pada waktu proses yang sama. Tidak didapatkan perbedaan yang signifikan persen adsorpsi Au pada rentang pH yang divariasikan dalam percobaan (7-9).

B. Kapasitas Adsorpsi Adsorben

Kapasitas adsorpsi emas (Q_e) menyatakan jumlah maksimum emas yang dapat diadsorpsi oleh resin dan karbon aktif pada keadaan setimbang yaitu kondisi pada saat tidak lagi terjadi perubahan konsentrasi emas dalam larutan dan perubahan berat emas yang teradsorpsi. Hasil-hasil percobaan menunjukkan bahwa untuk ketiga tipe resin, kondisi kesetimbangan dicapai setelah 25 jam, sementara untuk karbon aktif walaupun proses telah dilakukan lebih dari 25 jam namun belum tercapai keadaan kesetimbangan.



Gambar 4. Persen adsorpsi emas sebagai fungsi waktu dalam selang pH 7-9 pada resin Lewatit AF5

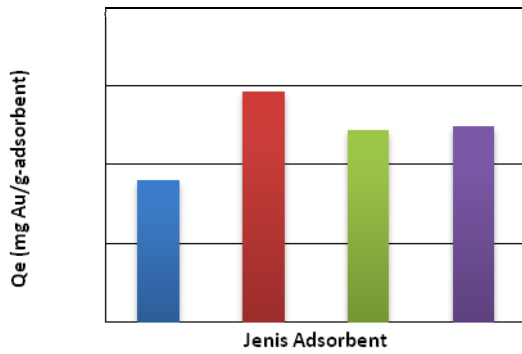
Resin tipe basa kuat Lewatit Monoplus MP800 mempunyai kapasitas adsorpsi yang paling tinggi dibandingkan ketiga jenis adsorben lainnya, yaitu sebesar 0,0586 mg Au/g-resin. Resin basa lemah (Guanidine) dan resin bermatriks polimer karbon Lewatit AF 5 mempunyai kapasitas adsorpsi yang hampir sama yaitu 0,0490 dan 0,0498 mg-Au/g-resin, sementara karbon aktif menunjukkan kecenderungan kapasitas adsorpsi yang paling rendah, yaitu 0,0363-mgAu/g-karbon. Perbandingan kapasitas adsorpsi ketiga jenis resin dan karbon aktif pada pH 9 diilustrasikan pada Gambar 5. Kapasitas adsorpsi resin tipe basa kuat tidak bergantung pada pH, sebaliknya kapasitas adsorpsi resin tipe basa lemah sedikit menurun dengan meningkatnya pH dari 7-9 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.

C. Laju Adsorpsi

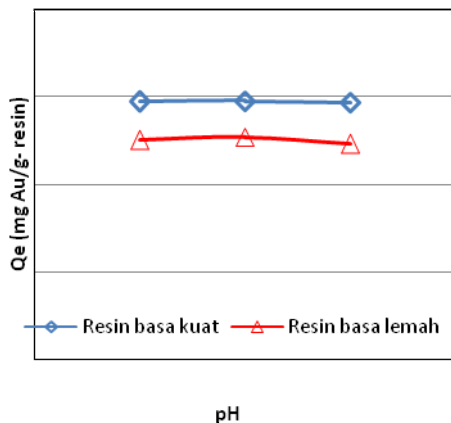
Bila kapasitas adsorpsi resin menunjukkan jumlah logam yang dapat diadsorpsi dari larutan per satuan berat tertentu resin, laju adsorpsi menunjukkan waktu yang dibutuhkan hingga proses adsorpsi mencapai kesetimbangan.

Laju adsorpsi emas ditunjukkan oleh laju penurunan konsentrasi emas dalam larutan sebagai fungsi waktu hingga dicapai keadaan kesetimbangan (tidak terjadi perubahan lagi konsentrasi emas dalam larutan).

Laju penurunan konsentrasi emas dalam larutan ini seiring dengan laju peningkatan massa logam yang teradsorpsi dalam fasa *adsorbent*. Analisis laju adsorpsi dilakukan dari data-data percobaan adsorpsi dengan konsentrasi awal emas dalam larutan 2,21 ppm pada temperatur kamar dalam selang pH 7 – 9 selama 25 jam.

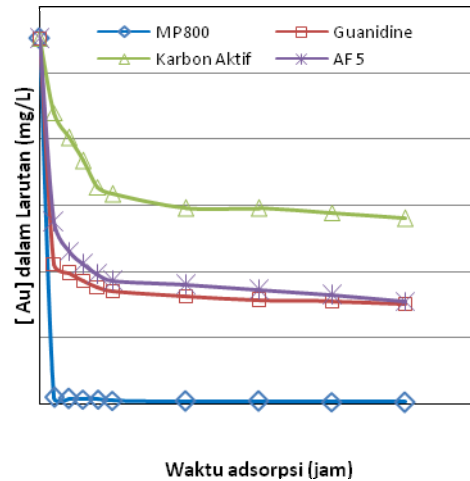


Gambar 5. Perbandingan kapasitas adsorpsi ketiga jenis resin dan karbon aktif pada pH 9

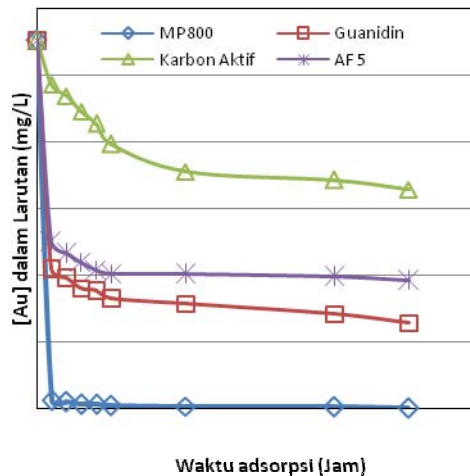


Gambar 6. Kapasitas adsorpsi resin tipe basa kuat dan resin tipe basa lemah pada pH 7-9

Profil penurunan konsentrasi emas dalam larutan sebagai fungsi waktu (t) untuk semua jenis *adsorbent* pada masing-masing pH disajikan pada Gambar 7 – Gambar 9. Terlihat bahwa laju adsorpsi emas yang paling tinggi ditunjukkan oleh resin basa kuat Lewatit Monoplus MP800 diikuti oleh resin basa lemah Guanidine, resin bermatriks karbon Lewatit AF 5 (kecuali pada pH 9) dan karbon aktif. Pada pH 9, laju adsorpsi resin Lewatit AF 5 relatif sama dengan resin Guanidine. Pada selang pH 7-9 resin Lewatit Monoplus MP800 dan resin Guanidine menunjukkan laju adsorpsi yang cepat pada 3 jam pertama dan sesudahnya cenderung melambat. Sementara, pada karbon aktif dan resin Lewatit AF 5, laju adsorpsi berlangsung cepat pada 5 jam pertama dan sesudahnya cenderung melambat.



Gambar 7. Profil konsentrasi emas dalam larutan sebagai fungsi waktu pada pH 7

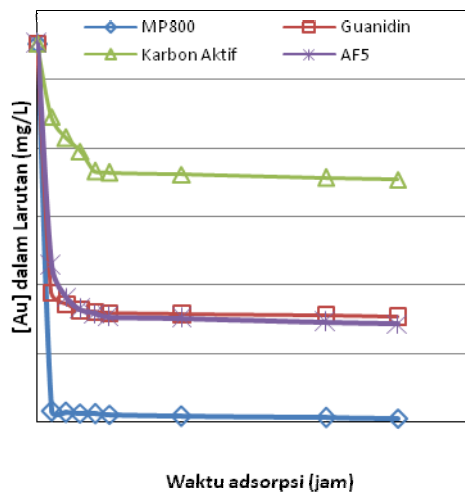


Gambar 8. Profil konsentrasi emas dalam larutan sebagai fungsi waktu pada pH 8

Menurut Zaimawati (2005)^[10], laju adsorpsi logam pada resin penukar ion dapat terkendali oleh tahap-tahap proses berikut:

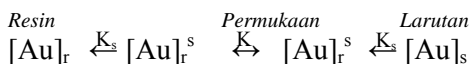
1. Difusi melalui film larutan yang terdapat pada permukaan partikel resin (*film diffusion*)
2. Difusi melalui partikel resin (*partickel diffusion*)
3. Reaksi pertukaran ion pada gugus fungsional dalam partikel resin

Pada tulisan ini, laju adsorpsi emas dalam larutan thiosulfat didekati dengan model yang digunakan oleh O'Malley^[11] untuk membandingkan laju adsorpsi emas oleh keempat jenis *adsorbent* dalam selang pH 7-9.



Gambar 9. Profil konsentrasi emas dalam larutan sebagai fungsi waktu pada pH 9

Menurut O'Malley^[11], kesetimbangan akan terbentuk antara emas dalam larutan *aqueous* dan emas yang berada dalam fasa resin melalui proses difusi emas yang teradsorpsi menuju ruah partikel resin sesuai dengan skema berikut:



Subscript r dan s masing-masing menyatakan fasa resin dan fasa larutan *aqueous* dan *superscript*; s menyatakan konsentrasi Au pada permukaan partikel resin. Kondisi kesetimbangan pada permukaan dapat dinyatakan dengan persamaan sederhana isotherm adsorpsi linier berikut^[11]:

$$[Au]_r^s = K[Au]_s \quad (9)$$

Simbol K menyatakan konstanta kesetimbangan, $[Au]_r^s$ konsentrasi Au pada permukaan partikel resin dan $[Au]_s^s$ adalah konsentrasi Au dalam larutan pada permukaan resin.

Untuk percobaan adsorpsi *batch* seperti yang dilakukan pada penelitian ini laju pengurangan emas dari larutan yang ekuivalen dengan laju pemuatan resin dapat dinyatakan dengan persamaan berikut^[11]:

$$-\frac{d[Au]_s}{dt} = A \frac{V_r}{V_s} k_s ([Au]_s^s - [Au]_s) \quad (10)$$

Simbol A adalah luas permukaan resin (m^2), V_r adalah volume resin (m^3), V_s volume larutan (m^3) dan k_s adalah konstanta perpindahan massa melalui larutan (m^2/s).

Persamaan neraca massa emas pada berbagai waktu (t) pada percobaan adsorpsi batch dapat dituliskan sebagai berikut^[11]:

$$[Au]_r V_r = ([Au]_{s,o} - [Au]_s) V_s \quad (11)$$

dengan $[Au]_{s,o}$ dan $[Au]_s$ masing-masing adalah konsentrasi Au dalam larutan pada waktu $t = 0$ dan $t = t$. Persamaan (10) dapat diintegrasikan dengan syarat batas $[Au]_{s,o}$ dan $[Au]_s$ pada $t = 0$ bernilai 0 sehingga diperoleh persamaan berikut^[11]:

$$\ln \left[\frac{[Au]_{s,o} - B}{[Au]_s - B} \right] = kA \left[\frac{KV_r}{V_s} + 1 \right] t \quad (12)$$

Simbol $B = V_s[Au]_{s,o}/(KV_r + V_s) = [Au]_{s,e}$ = konsentrasi emas dalam larutan pada keadaan setimbang dan $k = k_s k_r / (k_s + k_r K)$. Persamaan (12) dapat disederhanakan menjadi dalam bentuk:

$$\ln \left[\frac{[Au]_{s,o} - [Au]_{s,e}}{[Au]_s - [Au]_{s,e}} \right] = k' t, \quad (13)$$

$$\text{dengan } k' = kA \left[\frac{KV_r}{V_s} + 1 \right] \quad (14)$$

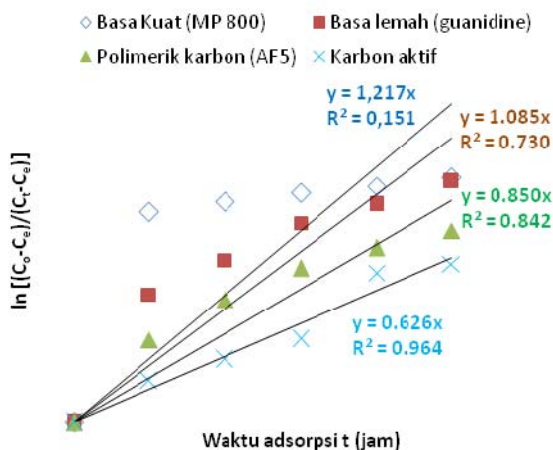
Apabila dinyatakan dalam basis konsentrasi Au dalam fasa resin, Persamaan (13) dapat dituliskan dalam bentuk^[11]:

$$\ln \frac{[Au]_{r,e}}{[Au]_{r,e} - [Au]_{r,t}} = k' t \quad (15)$$

Simbol $[Au]_{r,e}$ dan $[Au]_{r,t}$ masing-masing adalah konsentrasi emas dalam resin pada keadaan kesetimbangan dan pada waktu t.

Pengaluran antara harga-harga $\ln [(C_o - C_e)/(C_r - C_e)]$ terhadap 3 jenis resin dan karbon aktif pada pH 9 ditunjukkan dalam Gambar 10. Pengaluran hanya dilakukan pada 5 jam pertama karena setelah 5 jam laju adsorpsi Au pada keempat jenis *adsorbent* sudah melambat, dengan $[Au]_{s,o}$ pada Persamaan (15) dinotasikan C_o ; $[Au]_{s,e}$ dinotasikan C_e ; dan $[Au]_s$ dinotasikan C_r . Terlihat bahwa laju adsorpsi pada resin basa kuat (MP 800) paling cepat yang diindikasikan oleh gradien garis yang paling besar (1,217) diikuti oleh resin basa lemah (1,085), resin polimerik bermatriks karbon (0,850) dan karbon aktif (0,626). Korelasi linier antara $\ln [(C_o - C_e)/(C_r - C_e)]$ terhadap waktu (t) untuk resin basa kuat

(yang diindikasikan oleh harga R^2) tidak mendekati 1 karena adsorpsi emas dari larutan thiosulfat pada resin basa kuat MP 800 ini berlangsung sangat cepat pada 1 jam pertama. Kecenderungan laju adsorpsi pada pH 8 dan 7 dan harga kuadrat koefisien korelasi (R^2) dari pengaluran $\ln [(C_0 - C_e)/(C_t - C_e)]$ terhadap waktu (t) mirip dengan kecenderungan data pada pH 9 dan tidak ditampilkan pada paper ini.



Gambar 10. Pengaluran antara $\ln [(C_0 - C_e)/(C_t - C_e)]$ vs. t yang menunjukkan laju adsorpsi Au pada 4 jenis adsorbent pada pH 9

4. KESIMPULAN

Emas dalam larutan hasil pelindian bijih emas dalam larutan ammonium thiosulfat dapat diperoleh kembali dengan efektif menggunakan resin penukar ion tipe basa kuat Lewatit Monoplus MP 800. Dalam rentang pH 7-9, persen adsorpsi Au pada resin basa kuat Lewatit Monoplus MP800 melebihi 97% setelah 2 jam dan mencapai level maksimum 100% setelah 25 jam pada pH 8. Karbon aktif tidak menunjukkan performa yang memadai untuk mengambil kembali Au dari larutan thiosulfat dengan persen adsorpsi Au tertinggi setelah 25 jam kurang dari 80% dalam rentang pH 7-9. Resin basa kuat Lewatit Monoplus MP 800 menunjukkan kapasitas adsorpsi Au paling tinggi dan laju adsorpsi paling cepat diikuti oleh resin basa lemah Guanidine, resin polimerik bermatriks karbon AF5 dan karbon aktif dalam rentang pH 7-9.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada PT. Antam, Tbk. yang telah memberikan sampel bijih emas yang digunakan untuk pelindian yang menghasilkan larutan kaya emas untuk percobaan adsorpsi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Grosse, A. et al, "Leaching and Recovery of Gold Using Ammoniacal Thiosulfate Leach Liquors (A review)," *Hydrometallurgy.*, Vol. 69, No. 1, 2003.
- [2] Zhang, X., "The Dissolution of Gold Colloids in Aqueous Thiosulfate Solutions," Ph.D thesis, Murdoch University, Western Australia, 2008.
- [3] Marsden, J. and House, C.L., "Chemistry of Gold Extraction. 2nd ed.," *Society for Mining, Metallurgy and Exploration*, 2006.
- [4] Aylmore, M.G., and Muir, D.M., "Thiosulfate leaching of gold - A Review," *Minerals Engineering.*, Vol. 14, Issue 2, pp. 135-174, 2001.
- [5] Aylmore, M. G., and Muir, D. M., "Thermodynamic Analysis of Gold Leaching by Ammoniacal Thiosulfate Using Eh/pH and Speciation Diagram," *Minerals & Metallurgical Processing.*, Vol. 18 (4), pp. 221-227, 2001.
- [6] Zhang, S. and Nicol, M.J, "An Electrochemical Study of the Dissolution of Gold in Thiosulfate Solutions. Part I: Alkaline solutions," *Journal of Applied Electrochemistry.*, Vol. 33, pp. 767-775, 2003.
- [7] Zhang, S. and Nicol, M.J, "An Electrochemical Study of the Dissolution of Gold in Thiosulfate Solutions. Part II: Effect of Copper," *Journal of Applied Electrochemistry.*, Vol. 35, pp. 339-345, 2005.
- [8] M.Z. Mubarak and K. Blassmara, "Gold Adsorption Behaviour Onto Activated Carbon and Some Anion Exchanger Resins," *Proceeding of The Third International Symposium on Novel Carbon Resource Sciences: Advanced Materials, Processes and Systems towards CO₂ Mitigation.*, November 2-3, 2009, Fukuoka, Japan, 2009.
- [9] Nicol, M.J. and Malley, G.O, "Recovering Gold from Thiosulfate Leach Pulps via Ion Exchange," *Journal of Metals (JOM).*, pp. 44-46, 2002.
- [10] Zaimawati, Z, "The Development of a Resin in Pulp Process for the Recovery of Nickel and Cobalt from Laterite Leach Slurries," Ph.D, thesis, Murdoch University, Western Australia, 2005.
- [11] O'Malley, G.P, "Recovery of Gold from Thiosulfate Solutions and Pulps with Anion- Exchange Resins," Ph.D, thesis,

Murdoch University, Western Australia,
2002.

