

PENGENDAPAN TEMBAGA DARI LARUTAN TEMBAGA SULFAT DENGAN CARA SEMENTASI MENGGUNAKAN BESI

Rudi Subagja

Pusat Penelitian Metalurgi dan Material – LIPI
Gedung 470, Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan
E-mail : rudibagja@yahoo.com

Masuk tanggal : 12-06-2014, revisi tanggal : 04-07-2014, diterima untuk diterbitkan tanggal : 18-07-2014

Intisari

PENGENDAPAN TEMBAGA DARI LARUTAN TEMBAGA SULFAT DENGAN CARA SEMENTASI MENGGUNAKAN BESI. Pada penelitian ini disampaikan hasil percobaan sementasi tembaga dari larutan tembaga sulfat oleh besi. Percobaan dilaksanakan dalam skala laboratorium dengan menggunakan reaktor gelas yang mempunyai kapasitas 1 liter. Variabel percobaan yang diamati meliputi : kecepatan pengadukan dari 50 RPM sampai 300 RPM, penambahan besi dari 0,5 sampai 3 kali reaksi stoikiometri, temperatur sementasi dari 30 °C sampai 70 °C, waktu reaksi dari 15 menit sampai 120 menit. Hasil percobaan memperlihatkan bahwa sementasi tembaga dari larutan tembaga sulfat oleh besi tidak dipengaruhi oleh perubahan kecepatan pengadukan, penambahan besi optimum untuk proses sementasi tembaga adalah 2 reaksi stoikiometri, % tembaga yang terendapkan dari larutan tembaga sulfat meningkat bila temperatur sementasi dinaikkan dari 30 °C menjadi 45 °C, atau waktu reaksi diperpanjang dari 15 menit menjadi 30 menit.

Kata kunci : Sementasi, Tembaga sulfat, Tembaga, Besi

Abstract

COPPER CEMENTATION FROM COPPER SULPHATE SOLUTION BY USING IRON. *The experimental result of copper cementation from copper sulphate solution by using iron is presented. The experiment was carried out at laboratory scale by using 1 litter capacities glass reactor. The variables for experiment are covering: agitation speed from 50 RPM to 300 RPM, Iron addition from 0.5 to 3 stoichiometry reaction, cementation temperatures from 30 °C to 70 °C, and reaction time from 15 minutes to 120 minutes. The result of experiment shows that: the cementation of copper from copper sulphate solutions by iron was not affected by agitation speed, the optimum addition of iron for copper cementation is 2 stoichiometry reaction, % copper precipitated from copper sulphate solution increased either when the cementation temperature were increased from 30 °C to 45 °C or reaction time were extended from 15 minutes to 30 minutes.*

Keywords: Cementation, Copper sulphate, Copper, Iron

PENDAHULUAN

Cadangan tembaga dunia cenderung makin berkurang seiring dengan makin meningkatnya konsumsi logam tembaga di dunia, sehingga bijih tembaga kadar rendah mulai mendapatkan perhatian untuk digunakan sebagai bahan baku alternatif pada proses pembuatan tembaga^[1-2]. Salah satu bijih tembaga kadar rendah yang dimiliki Indonesia adalah malachite, bijih oksida yang mempunyai rumus kimia ($\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), dapat digunakan sebagai sumberdaya mineral alternatif untuk

membuat tembaga. Bijih malachite terdapat di beberapa tempat di Indonesia diantaranya di Kabupaten Buol dan beberapa daerah di Sulawesi Selatan^[3-5].

Untuk mendapatkan logam tembaga dari malachite yang mempunyai kadar tembaga rendah, pendekatan proses metalurgi hidro umumnya lebih banyak digunakan, dan beberapa kegiatan penelitian untuk mendapatkan logam tembaga dari malachite telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Bingol yang mempelajari

kinetika reaksi pelarutan malachite dalam asam sulfat^[6], Xi Wang yang mempelajari kelarutan malachite dalam larutan ammoniak ammonium klorida^[7], D. Bingola yang mempelajari kinetika pelarutan malachite dalam larutan ammoniak ammonium karbonat^[8], termasuk penulis yang telah melakukan penelitian pelarutan malachite dari daerah Banten dalam asam sulfat^[9]. Penelitian lainnya terkait dengan pelarutan tembaga dari bijih tembaga oksida dilakukan oleh J.H Canterford yang mempelajari pengaruh ion besi falensi tiga terhadap pelarutan tembaga dari bijih tembaga oksida^[10]. Dari hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa tembaga dapat dilarutkan kedalam larutan asam sulfat, larutan ammonium amonium klorida, atau ammonia/ammonium karbonat. Permasalahan yang kemudian muncul setelah proses pelarutan tembaga adalah bagaimana untuk mendapatkan logam tembaga dari larutannya.

Ada beberapa alternatif proses yang dapat digunakan untuk mengendapkan tembaga dari larutannya misalnya pengendapan tembaga sebagai sulfida, hidroksida, reduksi dengan gas, pengendapan tembaga dengan cara elektrowinning, dan beberapa cara lainnya, namun secara umum proses yang dikembangkan untuk mengendapkan tembaga dari larutannya adalah dengan cara sementasi menggunakan besi, terutama untuk larutan yang mempunyai kandungan tembaga rendah^[11]. Sementasi, merupakan suatu proses elektrokimia dimana ion logam yang terdapat dalam larutan direduksi oleh logam lain (sebagai logam korban) yang mempunyai sifat lebih elektro positif. Proses sementasi telah dikenal sejak lama untuk menghilangkan ion ion logam beracun dari larutan, dan pada saat ini masih tetap digunakan dalam metalurgi hidro, pengolahan limbah yang mengandung ion logam dan proses pemurnian.

Penelitian tentang sementasi tembaga telah banyak dilakukan oleh beberapa

peneliti terdahulu. Penelitian tersebut umumnya diarahkan untuk mempelajari kinetika reaksi pengendapan tembaga dengan menggunakan beberapa logam korban (seng, aluminium, dan besi), proses perpindahan masa pada saat proses sementasi, dan penelitian penelitian untuk mempelajari pengaruh beberapa variabel penting lainnya yang dapat mempengaruhi proses sementasi tembaga, seperti pengaruh penambahan bahan aditif zat organik alkohol dan lain lain^[12-19].

Dari hasil hasil penelitian para peneliti terdahulu dapat diketahui bahwa reaksi sementasi tembaga dikendalikan oleh proses difusi^[13,15-16,18], dan pemakaian besi sebagai logam korban untuk mengendapkan tembaga dari larutannya akan lebih ekonomis bila dibandingkan dengan pemakaian logam seng atau aluminium. Reaksi sementasi tembaga oleh aluminium berlangsung lambat karena terbentuknya lapisan oksida pada permukaan aluminium yang menghambat proses sementasi. Bila dibandingkan dengan seng, untuk proses sementasi tembaga, konsumsi besi hanya ¼ dari logam seng^[14]. Tingginya konsumsi seng dibanding besi karena pada saat sementasi menggunakan seng terjadi pembentukan gas hidrogen yang meningkatkan konsumsi seng. Untuk menghindari pembentukan gas hidrogen Zaabar dan kawan kawan menambahkan bahan organik *Urtica dioica* L yang dapat berperan sebagai inhibitor untuk mencegah terbentuknya gas hidrogen^[19].

Guna mempelajari proses sementasi tembaga dari larutan tembaga sulfat hasil proses pelarutan malachite dalam larutan asam sulfat, pada penelitian ini dipelajari pengaruh kecepatan pengadukan, penambahan besi, temperatur dan waktu terhadap proses sementasi tembaga dari larutan tembaga sulfat hasil proses pelarutan bijih malachite dalam larutan asam sulfat.

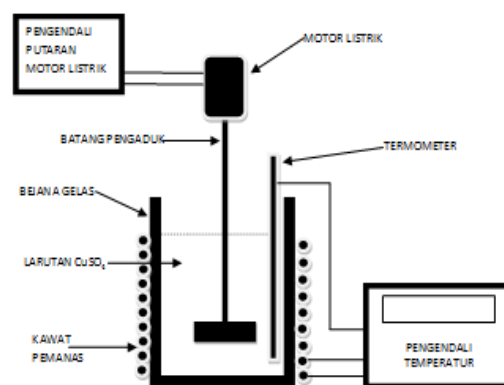
PROSEDUR PERCOBAAN

Bahan baku percobaan

Bahan baku yang digunakan dalam percobaan terdiri dari larutan tembaga sulfat hasil proses pelarutan bijih malachite yang mempunyai kandungan tembaga 18 gram/liter dan besi 3 gram/liter. Sedangkan besi yang digunakan adalah besi sekrap.

Peralatan percobaan

Gambar 1 memperlihatkan skema peralatan yang dipergunakan dalam percobaan. Peralatan ini terdiri dari bejana gelas kapasitas 1 liter yang dilengkapi dengan pemanas listrik, pengendali temperatur, dan pengaduk yang digerakan oleh motor listrik. Percobaan dilakukan dengan cara memasukkan 600 ml larutan tembaga sulfat kedalam bejana gelas 1 liter. Larutan kemudian dipanaskan menggunakan pemanas listrik yang dipasang menyelimuti bejana gelas. Dari saat larutan mulai dipanaskan, larutan diaduk dengan batang pengaduk yang digerakan motor listrik pada kecepatan putaran tertentu. Setelah temperatur yang diinginkan tercapai kedalam larutan ditambahkan sekrap besi dengan berat tertentu. Percobaan dilakukan dalam selang waktu tertentu. Setelah percobaan selesai, larutan dikeluarkan dari bejana gelas, padatan tembaga yang terbentuk dipisahkan dari larutan dengan cara penyaringan. Kandungan besi dan tembaga dalam larutan kemudian dianalisis dengan menggunakan alat spektroskopi serapan atom AAS (*atomic absorption spectrophotometry*), sedangkan beberapa padatan yang terbentuk dianalisis struktur mikronya dengan menggunakan SEM (*scanning electron microscopy*).



Gambar 1. Skema alat percobaan pengendapan tembaga

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Kecepatan Pengadukan

Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap proses pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat dipelajari pada temperatur 60 °C, waktu pengendapan 1 jam dan jumlah besi sekrap yang ditambahkan kedalam larutan tembaga sulfat adalah 2 kali stoichiometri dari jumlah besi yang diperlukan untuk mengendapkan tembaga secara teoritis sesuai reaksi 3. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 2(a) untuk pengendapan tembaga dan Gambar 2(b) untuk jumlah berat besi yang larut ke dalam larutan tembaga sulfat untuk masing-masing kecepatan putaran. Pada percobaan ini sebagai ukuran keberhasilan proses sementasi tembaga dinyatakan dengan % berat Cu terendapkan sebagaimana dinyatakan oleh persamaan 1 berikut :

$$\% \text{ berat Cu terendapkan} = \frac{[\text{Cu}]_p}{[\text{Cu}]_A} \times 100 \% \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

$[\text{Cu}]_p$ = jumlah berat tembaga yang mengendap dari larutan tembaga sulfat

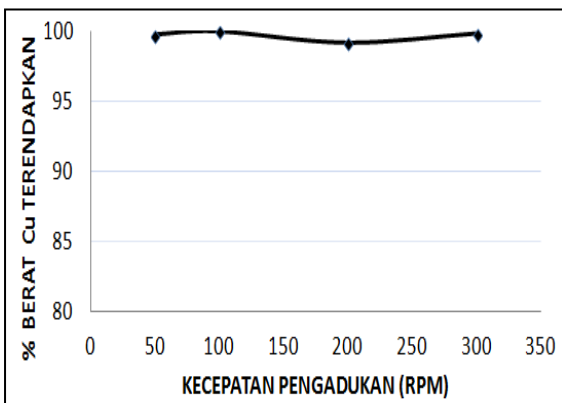
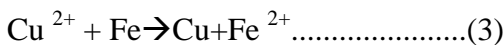
$[\text{Cu}]_A$ = jumlah berat tembaga awal dalam larutan sebelum proses sementasi

Sedangkan % berat Fe terlarut merupakan perbandingan jumlah berat besi yang larut ke dalam larutan tembaga sulfat

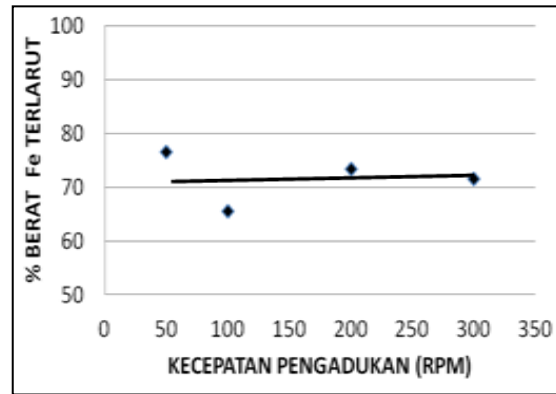
[Fe]_D dibandingkan dengan jumlah berat sekrap yang ditambahkan ke dalam larutan tembaga sulfat [Fe]_T dikali 100 % sebagaimana dinyatakan oleh persamaan 2 berikut:

$$\% \text{ berat Fe terlarut} = \frac{[\text{Fe}]_D}{[\text{Fe}]_T} \times 100 \% \dots\dots\dots (2)$$

Dari data hasil percobaan pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa kenaikan kecepatan pengadukan dari 50 putaran per menit (RPM) menjadi 300 RPM tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap % pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat. Disisi lain dari Gambar 2(b) dapat dilihat bahwa jumlah berat logam besi terlarut juga hampir konstan pada seluruh kecepatan pengadukan. Jumlah berat besi terlarut terjadi sebagai akibat dari adanya reaksi pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat oleh logam besi sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi 3 berikut:



(a)



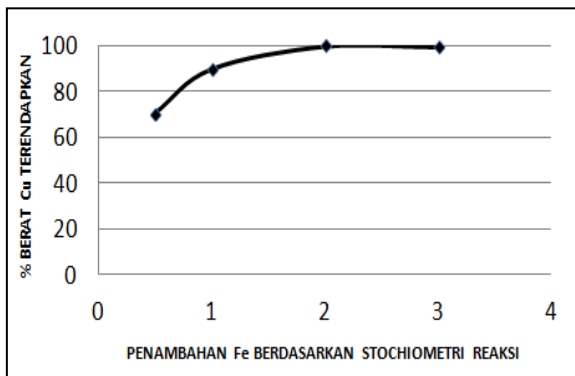
(b)

Gambar 2. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap (a) % pengendapan tembaga, (b) % berat kelarutan besi

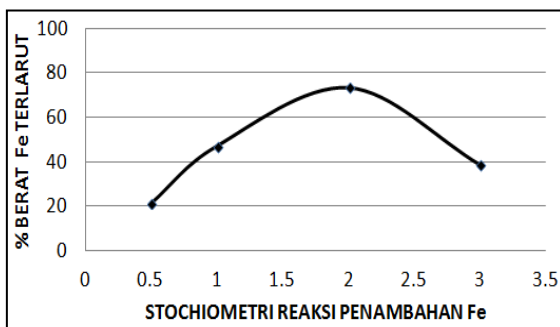
Akibat dari reaksi tersebut maka jumlah berat logam besi yang larut cenderung konstan sebanding dengan jumlah berat tembaga yang mengendap. Sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2(b) dimana jumlah berat besi yang larut mencapai sekitar 70 % dari jumlah sekrap yang ditambahkan, dan jumlahnya relatif konstan, tidak dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan.

2. Pengaruh Penambahan Besi Terhadap Pengendapan Tembaga

Pengaruh penambahan besi sekrap terhadap pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat, dipelajari pada temperatur 60 °C, kecepatan pengadukan 200 RPM, waktu pengendapan selama 1 jam dan jumlah besi sekrap yang ditambahkan divariasikan dari 0,5 stoichiometri reaksi sampai dengan 3 kali stoichiometri reaksi. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 3(a) dan 3(b), dimana Gambar 3(a) memperlihatkan pengaruh penambahan besi sekrap terhadap % pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat dan Gambar 3(b) memperlihatkan pengaruh penambahan jumlah besi sekrap terhadap % kelarutan besi.



(a)



(b)

Gambar 3. Pengaruh penambahan Fe terhadap (a) % pengendapan tembaga, (b) % berat kelarutan besi

Dari data hasil percobaan pada Gambar 3(a) dapat dilihat bahwa kenaikan penambahan berat besi sekrap kedalam larutan tembaga sulfat dari 0,5 reaksi stoikiometri menjadi 2 reaksi stoikiometri menyebabkan kenaikan % berat tembaga yang mengendap dari larutan tembaga sulfat. Akan tetapi kenaikan penambahan besi sekrap lebih lanjut dari 2 reaksi stoikiometri menjadi 3 reaksi stoikiometri tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat. Disisi lain dari Gambar 3(b) dapat dilihat bahwa kenaikan penambahan besi sekrap dari 0,5 reaksi stoikiometri menjadi 2 reaksi stoikiometri menyebabkan kenaikan jumlah berat besi terlarut kedalam larutan tembaga sulfat akan tetapi kenaikan lebih lanjut dari 2 reaksi stoikiometri menjadi 3 reaksi stoikiometri menyebabkan penurunan % berat besi terlarut. Hasil percobaan pada Gambar 3(b) sejalan dengan hasil percobaan pada Gambar 3(a) dimana

kenaikan jumlah penambahan besi dari 0,5 reaksi stoikiometri menjadi 2 reaksi stoikiometri menyebabkan kenaikan kelarutan besi sebagai akibat dari terjadinya reaksi pengendapan tembaga sesuai persamaan reaksi 3, dimanapotensial standard untuk reaksi reduksi ion tembaga dan oksidasi besi menurut Peter Hayes^[20] adalah sebagai berikut:



sehingga potensial standard untuk reaksi 3 adalah 0,777 volt. Bila perubahan energi bebas gibs standard untuk reaksi 3 dihitung lebih lanjut dengan menggunakan persamaan 6 berikut:

$$\Delta G^{\circ} = - n F E_R \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

'n = jumlah elektron yang terlibat dalam reaksi

F = Tetapan faraday. 96487 coulomb/mol

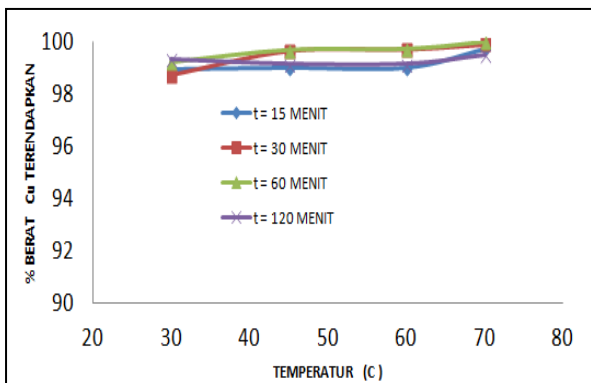
E_R = Potensial standard untuk persamaan reaksi 3 yaitu 0,777 volt

Maka reaksi sementasi tembaga oleh besi akan berlangsung dengan spontan karena perubahan energi bebas Gibbs untuk reaksi 3 akan mempunyai nilai negatif. Dari Gambar 3(b) juga dapat dilihat bahwa kenaikan penambahan besi diatas 2 reaksi stoikiometri menyebabkan % kelarutan besi turun dikarenakan jumlah tembaga yang tersisa dalam larutan jumlahnya sangat kecil, dimana pada penambahan besi sebesar 2 reaksi stoikiometri, 99 % tembaga yang terdapat dalam larutan telah diendapkan oleh besi, sehingga penambahan besi di atas 2 reaksi stoikiometri menjadi tidak ada artinya dan efisiensi kelarutan besi menjadi turun.

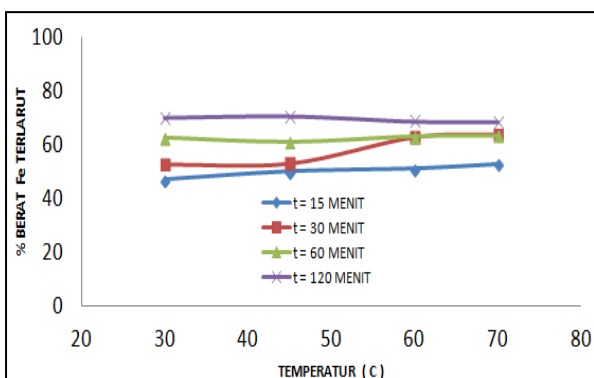
3. Pengaruh Temperatur Terhadap Pengendapan Tembaga dan kelarutan Besi

Pengaruh temperatur terhadap sementasi tembaga dari larutan tembaga

sulfat oleh besi dipelajari pada kecepatan pengadukan 200 RPM, jumlah berat besi yang ditambahkan 2 kali reaksi stoikiometri sedangkan temperatur pengendapan divariasikan dari temperatur 30 °C sampai dengan 70 °C. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 4(a) untuk pengaruh temperatur terhadap % berat pengendapan tembaga dan Gambar 4(b) untuk pengaruh temperatur terhadap kelarutan besi.



(a)

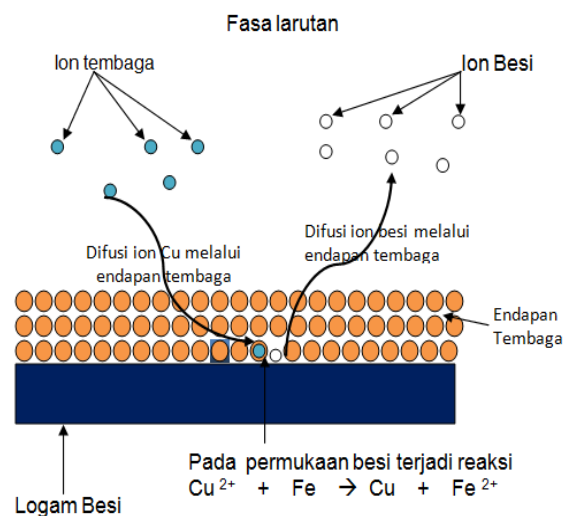


(b)

Gambar 4. Pengaruh temperatur terhadap (a) % pengendapan tembaga, (b) jumlah besi terlarut

Dari hasil percobaan pada Gambar 4(a) dapat dilihat bahwa kenaikan temperatur sementasi dari 30 °C menjadi 45 °C menyebabkan jumlah % berat tembaga yang mengendap dari larutan tembaga sulfat sedikit meningkat, akan tetapi kenaikan temperatur lebih lanjut dari 45 °C sampai 70 °C, jumlah tembaga yang dapat diendapkan cenderung konstan pada kisaran 99 %. Hal ini disebabkan oleh karenakenaikan temperatur sampai dengan

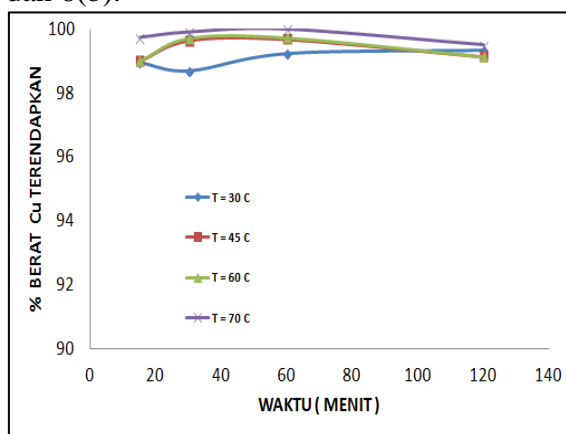
70 °C menyebabkan permukaan logam besi lebih cepat terselimuti oleh endapan tembaga yang lebih kompak sebagaimana dapat dilihat dari hasil pengamatan terhadap endapan tembaga yang terbentuk dengan menggunakan SEM pada Gambar 7. Akibat terbentuknya endapan tembaga pada permukaan besi maka ion tembaga harus berdifusi dari fasa larutan ke permukaan besi melalui endapan tembaga untuk selanjutnya bereaksi dengan logam besi mengikuti persamaan reaksi 3 dan ion besi yang terbentuk kemudian berdifusi melalui endapan tembaga untuk selanjutnya masuk kedalam fasa larutan sebagaimana diilustrasikan oleh Gambar 5, akibatnya proses sementasi tembaga menggunakan besi berlangsung mengikuti proses yang dikendalikan oleh proses difusi ion tembaga dari fasa larutan ke permukaan besi, sebagaimana diilustrasikan oleh Gambar 5. Gejala terjadinya proses difusi pada saat proses sementasi juga diamati oleh para peneliti lainnya^[13-15,17]. M. EL-Batouti, mengamati proses sementasi tembaga oleh besi menggunakan elektroda silinder besi yang diputar, dimana dari hasil penelitiannya diperoleh energi aktivasi proses sementasi tembaga oleh besi sebesar 25 KJ/mol yang mengindikasikan bahwa proses sementasi tembaga oleh logam besi dikendalikan oleh proses difusi^[13].



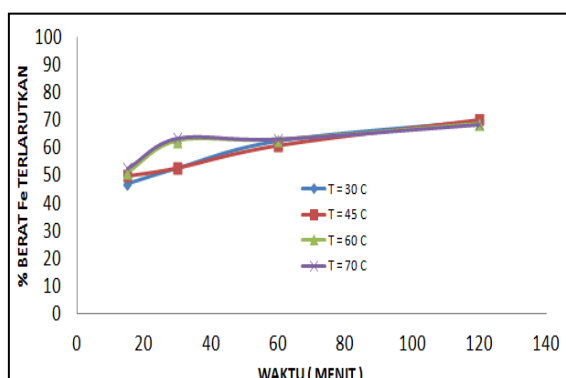
Gambar 5. Mekanisme sementasi tembaga oleh logam Besi

4. Pengaruh Waktu Terhadap Pengendapan Tembaga

Pengaruh waktu sementasi terhadap pengendapan tembaga dan kelarutan besi dipelajari pada larutan tembaga sulfat yang mengandung 18 % tembaga, dimana besi yang ditambahkan adalah 2 stoikiometri dan kecepatan pengadukan 200 RPM. Hasilnya diperlihatkan oleh Gambar 6(a) dan 6(b).



(a)



Gambar 6. Pengaruh waktu terhadap (a) % pengendapan tembaga, (b) kelarutan besi

Dari data hasil percobaan pada Gambar 6(a) dapat dilihat bahwa % pengendapan tembaga meningkat sedikit bila waktu reaksi diperpanjang dari 15 menit menjadi dengan 30 menit. Perpanjangan waktu reaksi lebih lanjut dari 30 menit tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap % pengendapan tembaga. Hal ini disebabkan oleh karena permukaan besi tertutup oleh endapan tembaga sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 7.

Tertutupnya permukaan besi berakibat pada turunnya perbedaan potensial antara

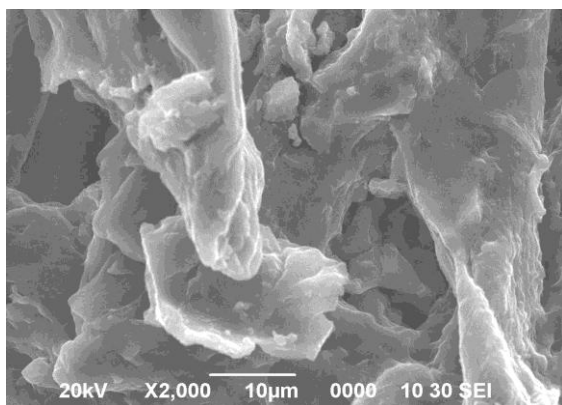
ion tembaga dan logam besi yang berakibat pada penurunan arus galvanik dan menyebabkan peristiwa pengendapan tembaga melambat. Gejala seperti ini juga dialami oleh Gros yang melakukan sementasi tembaga oleh seng dengan menggunakan elektroda putar, yang memperlihatkan bahwa dengan berkembangnya waktu sementasi maka permukaan elektroda seng akan terlapis oleh endapan tembaga yang menyebabkan perbedaan potensial antara ion tembaga dan logam seng turun yang berakibat pada penurunan arus galvanik yang dapat berakibat pada penurunan laju pengendapan tembaga^[16].

Disisi lain untuk kelarutan besi sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6(b), kenaikan waktu reaksi sampai dengan 60 menit menyebabkan kenaikan % kelarutan besi, sedangkan kenaikan waktu reaksi lebih lanjut tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap % kelarutan besi. Hal ini juga disebabkan oleh karena dengan berkembangnya waktu reaksi maka permukaan besi akan semakin terselimuti oleh endapan tembaga sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 7 yang berakibat pada penurunan arus galvanik sehingga menghambat laju reaksi sementasi antara logam besi dan ion tembaga.

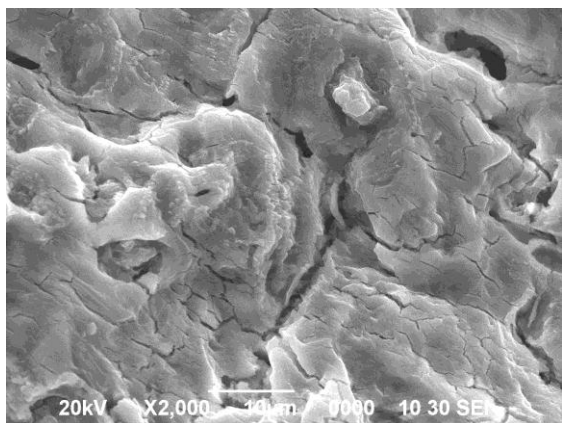
5. Analisis Struktur mikro Endapan Hasil Sementasi Tembaga

Untuk melihat struktur mikro endapan tembaga yang dihasilkan dari proses sementasi, terhadap endapan yang dihasilkan dilakukan analisis struktur mikro dengan SEM. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 7. Dari data pada Gambar 7(a) dan 7(b) dapat dilihat bahwa morfologi endapan tembaga yang terbentuk dari hasil proses sementasi pada temperatur 30 °C selama 120 menit mempunyai struktur mikro lebih kompak bila dibandingkan dengan morfologi endapan tembaga yang terbentuk dari hasil proses sementasi pada temperatur 30 °C selama 15 menit. Kemudian bila hasil ini dibandingkan lebih lanjut dengan

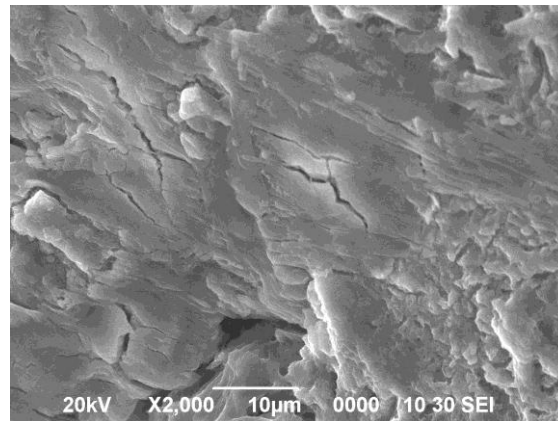
morfologi endapan tembaga yang terbentuk dari hasil proses sementasi pada temperatur 70 °C selama 15 menit pada Gambar 7(c), nampak bahwa kenaikan temperatur menyebabkan permukaan logam besi lebih cepat tertutup oleh endapan tembaga yang kompak, sehingga proses sementasi tembaga oleh logam besi dikendalikan oleh proses difusi besi dari permukaan besi ke dalam larutan melalui endapan tembaga yang terbentuk.



(a)



(b)



(c)

Gambar 7. Struktur mikro endapan tembaga hasil proses sementasi pada; (a) T = 30 °C selama 15 menit, (b) T = 30 °C selama 120 menit, dan (c) T = 70 °C selama 15 menit

Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Karavasteva yang telah melakukan penelitian kinetika sementasi tembaga oleh logam besi dari larutan tembaga sulfat pada temperatur 60 °C dan waktu pengendapan 8 menit, dimana dari hasil pengamatannya dengan menggunakan mikroskop diketahui bahwa endapan tembaga terbentuk secara seragam pada permukaan besi^[13].

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan sementasi tembaga dari larutan tembaga sulfat hasil pelarutan bijih malachite dalam larutan asam sulfat yang mempunyai kandungan tembaga 18 %, dimana sebagai logam korban digunakan besi sekrap. Dari percobaan yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kenaikan kecepatan putaran dari 50 RPM menjadi 300 RPM tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap % Pengendapan tembaga.
2. Kenaikan penambahan besi kedalam larutan tembaga sulfat dari 0,5 reaksi stoikiometri menjadi 2 reaksi stoikiometri menyebabkan kenaikan % pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat. Akan tetapi kenaikan

- penambahan besi lebih lanjut dari 2 reaksi stoikiometri menjadi 3 reaksi stoikiometri tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat.
3. Kenaikan temperatur larutan dari 30 °C sampai 45 °C menyebabkan kenaikan % pengendapan tembaga akan tetapi kenaikan temperatur lebih lanjut sampai 70 °C tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat, pengendapan tembaga cenderung berlangsung konstan.
 4. Kenaikan waktu reaksi dari 15 menit menjadi 30 menit menyebabkan sedikit kenaikan % pengendapan tembaga, akan tetapi kenaikan waktu reaksi lebih lanjut tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap pengendapan tembaga.
 5. 99 % tembaga dapat diendapkan dari larutan tembaga sulfat dengan cara sementasi menggunakan besi.
 6. Proses pengendapan tembaga dari larutan tembaga sulfat dengan cara sementasi menggunakan logam besi dikendalikan oleh proses difusi ion tembaga dari fasa larutan tembaga sulfat ke permukaan logam besi melalui endapan tembaga yang terbentuk pada permukaan besi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Copper Study Group, 2012. World Copper Factbook. (<http://www.icsg.org>, diakses tanggal 05 Juni 2014)
- [2] Basto E. 2012., Escondida site tour. (<http://www.bhpbilliton.com/home/investors/reports/Documents/2012>, diakses tanggal 05 Juni 2014)
- [3] Badan Koordinasi Penanaman Modal, 2012. (<http://regional.investment.bkpm.go.id>, diakses tanggal 05 Juni 2014)
- [4] Departemen Pertambangan dan Energi, 1998., Potensi dan Prospek Investasi di Sektor Pertambangan dan Energi”.
- [5] Peta Ekonomi Mineral Dit. Sumber Daya Mineral, 1997.
- [6] Bingöl, Canbazoglu M. 2004. „Dissolution Kinetics of Malachite In Sulphuric Acid”. *Hydrometallurgy* 72, hal. 159-162.
- [7] Wanga X. 2009., Solubility Prediction Of Malachite In Aqueous Ammoniacal Ammonium Chloride Solutions At 25 °C”. *Hydrometallurgy*, vol 99, issues 3–4 November, hal. 231–237.
- [8] Bingöla D., Canbazoglu M., Aydoğan S. 2005., Dissolution Kinetics Of Malachite In Ammonia/Ammonium Carbonate Leaching”. *Hydrometallurgy*, vol 76 Issues 1–2 January, hal. 55–62.
- [9] Subagja R., Andriyah L. 2013., Kinetika Reaksi Pelarutan Tembaga dari Malachite Kedalam Larutan Asam Sulfat”. *Majalah Metalurgi* Vol. 28, No.3.
- [10] Canterford J.H., Davey P.T., Tsambourakis G. 1985., The Influence Of Ferric Iron On The Dissolution Of Copper From Lump Oxide Ore: Implications In Solution Mining”. *Hydrometallurgy*, Volume 15, Issue 1, October, hal 93–112.
- [11] Nadkarni, R.M., Wadsworth, M.E. 1967., A Kinetics Study Of Copper Precipitation On Iron: Part II”. *Transactions of the Metallurgical Society of AIME* 239, hal. 1066–1074.
- [12] Donmez B., Servim F., Sarac H. 1999., A Kinetic Study Of The Cementation Of Copper From Sulphate Solution Onto A Rotating Aluminium Disc”. *Hydrometallurgy* 53, hal. 145–154.
- [13] EL-Batouti M. 2005., Removal Of Copper Metal By Cementation Using A Rotating Iron Cylinder”. *J. Colloid Interf. Surf.* 283, hal. 123–129.
- [14] Karavasteva M. 2005., Kinetics And Deposit Morphology Of Copper

- Cementation Onto Zinc, Iron And Aluminium". *Hydrometallurgy* 76, hal. 149–152.
- [15] Demirkıran N., Ekmekyapar A., Künkül A., Baysar A. 2007.,, A kinetic study of copper cementation with zinc in aqueous solutions". *Int. J. Miner. Process* 82, hal. 80–85.
- [16] Gros F., Baup S., Aurousseau M. 2011.,, Copper Cementation On Zinc And Iron Mixtures: Part 1: Results on Rotating Disc Electrode". *Hydrometallurgy* 106, hal. 127–133.
- [17] Ahmed I.M., El-Nadi Y.A., Daoud J.A. 2011.,, Cementation Of Copper From Spent Copper-Pickle Sulfate Solution By Zinc Ash". *Hydrometallurgy* 110, hal. 62–66.
- [18] Abdel-Aziz M.H. 2011.,, Production Of Copper Powder From Wastewater Containing CuSO_4 And Alcoholic Additives In A Modified Stirred Tank Reactor By Cementation". *Hydrometallurgy* 109, hal. 161–167.
- [19] Zaabar A., Aitout R., Makhloufi L., Alilat K., Maziz S., Saidani B. 2013.,, Effect of Nettle Plant Extract On The Cementation Of Copper Onto Zinc In Acidic Sulfate Solutions". *Hydrometallurgy* 136, hal. 58–64.
- [20] Hayes P. 1985.,, Process Selection In Extractive Metallurgy". Hayes Publishing Co, Brisbane.