

# KINETIKA REAKSI PELARUTAN TEMBAGA DARI *MALACHITE* KE DALAM LARUTAN ASAM SULFAT

**Rudi Subagja dan Lia Andriyah**  
Pusat Penelitian Metalurgi LIPI  
Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang Selatan Banten  
E-mail : rudibagja@yahoo.com

*Masuk tanggal : 11-09-2013, revisi tanggal : 01-11-2013, diterima untuk diterbitkan tanggal : 18-11-2013*

## Intisari

**KINETIKA REAKSI PELARUTAN TEMBAGA DARI *MALACHITE* KE DALAM LARUTAN ASAM SULFAT.** Penelitian untuk mempelajari kinetika reaksi pelarutan tembaga dari *malachite* ke dalam larutan asam sulfat telah dilakukan melalui percobaan dalam skala laboratorium di Pusat Penelitian Metalurgi LIPI, dengan menggunakan reaktor gelas kapasitas 1 liter, dilengkapi dengan pemanas listrik dan alat pengaduk yang digerakan oleh motor listrik. Dari hasil percobaan diketahui bahwa 95,63 % tembaga dapat dilarutkan ke dalam larutan asam sulfat konsentrasi 7,5 % dari bijih *malachite* ukuran -100 mesh, pada temperatur 60 °C selama waktu reaksi 2 jam, dan kinetika reaksi pelarutan mengikuti model reaksi yang dikontrol oleh proses difusi dengan energi aktivasi 41 Kkal/mol.

*Kata kunci : Asam sulfat, Kinetika reaksi, Malachite, Tembaga, Pelindian*

## Abstract

**REACTION KINETICS OF COPPER DISSOLUTION FOR *MALACHITE* INTO SULFURIC ACID SOLUTION.** A research to study the reaction kinetics of copper dissolution from *malachite* into sulfuric acid solution has been done through experiments in laboratory scale at Pusat Penelitian Metalurgi LIPI, using 1 liter capacity glass, equipped by heater and stirrer which is driven by electric motor. The result of this experiment is 95,63% copper can be dissolved into sulfuric acid solution 7,5% from ore *malachite* -100 mesh, the temperature is 60 °C during 2 hours, and reaction kinetics of dissolution follow the models of reaction that control by diffusion process with the activation energy 41 Kkal/mol.

*Keywords : Sulfuric acid, Reaction kinetics, Malachit, Copper, Leaching*

## PENDAHULUAN

Industri tembaga di dunia akhir-akhir ini menghadapi masalah ketidakseimbangan antara pasokan dan konsumsi tembaga, dimana jumlah konsumsi melebihi pasokan sehingga terjadi defisit. Kondisi ini terjadi sebagai akibat dari adanya ketimpangan antara kemampuan untuk menemukan cadangan baru dan kebutuhan bijih untuk mendukung Industri tembaga di dunia<sup>[1]</sup>. Pada saat yang sama di beberapa produsen tembaga terkemuka di dunia telah terjadi penurunan kualitas bahan baku bijih yang mereka gunakan, dimana kadar tembaga yang digunakan cenderung makin menurun

sebagaimana dialami oleh Tambang Escondida di Chile, produsen tembaga terbesar dunia. Pada tahun 2008 kadar tembaga yang diproses oleh industri ini adalah 1,65 % dan pada tahun 2012 turun menjadi 1,14 %<sup>[2]</sup>. Sebagai akibat dari ketimpangan tersebut, beberapa negara telah mengembangkan strategi untuk mulai memanfaatkan bijih tembaga yang lebih kompleks, mendaur ulang logam tembaga dari limbah elektronik atau limbah lain yang mengandung logam tembaga, pengembangan proses ekstraksi tembaga dari bijih yang lebih kotor atau dari bijih kadar rendah.

Di Indonesia, bijih tembaga ditemukan di beberapa daerah yaitu di Provinsi Aceh,

Sumatera Utara, Sumatera Barat, Bengkulu, Jawa, Sulawesi, Irian dan Nusa Tenggara dan beberapa daerah lainnya<sup>[3-4]</sup>. Secara garis besar bijih tersebut dapat digolongkan ke dalam bijih sulfida dan oksida. *Malachite* yang mempunyai rumus kimia ( $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ ), merupakan salah satu bijih oksida yang dapat dijadikan sebagai bahan baku alternatif untuk membuat logam tembaga, dan terdapat di beberapa daerah di Indonesia seperti di Kabupaten Buol dan beberapa daerah di Sulawesi Selatan, dengan cadangan diperkirakan mencapai 750.000.000 ton<sup>[5]</sup>.

Walaupun Indonesia memiliki bahan baku bijih untuk dapat dibuat logam tembaga dan telah mempunyai pabrik peleburan tembaga, namun Indonesia masih harus mengimpor tembaga dari beberapa negara. Dilihat dari pola pemakaiannya, menurut data dari pusat statistik, impor tembaga terbanyak adalah dalam bentuk tembaga katoda sedangkan sisanya dalam bentuk pelat, pipa, serbuk dan lain-lain. Impor tembaga lainnya berupa pelat, pipa, serbuk dan lain-lain digunakan untuk membuat komponen kendaraan bermotor seperti alat pendingin (radiator), alat-alat rumah tangga dan alat perbengkelan. Dengan makin tingginya kebutuhan tembaga Indonesia maka potensi pemanfaatan *malachite* sebagai bahan baku industri tembaga menjadi menarik. Masalahnya adalah bagaimana mendapatkan proses yang cocok untuk pemanfaatan *malachite* Indonesia.

Di beberapa negara, penelitian untuk pemanfaatan *malachite* telah dilakukan, diantaranya adalah penelitian tentang kinetika reaksi pelarutan *malachite* dari Turki menggunakan media larutan asam sulfat yang dilakukan oleh Bingol dan kawan-kawan, dimana dari hasil penelitiannya diketahui bahwa proses pelarutan *malachite* dikendalikan oleh proses difusi<sup>[6]</sup>, kemudian penelitian pengaruh ion besi valensi tiga terhadap pelarutan tembaga dari bijih oksida (diantaranya *malachite*) yang dilakukan oleh Canterford dan kawan-kawan dimana

dari hasil penelitiannya diketahui bahwa ion besi dapat mempercepat pelarutan tembaga dari bijih oksida akan tetapi karena ion *ferric* juga berpotensi untuk membentuk endapan jarosite maka proses pelarutan tembaga dari bijih oksida terkendali oleh adanya endapan *jarosite*<sup>[7]</sup>. Penelitian lainnya adalah tentang kelarutan *malachite* dalam media ammonia - ammonium klorida<sup>[8]</sup> dan kinetika pelarutan *malachite* dalam larutan ammonia-ammonium klorida<sup>[9]</sup>. Dari hasil-hasil penelitian tersebut dapat diketahui bahwa proses pelarutan tembaga dari bijih *malachite* umumnya dikendalikan oleh proses difusi, namun penyebab terjadinya proses difusi berbeda antara satu penelitian dengan penelitian lainnya, pada penelitian yang dilakukan oleh Canterford penyebab terjadinya difusi adalah endapan *jarosit* yang terbentuk dari proses pelarutan *malachite* dalam media asam sulfat<sup>[7]</sup>, sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Bingola, terjadinya difusi adalah karena adanya endapan tembaga oksida<sup>[9]</sup>, dengan kata lain bahwa proses difusi akan tergantung pada komposisi kimia bijih yang digunakan dan jenis pelarut yang digunakan. Oleh karena itu untuk mempelajari karakteristik reaksi pelarutan *malachite* dari daerah Banten, pada penelitian ini dilakukan studi kinetika proses pelarutannya, dan studi kinetika proses pelarutan *malachite* dari daerah Banten ini belum banyak dipelajari oleh para peneliti lainnya.

## PROSEDUR PERCOBAAN

### Bahan Baku untuk Percobaan

Bahan baku yang digunakan untuk percobaan terdiri dari bijih *malachite* dari daerah Banten, sedangkan untuk proses pelarutan digunakan bahan kimia asam sulfat p.a dan air *aquademineral*.

Gambar 1 memperlihatkan peralatan yang digunakan untuk percobaan. Peralatan ini terdiri dari reaktor yang terbuat dari bahan gelas dan mempunyai kapasitas 1 liter, dilengkapi dengan

pemanas listrik dan pengaduk yang digerakkan oleh motor listrik. Untuk menjaga temperatur reaksi tetap konstan, alat pemanas listrik dilengkapi dengan pengendali temperatur. Pada setiap percobaan, 700 ml larutan asam sulfat dengan konsentrasi tertentu dimasukkan ke dalam reaktor gelas kemudian dipanaskan dengan menggunakan pemanas listrik sampai temperatur tertentu. Setelah temperatur yang diinginkan tercapai ke dalam larutan asam sulfat dimasukkan sejumlah tertentu *malachite*. Campuran *malachite* dan asam sulfat yang terdapat dalam reaktor gelas kemudian diaduk pada kecepatan tertentu. Setelah percobaan selesai, larutan hasil proses pelarutan dipisah dari residu padat dengan cara penyaringan. Residu padat hasil proses pelarutan kemudian dianalisis dengan menggunakan alat difraksi sinar X (XRD) dan *scanning electron microscopy* (SEM), sedangkan kandungan tembaga dan besi yang terdapat dalam larutan dianalisis dengan menggunakan alat spektrofotometri serapan atom (*atomic absorption spectrophotometry* - AAS).



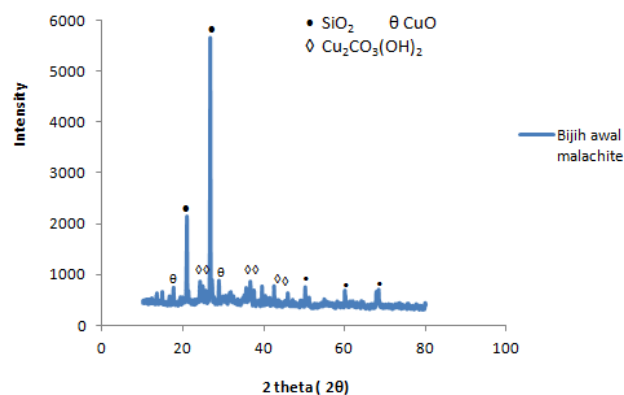
**Gambar 1.** Peralatan yang digunakan untuk percobaan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Karakteristik *Malachite* Banten sebagai Bahan Baku untuk Percobaan

Untuk mengetahui mineral penyusun, komposisi kimia dan struktur mikro dari bijih *malachite* Banten yang digunakan

pada percobaan, terhadap bijih *malachite* dilakukan analisis dengan menggunakan AAS, XRD dan SEM. Hasil analisis dengan menggunakan XRD pada Gambar 2 memperlihatkan bahwa senyawa yang terkandung dalam bijih *malachite* adalah silikat, CuO dan  $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ .

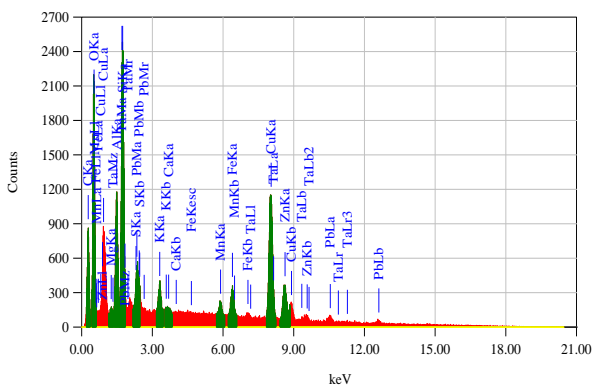
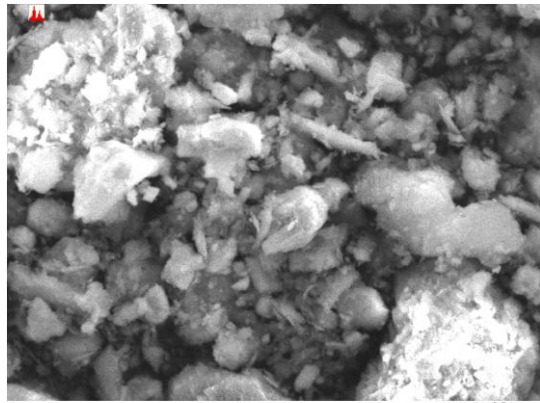


**Gambar 2.** Pola difraksi sinar-X *malachite* Banten

Analisis lebih lanjut dengan menggunakan SEM pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa unsur penyusun *malachite* terdiri dari oksigen, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Ta, Pb dimana, unsur oksigen, Cu, Si, Pb, Zn dan Ta jumlahnya relatif lebih tinggi dari unsur lainnya. Untuk mengetahui kandungan tembaga dan besi dalam *malachite* kemudian dilakukan analisis lebih lanjut dengan menggunakan AAS. Hasilnya diperlihatkan pada Tabel 1 yang memperlihatkan bahwa kandungan tembaga dalam *malachite* adalah 5,83 wt% kemudian besi 2,65 wt%, sedangkan unsur lainnya yang terdapat dalam *malachite* adalah 79,33 wt % dengan unsur dominan silika, seng dan timbal.

Tabel 1. Komposisi kimia *malachite* dari Banten

Unsur	Persen berat (wt %)
Tembaga	5,83
Besi	2,65
Lainnya (Pb, Zn, Al, Si, Mg, Mn,S,Cr)	79,33
LOI	12,19



ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.3223

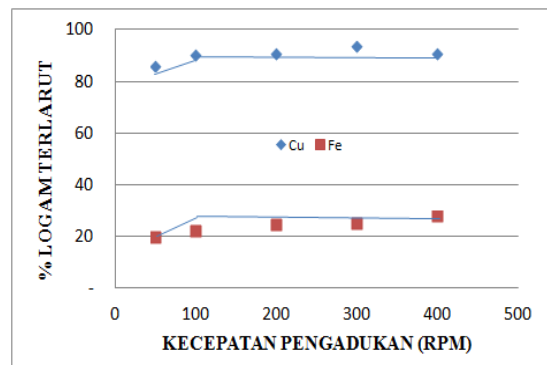
Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	19.96	0.11	43.03				5.3990
O K	0.525	19.56	0.13	31.65				20.1421
Mg K*	1.253	0.64	0.10	0.69				0.3857
Al K	1.486	3.29	0.09	3.16				2.5493
Si K	1.739	4.27	0.11	3.94				4.0692
S K*	2.307	0.21	0.06	0.17				0.2624
K K	3.312	0.93	0.08	0.61				1.3657
Ca K*	3.690	0.12	0.09	0.08				0.1862
Mn K	5.894	1.16	0.18	0.55				1.7165
Fe K	6.398	2.64	0.18	1.22				4.0933
Cu K	8.040	24.00	0.37	9.78				34.5004
Zn K	8.630	7.44	0.48	2.95				10.7198
Ta M	1.709	11.63	0.36	1.66				10.0999
Pb M	2.342	4.16	0.29	0.52				4.5106
Total		100.00		100.00				

Gambar 3. Hasil analisis malachite dari Banten dengan menggunakan SEM

### Pengaruh Kecepatan Pengadukan terhadap Kelarutan Cu dan Fe dari Malachite

Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap proses pelarutan tembaga dan besi dari malachite dipelajari dengan menggunakan malachite ukuran – 100 mesh, pulp density 20 %, pada temperatur

60 °C selama selang waktu proses pelarutan 2 jam dan kecepatan pengadukan divariasikan dari 50 putaran per menit (RPM) sampai dengan 300 RPM. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 4, yang memperlihatkan kenaikan kecepatan pengadukan dari 50 RPM menjadi 100 RPM menyebabkan kenaikan jumlah tembaga dan besi terlarut ke dalam larutan asam sulfat. Akan tetapi apabila kecepatan pengadukan dinaikkan lebih lanjut, jumlah tembaga dan besi yang larut ke dalam asam sulfat tidak terlalu banyak berubah. Oleh karena itu pada percobaan selanjutnya kecepatan pengadukan ditetapkan 300 RPM.

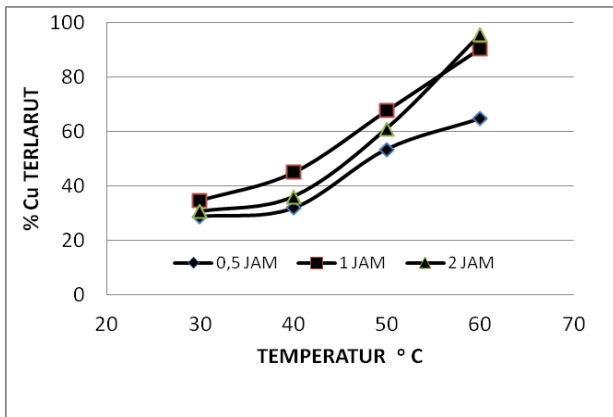
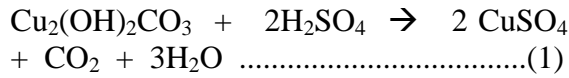


Gambar 4. Pengaruh kecepatan pengadukan terhadap kelarutan Cu dan Fe dari malachite Banten

### Pengaruh Temperatur terhadap Kelarutan Cu dan Fe dari Malachite

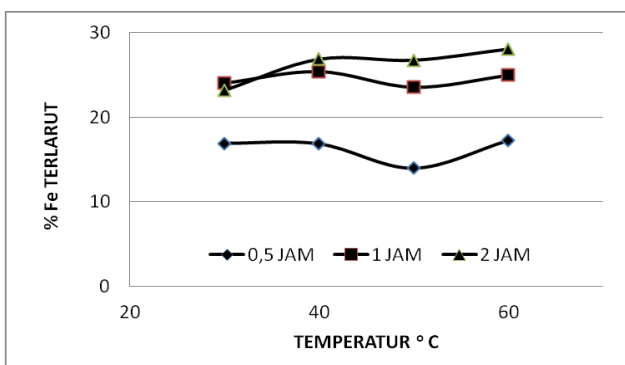
Pengaruh temperatur reaksi terhadap kelarutan tembaga dan besi dari bijih malachite dipelajari pada daerah temperatur 30 °C sampai dengan 60 °C pada selang waktu reaksi 0,5 jam sampai dengan 2 jam. Pada percobaan ini ukuran bijih malachite yang digunakan adalah - 100 mesh, konsentrasi asam sulfat 7,5 % dan pulp density 20 %. Hasil percobaan pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa kenaikan temperatur reaksi dari 30 °C menjadi 60 °C menyebabkan jumlah tembaga yang dapat dilarutkan dari malachite ke dalam larutan asam sulfat makin meningkat. Pada temperatur 60 °C dan selang waktu reaksi 2 jam, 95,63 %

tembaga dapat dilarutkan dari *malachite* ke dalam larutan asam sulfat, dan reaksi pelarutan tembaga dari *malachite* menurut beberapa peneliti, berlangsung menurut reaksi berikut:<sup>[6,10]</sup>



**Gambar 5.** Pengaruh temperatur terhadap kelarutan tembaga dari *malachite* Banten

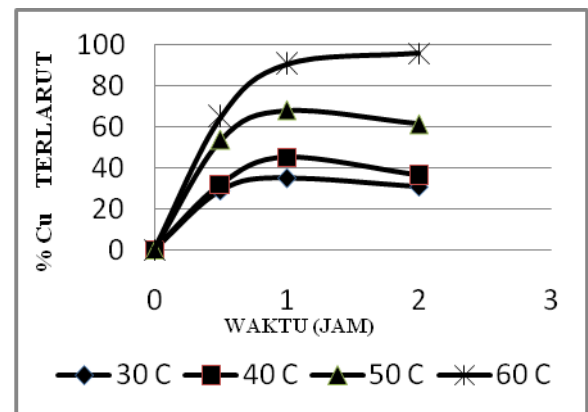
Untuk mengetahui jumlah besi yang ikut larut ke dalam larutan asam sulfat, terhadap larutan hasil proses pelarutan dilakukan analisis unsur besi dengan menggunakan alat AAS. Hasilnya diperlihatkan pada Gambar 6. Dari gambar ini dapat dilihat bahwa kenaikan temperatur reaksi dari 30 °C menjadi 60 °C tidak memberikan perubahan yang berarti terhadap proses pelarutan besi dari *malachite*. Pada temperatur 60 °C dan selang waktu reaksi 2 jam, 28 % besi ikut terlarutkan ke dalam larutan asam sulfat.



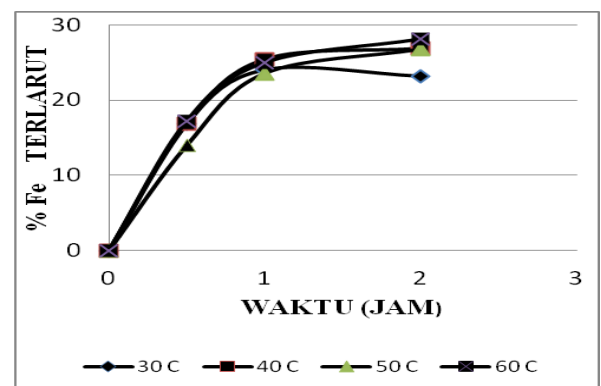
**Gambar 6.** Pengaruh temperatur terhadap kelarutan besi dari *malachite* Banten

### Pengaruh Waktu Reaksi terhadap Kelarutan Tembaga dan Besi dari *Malachite* Banten

Pengaruh waktu reaksi terhadap kelarutan tembaga dan besi dari *malachite* dipelajari pada selang waktu reaksi pelarutan 0,5 jam sampai dengan 2 jam. Pada percobaan ini ukuran bijih *malachite* yang digunakan adalah -100 mesh, pulp density 20 % dan konsentrasi asam sulfat yang digunakan adalah 7,5 %. Hasilnya masing masing diperlihatkan pada Gambar 7 untuk pengaruh waktu reaksi terhadap kelarutan tembaga dan Gambar 8 untuk pengaruh waktu reaksi terhadap kelarutan besi dari *malachite*.



**Gambar 7.** Pengaruh waktu reaksi terhadap kelarutan tembaga dari *malachite* Banten



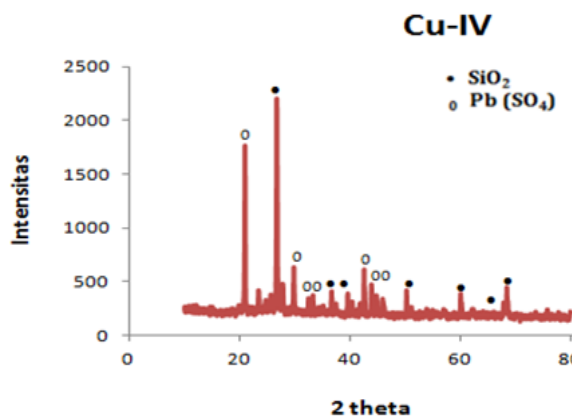
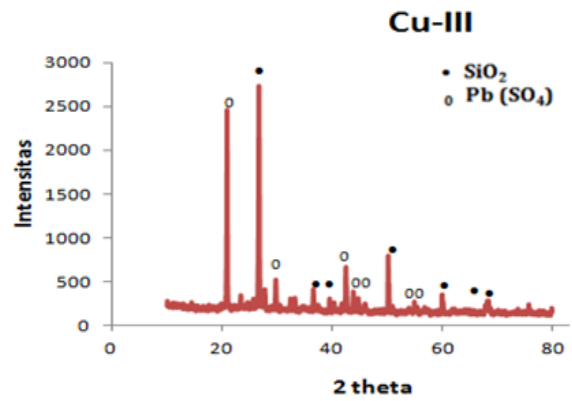
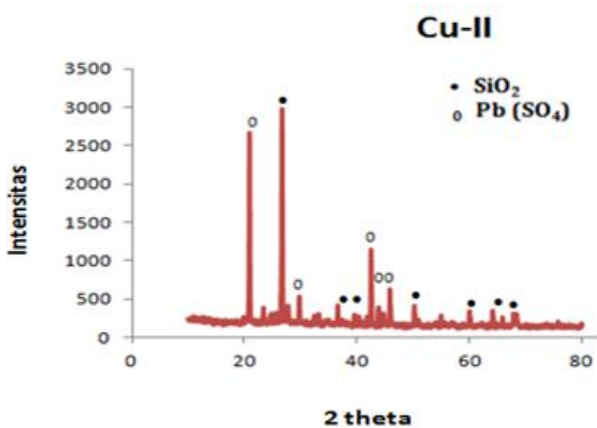
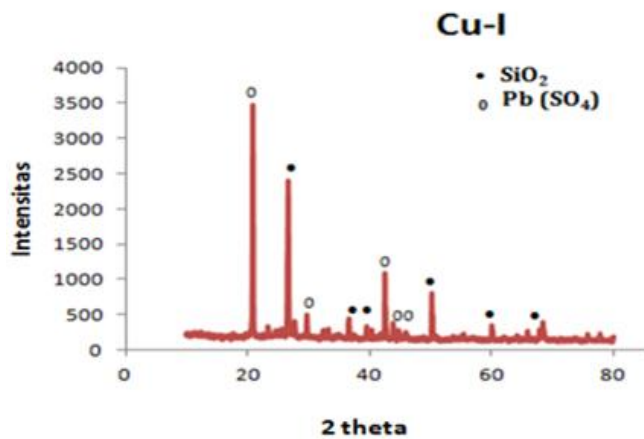
**Gambar 8.** Pengaruh waktu reaksi terhadap kelarutan besi dari *malachite* Banten

Dari hasil percobaan pada Gambar 7 dan 8 dapat dilihat bahwa kenaikan waktu reaksi dari 0,5 jam menjadi 1 jam

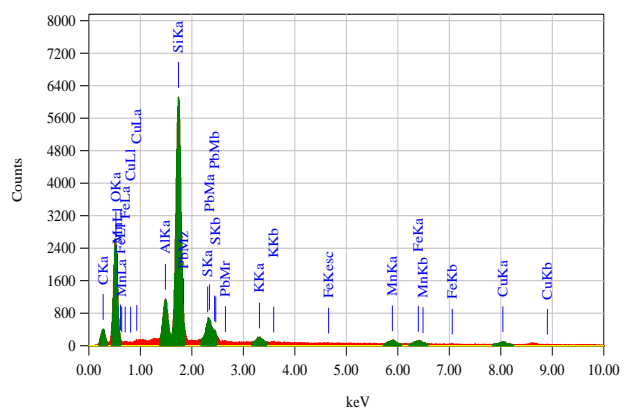
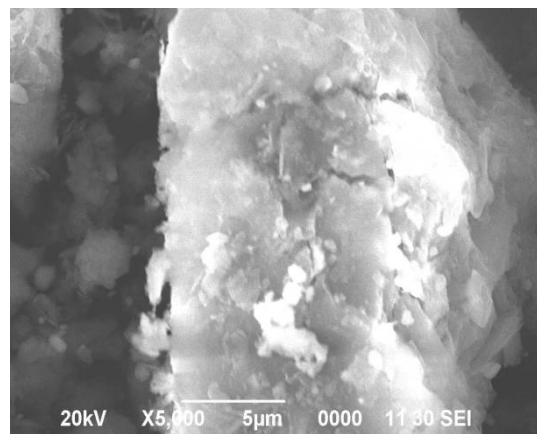
menyebabkan kenaikan jumlah besi dan tembaga terlarut, sedangkan untuk kenaikan waktu reaksi lebih lanjut dari 1 jam menjadi 2 jam menyebabkan penurunan jumlah tembaga terlarut, sedangkan untuk besi meningkat.

### Analisa Residu Hasil Proses Pelarutan

Untuk mengetahui unsur – unsur yang tersisa dalam residu padat dari hasil proses pelarutan *malachite*, terhadap residu yang dihasilkan dari proses pelarutan *malachite*, dilakukan analisis dengan menggunakan XRD dan SEM.



**Gambar 9.** Pola difraksi sinar X dari residu padat hasil proses pelarutan *malachite* ( Cu I pada 60 °C; Cu II pada 50 °C; Cu III pada 40 °C; Cu IV pada 30 °C)





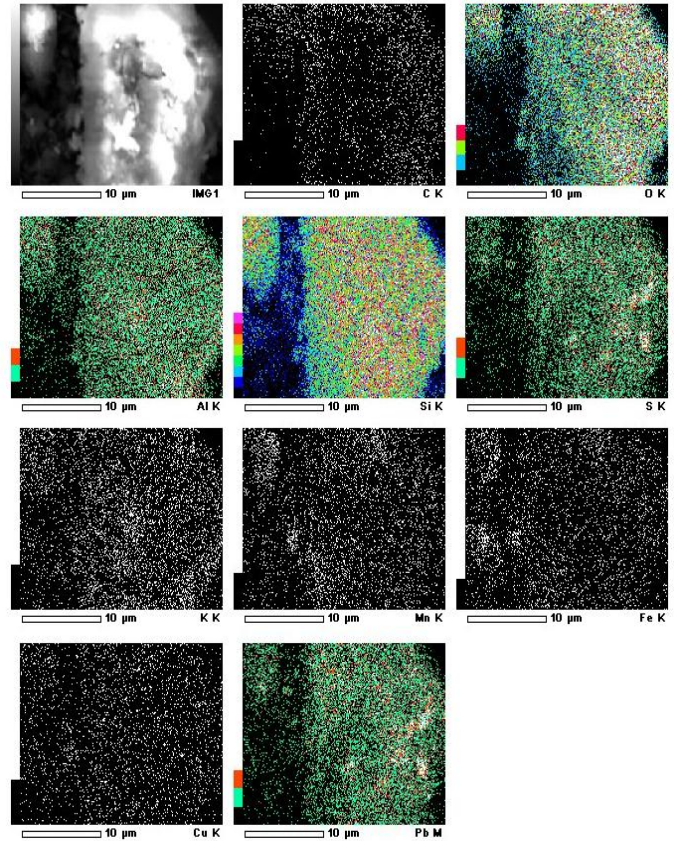
ZAF Method Standardless Quantitative Analysis

Fitting Coefficient : 0.2901

Element	(keV)	Mass%	Error%	Atom%	Compound	Mass%	Cation	K
C K	0.277	20.98	0.33	32.74				4.5465
O K	0.525	38.94	0.27	45.61				42.8908
Al K	1.486	4.28	0.13	2.98				4.9380
Si K	1.739	22.73	0.13	15.16				29.6623
S K	2.307	1.63	0.13	0.96				2.3943
K K	3.312	0.72	0.17	0.34				1.1312
Mn K	5.894	1.56	0.41	0.53				2.2722
Fe K	6.398	1.53	0.42	0.51				2.2937
Cu K	8.040	2.34	0.86	0.69				3.3511
Pb M	2.342	5.28	0.59	0.48				6.5198
Total		100.00		100.00				

**Gambar 10.** Hasil analisis dengan SEM terhadap residu padat hasil proses pelarutan

Hasil analisis dengan XRD pada Gambar 9, masing-masing untuk residu padat hasil proses pelarutan *malachite* pada temperatur 30 °C (Cu – IV), temperatur 40 °C (Cu-III), temperatur 50 °C (Cu-II) dan temperatur 60 °C (Cu-I) memperlihatkan bahwa senyawa dominan yang tersisa dalam residu padat hasil proses pelarutan *malachite* dalam larutan asam sulfat adalah silikat dan timbal sulfat, dimana kenaikan temperatur pelarutan dari 30 °C menjadi 60 °C menyebabkan intensitas fasa silikat dan fasa timbal sulfat yang terdapat dalam residu makin meningkat, sementara senyawa *malachite* tidak nampak pada residu hasil proses pelarutan. Analisis lebih lanjut terhadap residu padat dengan SEM pada Gambar 10 memperlihatkan bahwa unsur dominan yang terdapat dalam residu padat hasil proses pelarutan *malachite* adalah oksigen, silikon, timbal dan sedikit tembaga.



**Gambar 11.** Distribusi unsur pada residu padat hasil proses pelarutan *malachite* Banten

Sedangkan Gambar 11 memperlihatkan distribusi unsur yang terdapat dalam residu padat hasil proses pelarutan *malachite*. Hasil pengamatan dengan SEM ini selaras dengan hasil analisis dengan XRD pada Gambar 9 yang memperlihatkan bahwa senyawa dominan yang terdapat dalam residu padat adalah silikat dan timbal sulfat. Keberadaan senyawa silikat dan timbal sulfat nampaknya memberikan pengaruh terhadap proses pelarutan tembaga dari *malachite*. Hasil percobaan pada Gambar 7 memperlihatkan bahwa untuk waktu pelarutan lebih lama dari 1 jam maka proses pelarutan tembaga nampak menjadi lambat. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh terbentuknya senyawa timbal sulfat yang menyebabkan unsur tembaga harus berdifusi melewati timbal sulfat sebelum larut ke dalam larutan asam sulfat.

## Kinetika Proses Pelarutan Tembaga

Hasil pengamatan pada Gambar 7 dan Gambar 8 memperlihatkan laju kelarutan tembaga dan besi dari *malachite* makin lambat dengan berkembangnya waktu reaksi. Hasil XRD pada Gambar 9 memperlihatkan bahwa dalam residu padat sisa proses pelarutan *malachite* ditemukan adanya senyawa  $PbSO_4$  dan silikat yang tidak larut, sehingga proses pelarutan tembaga dari bijih *malachite* kemungkinan besar akan mengikuti mekanisme proses yang dikendalikan oleh difusi. Dugaan ini sejalan dengan hasil penelitian para peneliti terdahulu, dimana dari hasil penelitiannya dikemukakan bahwa kinetika proses pelarutan *malachite* dikendalikan oleh proses difusi<sup>[6-8]</sup>. Perbedaan dari hasil penelitian ini dengan penelitian mereka adalah pada senyawa penyusunnya. Pada penelitian ini yang menyebabkan terjadinya proses difusi adalah senyawa silikat dan timbal sulfat, sedangkan pada penelitian Canterford penyebab terjadinya difusi adalah senyawa jarosit yang terbentuk dari hasil proses pelarutan<sup>[7]</sup> dan pada penelitian Bingola penyebab terjadinya difusi adalah endapan tembaga oksida pada *malachite* yang dilarutkan dalam media *ammonia - ammonium khlorida*<sup>[9]</sup>.

Dengan anggapan bahwa kinetika proses pelarutan *malachite* mengikuti model difusi, maka hubungan antara fraksi tembaga yang larut ke dalam larutan asam sulfat dengan waktu reaksi menurut Levenspiel<sup>[11]</sup> dinyatakan sebagai berikut:

$$1 + 2(1-X_{Cu}) - 3(1-X_{Cu})^{2/3} = k t \dots \dots \dots (2)$$

dimana :

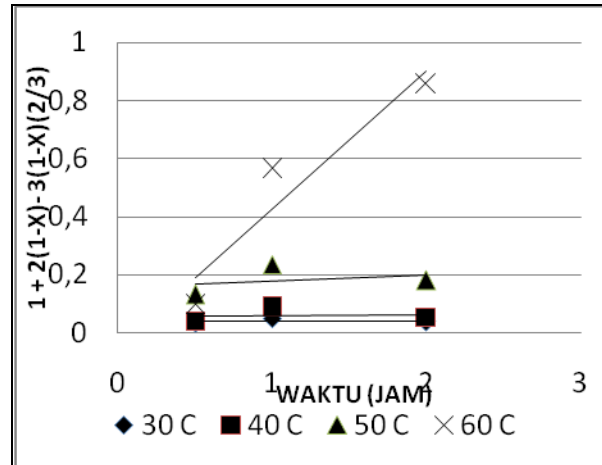
$X_{Cu}$  = Fraksi tembaga yang larut ke dalam larutan asam sulfat

k = konstanta laju reaksi

t = waktu reaksi

Jika fraksi tembaga yang larut ke dalam larutan asam sulfat yang dihitung dengan menggunakan persamaan 2 dan digambarkan sebagai fungsi temperatur maka hasilnya diperlihatkan pada Gambar

12, sedangkan nilai konstanta laju reaksi k yang dihasilkan ditampilkan pada Tabel 2.



**Gambar 12.** Penggambaran  $1 + 2(1 - X_{Cu}) - 3(1 - X_{Cu})^{2/3}$  yaitu hubungan antara fraksi tembaga yang larut ke dalam larutan asam sulfat dengan waktu reaksi

**Tabel 2.** Konstanta laju reaksi pelarutan tembaga dari *malachite*

Temperatur reaksi (° C)	k x 10 <sup>-4</sup> mol/detik
30	8
40	49
50	208
60	4117

Hubungan antara konstanta laju reaksi k dengan temperatur, menurut Arrhenius mengikuti persamaan 3 sebagai berikut:

$$k = A \exp (-E_A/RT) \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

k = konstanta laju reaksi,

A = tetapan Arrhenius,

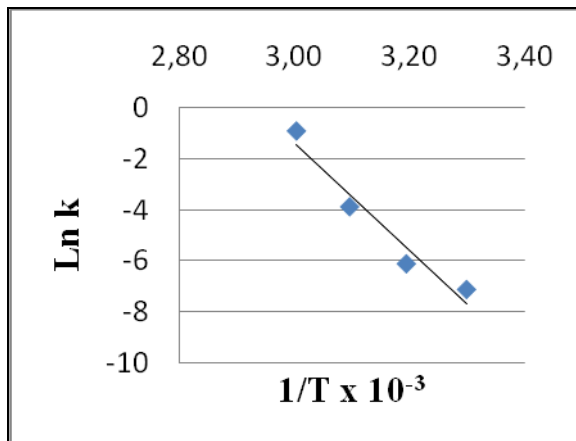
Ea = energi aktivasi

R = tetapan gas ideal

T = temperatur

Sehingga apabila nilai logaritmik dari konstanta laju reaksi k yang diperoleh dari Tabel 2 digambarkan sebagai fungsi (1/T) sebagaimana diperlihatkan oleh Gambar 13, maka dari kemiringan kurva pada Gambar 13, diperoleh energi aktivasi 41 kkal/mol.





**Gambar 13.** Kurva Arrhenius untuk proses pelarutan Cu dari *Malachite*

## KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan untuk mempelajari kinetika reaksi pelarutan tembaga dari bijih *malachite* dengan menggunakan larutan asam sulfat sebagai bahan pelarut. Dari hasil percobaan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Malachite* yang diperoleh dari daerah Banten mempunyai kandungan tembaga 5,83 %, besi 2,65 %.
2. Pada saat proses pelarutan dengan menggunakan larutan asam sulfat 7,5 %, unsur tembaga dan besi yang terdapat pada bijih *malachite* dapat dilarutkan ke dalam larutan asam sulfat, sedangkan senyawa silikat dan timbal yang ada dalam *malachite* tidak larut ke dalam asam sulfat, dimana pada temperatur 60 °C dan waktu reaksi 2 jam, sebanyak 95,63 % tembaga dan 28 % besi larut dari *malachite* ke dalam asam sulfat.
3. Adanya senyawa silikat dan timbal sulfat menyebabkan reaksi pelarutan tembaga dari *malachite* dikendalikan oleh proses difusi, dengan energi aktivasi 41 kkal/mol.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] International Copper Study Group. 2012. World Copper Factbook 2012. (<http://www.icsg.org>, diakses 3 September 2013).
- [2] Basto, E. 2012. Escondida site tour, (<http://www.bhpbilliton.com/home/investors/reports/Documents/2012>, diakses 3 September 2013).
- [3] Departemen Pertambangan dan Energi. 1998. *Potensi dan Prospek Investasi di Sektor Pertambangan dan Energi 1998-1999*.
- [4] *Peta Ekonomi Mineral Dit. Sumber Daya Mineral*.1997.
- [5] (<http://regional/investment.go.id>, diakses 3 September 2013).
- [6] Bingol, M. Canbazoglu. 2004., "Dissolution kinetics of malachite in sulphuric acid". *Hydrometallurgy*.: 72, hal 159-162.
- [7] J.H. Canterford, and P.T. Davey, G. Tsambourakis. 1985., "The influence of ferric iron on the dissolution of copper from lump oxide ore: Implications in solution mining". *Hydrometallurgy*.: vol 15, Issue 1, hal 93–112.
- [8] Xi Wanga et.al. 2009., "Solubility prediction of malachite in aqueous ammoniacal ammonium chloride solutions at 25 °C". *Hydrometallurgy*.: vol 99, Issues 3–4, hal. 231–237.
- [9] D. Bingöla, M. Canbazoglu, and S. Aydoğan. 2005., "Dissolution kinetics of malachite in ammonia/ammonium carbonate leaching". *Hydrometallurgy*.: vol 76, Issues 1–2, hal. 55–62.
- [10] Barlett, R.W. 1992. *Solution Mining, Leaching and Fluid Recovery of Materials*. Philadelphia : Gordon & Breach Publisher, vol 5 , hal. 76–107.
- [11] Octave Levenspiel. 1972. *Chemical reaction Engineering, 2nd edition*. New York Wiley International.

