

ELIMINASI OKSIDA BESI DARI KAOLIN NAGREG DENGAN METODE PEMISAHAN CAIRAN-CAIRAN

Iron Oxide Removal from Kaolin of Nagreg by Liquid-Liquid Separation Method

TRISNA SOENARA, NGURAH ARDHA dan RETNO DAMAYANTI

Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara
Jalan Jenderal Sudirman 623, Bandung 40211
Telp. 022 6030483, Fax. 022 6003373
e-mail: ngurah@tekmira.esdm.go.id.

SARI

Uji eliminasi oksida besi dari kaolin Nagreg telah dilakukan dengan metode pemisahan cairan-cairan sebagai upaya untuk meningkatkan kualitas kaolin tersebut. Pemisahan mineral oksida besi dari kaolin berlangsung berdasarkan prinsip pemisahan luluhan kaolin dalam air dengan zarah-zarah mineral oksida besi dalam minyak. Minyak tanah dan air adalah dua cairan pemisah. Amonium sulfat dan asam oleat masing-masing sebagai aktifator dan surfaktan untuk mineral oksida besi. Hasil uji menunjukkan bahwa mineral oksida besi yang direpresentasikan oleh komponen Fe_2O_3 dapat dikurangi yang awalnya berkadar 3,61% menjadi 1,08% dengan keterpisahannya sebesar 86,4%.

Kata kunci : pemisahan cairan-cairan, oksida besi, kaolin, mineral

ABSTRACT

The present laboratory work deals with liquid-liquid separation tests that was conducted to improve the quality of Nagreg kaolin clay. The tests were performed on the samples to remove iron oxide by separating water-kaolin slurry and oil-iron oxide minerals. Kerosene and water were used as two-liquids separator. Ammonium sulphate and oleic acid were used as activator and surfactant of iron oxide minerals respectively. The test results show that the iron oxide content represented by Fe_2O_3 can be reduced from initial grade of 3.61% down to 1.08% with separation ability 86.4%.

Keywords: liquid-liquid separation, iron oxide, kaolin, mineral.

PENDAHULUAN

Salah satu bahan galian bukan logam yang banyak dibutuhkan oleh berbagai industri adalah kaolin, yaitu material alami yang terbentuk dari hasil pelapukan dan dekomposisi batuan felspar menjadi alumina silikat terhidrasi dengan mineral utama kaolinit ($2H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) dan/atau haloisit [$Al_2Si_2O_5(OH)_4$]. Kaolinit dan haloisit sifat fisiknya sama, tetapi haloisit memiliki gugus hidroksil yang lebih panjang. Industri-industri yang membutuhkan kaolin adalah industri keramik, kertas, cat, karet, keramik refraktori, katalis, semen, fiber glas, kosme-

tik, obat. Ada 2 (dua) kategori kaolin berdasarkan proses pemanfaatannya yaitu kaolin hidrat standar dan kaolin nirhidrat (Ariffin, 2003). Kedua kategori kaolin tersebut masing-masing membutuhkan persyaratan-persyaratan tertentu antara lain distribusi ukuran dan bentuk zarah, kecerahan warna, daya antar listrik/panas yang rendah, rheologi. Kaolin nirhidrat adalah kaolin yang telah melalui proses perubahan struktur menjadi mulit ($Al_2Si_2O_5$) misalnya melalui proses kalsinasi. Sedangkan kaolin hidrat standar adalah kaolin alami yang telah melalui proses eliminasi pengotornya dengan cara fisika dan/atau kimia yang telah memenuhi standar ba-

han baku industri. Kaolin yang terdapat di Nagreg, Jawa Barat, masih mengandung banyak pengotor sehingga belum memenuhi kategori kaolin standar. Persyaratan-persyaratan kualitas kaolin untuk industri memang beragam dan variatif tergantung peruntukannya, namun percobaan ini hanya akan memfokuskan pada upaya eliminasi kandungan oksida besinya saja.

Permasalahan yang ada pada kaolin Nagreg adalah kandungan oksida besinya sangat tinggi yaitu 3,61% Fe_2O_3 , warnanya nampak agak kecoklatan dengan derajat putih yang rendah. Persyaratan kaolin sebagai bahan pengisi kertas membutuhkan kadar $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0,92\%$ dengan derajat putih 79 – 83,5%; kaolin untuk pelapis kertas kadar $\text{Fe}_2\text{O}_3 \leq 0,52\%$, dengan derajat putih $> 83\%$. Menurut Aref dkk (2009) derajat putih kaolin tergantung kandungan oksida besi dan titanium, untuk kaolin berkadar $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,31\%$ derajat putihnya = 60%; berkadar $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1,05\%$ derajat putihnya = 72% sedangkan berkadar $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 0,7\%$ derajat putihnya = 82,2%. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian penurunan kadar oksida besi dari kaolin Nagreg.

Hingga saat ini peningkatan kualitas kaolin di Indonesia masih menggunakan teknik konvensional yaitu proses basah dan/atau kering. Proses basah dilakukan dengan cara penggilingan, pencucian, dekantasi, dilanjutkan dengan pengeringan (Rasjad dkk, 2009), sedangkan proses kering dilakukan dengan cara penggerusan langsung dipilah ukurannya melalui siklon udara, namun kedua proses tersebut memberikan hasil kaolin dengan kandungan pengotor oksida besi yang masih cukup tinggi. Shumkov dkk (1990), memisahkan oksida besi dari kaolin dengan menggunakan *high gradient magnetic separator* dengan hasil yang tidak terlalu baik. Percobaan membuang kontaminan menggunakan cara bertingkat mulai dari flotasi, flokulasi, pelarutan dan pengawa-airan oleh Asmatulu (2002) dapat menghasilkan kaolin super hidrofobik dengan derajat putih hingga 91%. Pemurnian kaolin dengan cara flokulasi dilakukan oleh Luz and Middea (2004) untuk memisahkan kandungan rutil melalui rangkaian proses flokulasi, pengayakan, pengondisian dan dekantasi yang menghasilkan kaolin dengan derajat kecerahan meningkat dari 82% menjadi 88%. Pengembangan teknologi benefisasi kaolin cara kering dilakukan oleh Sung-Bae dkk (2007) dengan alat klasifayer-udara pada batas ukuran terpisah 34 μm yang mampu membuang 20% Fe_2O_3 , 50% CaO , 50% TiO_2 dan meningkatkan plastisitas serta derajat putihnya. Arslan dan Bayat

(2009) melakukan percobaan memisahkan oksida besi dari kaolin dengan metode pelarutan kimia dibandingkan dengan cara pelarutan bio (*bacterial leaching*), yaitu pelarut kimiawi asam oksalat mampu menurunkan kandungan Fe_2O_3 dari 1,723% menjadi 0,088% dalam waktu 2 jam pelarutan, sedangkan cara pelarutan bio menggunakan *Aspergillus niger* sebagai penghasil asam oksalat hanya mampu menurunkan kandungan Fe_2O_3 dari 1,723% menjadi 0,394% dalam waktu proses 21 hari. Bertolino dkk (2010) menurunkan kadar oksida besi dari kaolin dengan cara kombinasi pemisahan magnetik dan pelarut kimia (Na-dithionit) dengan hasil peningkatan derajat putih mencapai $> 86\%$. Penelitian-penelitian tersebut di atas semuanya menggunakan cara-cara mekanisme gravitasi, magnetik dan pelarutan kimia, namun eliminasi kontaminan kaolin dengan metode pemisahan cairan-cairan yang berdasarkan hidrofobisitas mineral oksida besi, referensinya masih jarang.

Penurunan kadar oksida besi dari kaolin Nagreg pada percobaan ini dilakukan dengan metode pemisahan cairan-cairan. Metode ini pada prinsipnya memisahkan fase cairan minyak dan fase air. Mineral oksida besi berada di dalam fase minyak sedangkan mineral kaolin berada di dalam fase air. Mineral-mineral oksida besi (hematit, magnetit, limonit) diupayakan agar berada di dalam fase minyak dengan mengubah sifat permukaannya menjadi bersifat gamang air (*hydrophobic*) dengan cara menambahkan reagen surfaktan yaitu asam oleat seperti dalam proses flotasi (Xuede and Kewu, 1993). Asam oleat dapat menyelaputi permukaan mineral-mineral oksida besi secara selektif jika telah memenuhi kondisi tertentu antara lain pH luluhan bahan kaolin, konsentrasi asam oleat, konsentrasi aktifator. *Iso-electric point* (IEP) relatif dari mineral-mineral magnetit, hematit, limonit dan kaolin masing-masing pada pH 6,5; 6,8; 5,4 dan 4,8 (Xuede and Kewu, 1993), sedangkan asam oleat merupakan surfaktan bersifat anionik sehingga kationnya yang akan berinteraksi dengan ion-ion oksida besi. Ion-ion oksida besi memiliki potensial negatif pada $\text{pH} > 5,4$. Oleh karena itu, kondisi pH luluhan kaolin yang cocok untuk membuat permukaan mineral oksida besi menjadi gamang air adalah pada $\text{pH} > 5,4$ (Bulatovic, 2007). Oleh karena itu, percobaan-percobaan dalam penelitian ini berlangsung pada $\text{pH} > 5$.

Percobaan eliminasi kadar oksida besi dari kaolin Nagreg dengan metode pemisahan cairan-cairan ini dilakukan di laboratorium dengan menggunakan

bahan-bahan yang mudah diperoleh, seperti minyak tanah (*kerosene*) dan asam oleat serta larutan amonium sulfat. Keberhasilan percobaan ini ditentukan oleh kadar oksida besi yang serendah mungkin yang mungkin masih tertinggal dalam kaolin.

METODOLOGI

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah:

- Batuan kaolin berasal dari Kecamatan Nagreg, Kabupaten Bandung, Jawa Barat, yang telah dikeringkan dan digerus berukuran lolos 200 mesh
- Minyak tanah dan air sebagai media pemisah.
- Asam oleat [$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}$] dan amonium sulfat [$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$] serta sodium karbonat (Na_2CO_3) yang masing-masing berfungsi sebagai bahan kimia untuk surfaktan dan aktifator oksida besi serta pengatur pH.

Peralatan

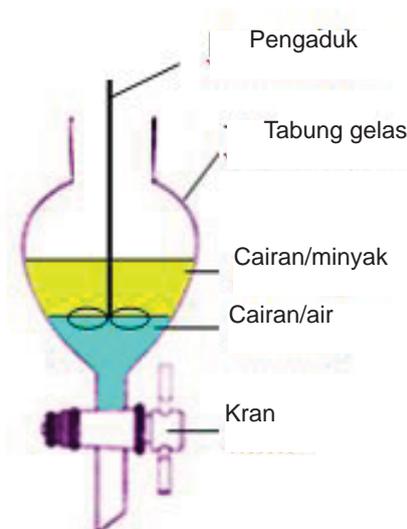
Peralatan utama sebagai bejana tempat mengontakkan kaolin dengan bahan kimia adalah satu unit tabung pemisah (*separator funnel*) yang dilengkapi pengaduk seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Metode

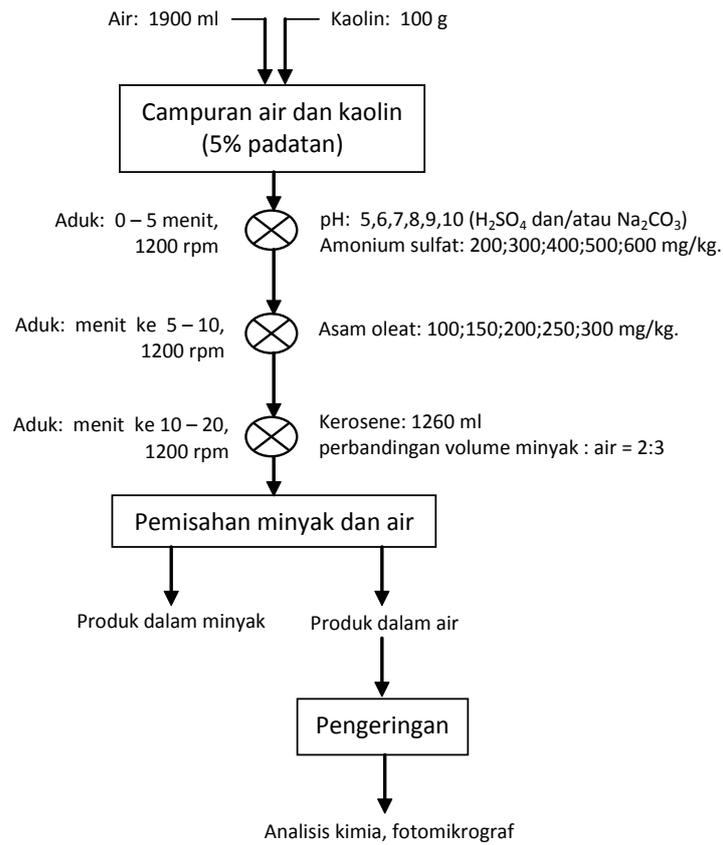
Prosedur dan variabel percobaan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 2 dan Tabel 1. Semua percobaan dilakukan secara duplo.

Pemisahan Oksida Besi dari Kaolin

Percontoh kaolin (-200 mesh) dan air dicampur dan diaduk membentuk luluhan. Sodium karbonat digunakan sebagai pengatur pH luluhan, sedangkan garam amonium sulfat sebagai penyangga (*buffer*) dengan fungsi sebagai pengaktif permukaan mineral agar surfaktan lebih kuat menyelaputi permukaan mineral oksida besi. Asam oleat ditambahkan yang berfungsi sebagai surfaktan oksida besi, kemudian minyak tanah dimasukkan ke dalam luluhan dengan perbandingan volume 3 bagian air dan 2 bagian minyak tanah. Minyak dalam air terdispersi dalam bentuk butiran-butiran minyak (*oil droplet*). Oksida besi yang sudah bersifat gamang air akan menempel pada butiran-butiran minyak, sedangkan kaolin secara alami bersifat lekat air sehingga akan terdispersi di dalam air. Berat jenis minyak lebih kecil daripada berat jenis air, namun pada kondisi teraduk; cairan minyak berbentuk butiran-butiran terdispersi di dalam air, sedangkan pada kondisi diam kedua cairan minyak dan air akan terpisah, sehingga mineral oksida besi dapat terpisah dari kaolin. Mekanisme pemisahannya dapat dilihat



Gambar 1. Sketsa peralatan percobaan



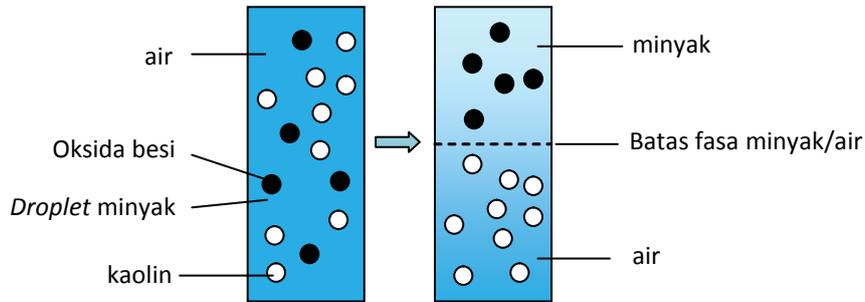
Gambar 2. Prosedur dan variabel percobaan

Tabel 1. Variasi parameter percobaan

No.	Konsentrasi Asam Oleat (mg/kg)	pH	Konsentrasi Amonium Sulfat (mg/kg)
1	100	9	400
2	150		
3	200		
4	250		
5	300		
6	200	5	400
7		6	
8		7	
9		8	
10		9	
11		10	
12	200	9	200
13			300
14			400
15			500
16			600

seperti pada Gambar 3. Analisis kimia dilakukan terhadap oksida besi yang direpresentasikan oleh kandungan Fe_2O_3 yang masih tersisa pada kaolin dalam fasa air.

Hasil analisis kimia percontoh kaolin Nagreg menunjukkan kadar oksida besi sebesar 3,61% (Tabel 2).



Gambar 3. Mekanisme pemisahan oksida besi dari kaolin

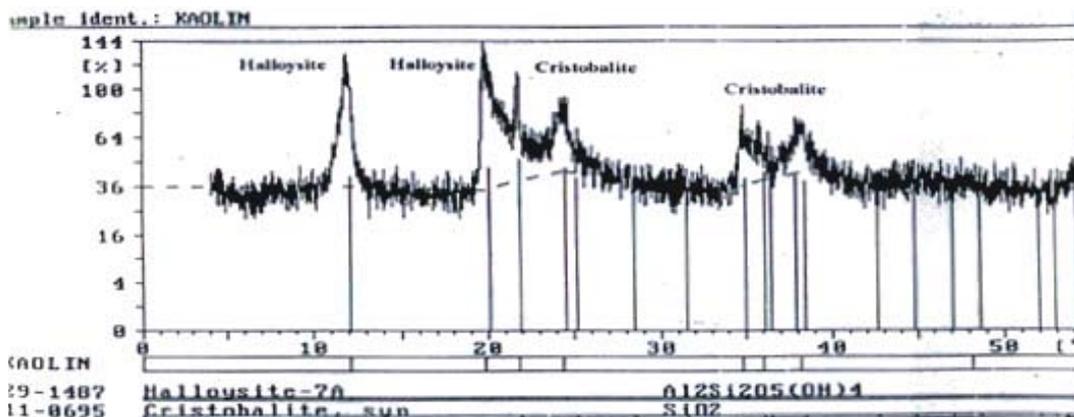
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Umum Kaolin Nagreg

Hasil analisis mineralogi terhadap percontoh kaolin Nagreg diketahui mengandung mineral-mineral haloisit [$Al_2Si_2O_5(OH)_4$], kristobalit (SiO_2), hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4) dan sedikit limonit ($2Fe_2O_3 \cdot H_2O$). Sedangkan hasil analisis deteksi mineral dengan XRD (Gambar 4) hanya menunjukkan mineral-mineral dominan haloisit [$Al_2Si_2O_5(OH)_4$] dan kristobalit (SiO_2).

Berdasarkan pengamatan mikroskop optik diketahui bahwa percontoh kaolin Nagreg pada ukuran lolos 200 mesh, mineral-mineral pengotor oksida besi seperti magnetit (M) dan hematit (H) sudah terliberasi hampir sempurna sebesar 98 dan 97,43% (Gambar 5).

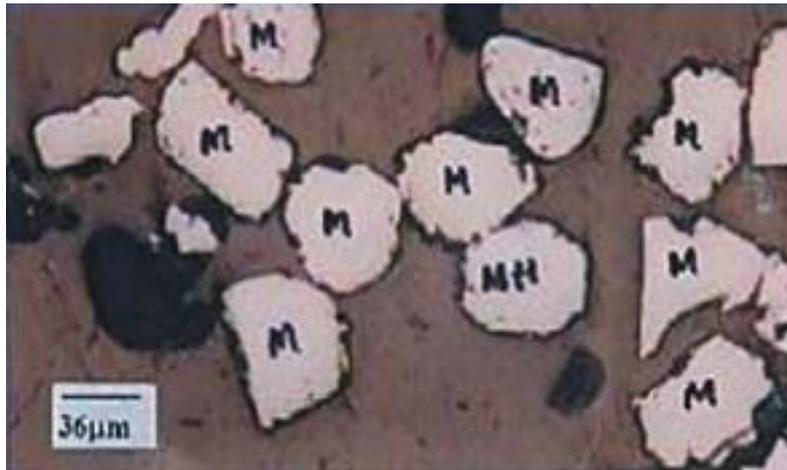
Mengacu pada hasil karakterisasi percontoh kaolin Nagreg yang mengandung oksida besi sebesar 3,61% dan mineral-mineralnya sudah terliberasi hampir sempurna pada ukuran lolos 200 mesh seperti telah dijelaskan di atas, maka disiapkan



Gambar 4. Hasil analisis XRD percontoh kaolin Nagreg

Tabel 2. Hasil analisis kimia

Fraksi (Mesh)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
+ 200	46,78	34,82	3,58	0,47	0,05	0,05	0,22	0,11
-200+ 270	46,87	34,59	3,67	0,46	0,07	0,06	0,21	0,13
-270+ 325	46,93	34,69	3,63	0,50	0,08	0,07	0,20	0,12
-325	46,91	34,79	3,61	0,49	0,07	0,05	0,21	0,14
Bulk	46,9	34,78	3,61	0,48	0,07	0,06	0,2	0,13



Gambar 5. Fotomikrograf kaolin berukuran -200 mesh, magnetit (M) dan hematit (H) sudah terliberasi.

percontohan kaolin untuk percobaan-percobaan eliminasi oksida besi dilakukan dengan menggerusnya menjadi ukuran 100% lolos 200 mesh dengan parameter-parameter proses seperti tercantum pada Tabel 1.

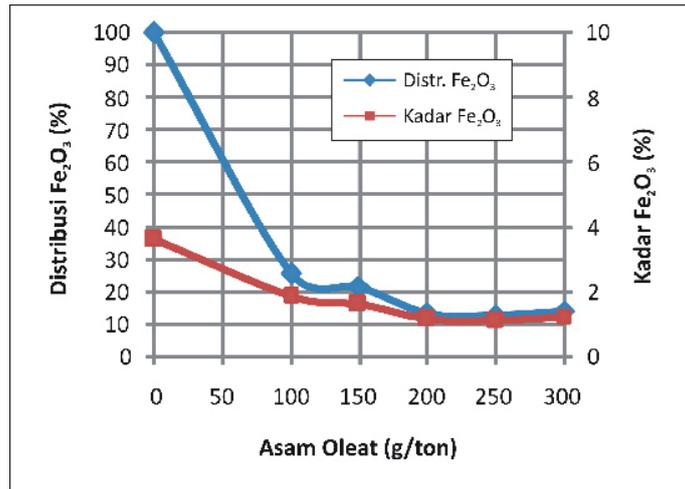
Pengaruh Asam Oleat

Gambar 6 menunjukkan pengaruh asam oleat terhadap penurunan kadar oksida besi dalam kaolin. Terlihat jelas bahwa penambahan asam oleat dengan konsentrasi hingga 200 g/ton, pH 9 dan amonium sulfat 400 g/ton, menyebabkan distribusi oksida besi dalam kaolin menurun hingga 13% yang berarti sebanyak 87% oksida besi dapat ditangkap masuk ke dalam fase minyak. Kadar oksida besi yang tersisa dalam kaolin menurun hingga 1,14% Fe₂O₃ dari semula berkadar 3,61% Fe₂O₃. Penurunan kadar oksida besi dalam kaolin jelas disebabkan oleh adanya fungsi asam oleat sebagai surfaktan atau pengatur permukaan oksida besi menjadi gamang air kemudian masuk ke dalam

fase cairan minyak dan terpisah dari kaolin yang berada dalam air. Namun penambahan surfaktan lebih dari 200 g/ton cenderung tidak menimbulkan perubahan yang signifikan dengan tren asimptotis. Hal ini mungkin disebabkan karena konsentrasi asam oleat yang sudah jenuh. Terlalu banyak asam oleat cenderung meningkatkan emulsi fase minyak dalam fase air yang menyebabkan tegangan antar muka fase minyak dan fase air menurun dan mungkin mempermudah kaolin bisa masuk ke dalam fase minyak (Xuede dan Kewu, 1993). Oleh karena itu, percobaan-percobaan berikutnya ditetapkan menggunakan konsentrasi asam oleat 200 g/ton.

Pengaruh pH

Pengaruh variasi pH (antara pH 5 – pH 10) terhadap penangkapan oksida besi oleh cairan minyak yang ditengarai oleh besaran distribusi dan kadarnya nampak tidak terlalu signifikan seperti terlihat pada Gambar 7. Distribusi besi oksida yang masih tersisa dalam kaolin sebanyak 13,6 – 18,9% yang berarti



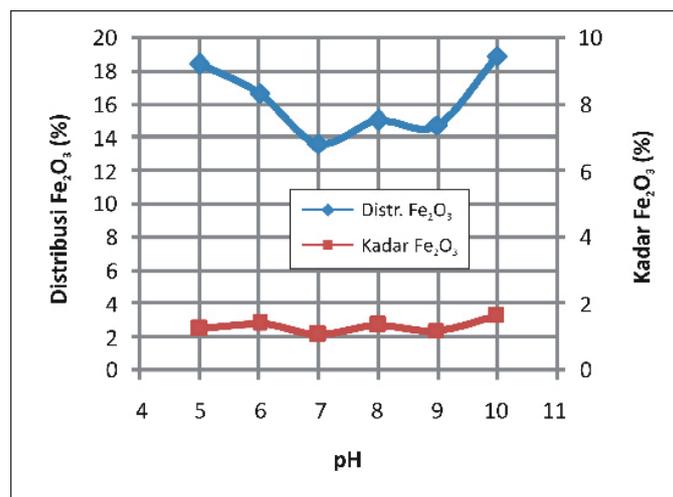
Gambar 6. Pengaruh asam oleat terhadap penurunan kadar oksida besi dan distribusi tertinggal pada kaolin Nagreg

86,4 – 81,1% yang dapat dipisahkan oleh minyak. Kecilnya perubahan distribusi dan kadar oksida besi yang dapat dipisahkan oleh fase minyak pada pH antara 5 – 10 mungkin disebabkan oleh nilai zeta potensial antara kaolin dengan oksida besi khususnya limonit sangat berdekatan yaitu pada pH 5 nilai *iso-electric point* (IEP)-nya sekitar -11mV dan + 2mV. Pada pH 10 nilai *iso-electric point* (IEP)-nya sekitar -60mV dan -50mV. Tetapi pada pH 7 nilai *iso-electric point* (IEP)-nya sedikit melebar yaitu sekitar -52mV dan -15mV (Xuede dan Kewu, 1993). Hal ini menunjukkan bahwa kondisi terbaik pada pH 7 yang menyebabkan distribusi oksida besi yang tersisa dalam kaolin paling rendah (13,6%) dengan

kadar juga paling rendah (1,08%); atau dengan kata lain, pada pH 7 oksida besi tertangkap oleh fase minyak paling banyak yaitu sekitar 86,4%.

Pengaruh Amonium Sulfat

Amonium sulfat [(NH₄)₂SO₄] berfungsi sebagai akti-faktor oksida besi sehingga sifat hidrofobisitas oksida besi menjadi lebih besar. Menurut Xuede dan Kewu (1993), semakin tinggi konsentrasi amonium sulfat, adsorpsi surfaktan asam oleat oleh permukaan oksida besi semakin tinggi, yang berarti semakin tinggi sifat gamang air oksida besi, sehingga semakin besar kemungkinan oksida besi tertangkap atau masuk

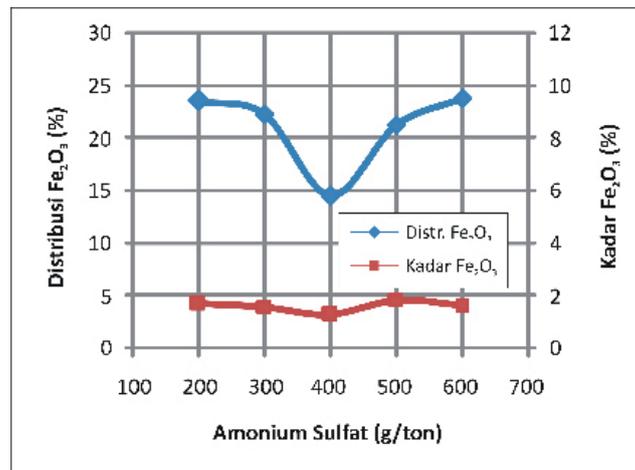


Gambar 7. Pengaruh pH terhadap penurunan kadar oksida besi dan distribusi tertinggal pada kaolin Nagreg

ke fase minyak. Hasil percobaan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa penggunaan amonium sulfat konsentrasi 200 - 400 g/ton menyebabkan distribusi besi oksida yang tersisa dalam kaolin menurun drastis dari 23,5% menjadi 14,5% dengan kadar 1.3% Fe_2O_3 ; atau dengan kata lain distribusi oksida besi yang bisa ditangkap oleh fase minyak cukup tinggi sebesar 76,5 - 85,5%. Sebaliknya jika konsentrasi amonium sulfat ditingkatkan melebihi 400 g/ton, maka distribusi oksida besi yang ada dalam kaolin justru meningkat kembali (walaupun kadarnya relatif menurun dari semula 3,61% Fe_2O_3

menjadi sekitar 1,3 – 1,8% Fe_2O_3). Hal ini mungkin disebabkan karena semakin tinggi konsentrasi amonium sulfat menyebabkan sebagian kaolin yang berikatan dengan oksida besi ikut bersifat gamang air, akibatnya yang tertangkap oleh fase minyak di samping oksida besi juga sebagian kaolin.

Percobaan awal untuk mengeliminasi oksida besi dari kaolin dengan metode pemisahan cairan-cairan, pada prinsipnya bisa dilakukan dengan hasil yang cukup baik namun belum maksimal. Hasil-hasil percobaan (Gambar-gambar 6, 7 dan 8) masih



Gambar 8. Pengaruh amonium sulfat terhadap penurunan kadar oksida besi dan distribusi tertinggal pada kaolin Nagreg.



Gambar 9. Fotomikrograf kaolin Nagreg hasil percobaan pemisahan oksida besi, ditemukan magnetit (M) *interlock* dengan mineral bukan logam (NL)

menunjukkan adanya mineral oksida besi yang terdistribusi sebanyak 13-14% dalam kaolin hasil pengolahan dengan kadar sekitar 1,08% Fe₂O₃. Percobaan ini belum mampu menurunkan kadar oksida besi < 1,08%. Produk pemurnian kaolin hasil percobaan diperiksa dengan mikroskop dan hasilnya diperlihatkan pada Gambar 9. Tampak bahwa pada kaolin hasil percobaan pemisahan oksida besi masih ditemukan adanya zarah oksida besi berupa magnetit yang berukuran sekitar 1 µm interlock dengan mineral bukan logam (haloisit).

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari percobaan dapat disimpulkan bahwa mineral-mineral oksida besi pada prinsipnya dapat terpisah dari kaolin dengan metode pemisahan cairan-cairan. Hasil yang dicapai dalam percobaan awal ini mampu mengurangi kandungan oksida besi dari kaolin yang semula berkadar 3,61% Fe₂O₃ menjadi 1,08% Fe₂O₃, dengan kondisi percobaan pemakaian asam oleat 200 g/ton, pH = 7 dan amonium sulfat 400 g/ton. Jumlah oksida besi yang dapat terpisah sekitar 86,4%. Untuk tipikal kaolin Nagreg, keberadaan oksida besi ultra halus ($\pm 1 \mu\text{m}$) masih ditemukan interlock dengan kaolin. Oleh karena itu, pada ukuran zarah -200 mesh seluruh oksida besi kecil kemungkinan dapat dieliminasi dengan sempurna.

Saran

Hasil percobaan ini belum optimal dan keberadaan mineral oksida besi kemungkinan masih bisa dieliminasi lebih banyak lagi agar sesuai dengan standar pemanfaatan kaolin untuk industri dengan menggunakan bahan kimia surfaktan dan aktifator lain, variasi perbandingan minyak dan air, kecepatan aduk, atau dengan mencoba terhadap jenis kaolin dari daerah lain. Selain itu, perlu dikaji resirkulasi minyak yang masih bercampur dengan air untuk mengurangi resiko lingkungan jika kelak diterapkan dalam skala industri. Perlu juga dibandingkan dengan proses flotasi oksida besi dari kaolin.

DAFTAR PUSTAKA

- Aref, A., Shameri A.L., and Rong L.X., 2009. Characterization and evaluation of Algaof kaolin deposits of Yemen for industrial application, *American Journal of Engineering and Applied Science*, 2(2), p.292–296.
- Ariffin, K.S., 2003. *Lempung perindustrian dan mineralogi lempung*, EBS 425 – Mineral Perindustrian Lempung, <http://mineral.eng.usm.my/pdf/>, diakses 5/11/2011, jam.11.00
- Arslan V., and Bayat O., 2009. Removal of Fe from kaolin by chemical leaching and bioleaching, *Clays and Clay Minerals*, Vol. 5, No. 6, Clay Minerals Society, Desember, p.787–794.
- Asmatulu R., 2002; Removal of the discoloring contaminants of an East Georgia kaolin clay and its dewatering, *Turkish J. Eng. Env. Sci*, Vol. 26, p.447–453.
- Bertolino L.C., Rossi A.M., Scorzelli R.B., and Torem M.L., 2010. Influence of iron on kaolin whiteness: An electro paramagnetic resonance study, *Applied Clay Science*, Vol. 49, Issue 3, July, pp.170 – 175.
- Bulatovic S.M., 2007. *Handbook of flotation reagents*, Elsevier Science & Technology Books, ISBN: 0444530290.
- Luz, A.B., and Middea A., 2004. Purification of kaolin by selective flocculation, Particle size enlargement in mineral processing, *Fifth UBC-MCGill Biennial International Symposium*, editor J.S. Laskowski, Ontario, Canada.
- Rasjad S.S., Zulkarnain, Anugrah R.I, dan Supriatna J., 2009. Proses pengolahan mineral kaolin untuk bahan baku metakaolin, *Laporan penelitian*, Puslitbang tekMIRA.
- Shumkov S.; Dimitrov Z., and Shoumkeva A., 1990. *High intensity magnetic treatment of kaolin clay and porcelain slurry*, University of Chemical Technology and Metallurgy, 1756 Sofia, Bulgaria.
- Sung-Bae K.; Yun-Jong K., and Sung-Baek C., 2007; Recovery of high-grade kaolin and their properties, *Geosystem Engineering*, 10 (3), September, p.41–46.
- Xuede H., and Kewu W., 1993; A study of iron removal from fine kaolin by flotation, *XVIII International Mineral Processing Congress*, Sydney, 23 – 28 May, p.1389.