

Perubahan struktur kristal dan indeks kerja bijih emas Cimanggu, Jawa Barat akibat pemanasan gelombang mikro

Arief Sudarsono^{*}, Sudaryanto^{**}, Pramusanto^{***}

^{*}Jurusan Teknik Pertambangan, ITB

^{**}Jurusan Teknik Pertambangan, UPN "Veteran", Yogyakarta

^{***}Puslitbang Teknologi Mineral, Departemen Pertambangan dan Energi

Masuk: Desember 1998; revisi masuk: Desember 1998; diterima: Januari 1999

Sari

Energi yang dibutuhkan pada proses kominusi dapat mencapai 50-70% dari keseluruhan energi yang digunakan pada pengolahan mineral. Karena itu, diperlukan usaha untuk menurunkan pemakaian energi kominusi dengan mengubah sifat fisik bijih agar mudah hancur. Pemanasan gelombang mikro pada bijih sebelum kominusi merupakan salah satu alternatif yang dapat diterapkan. Pada penelitian ini telah diamati besarnya energi penggerusan bijih emas dari Cimanggu, Jawa Barat sebelum dan sesudah diperlakukan dengan pemanasan gelombang mikro. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan gelombang mikro dapat mengubah struktur fisik mineral. Perubahan struktur fisik mineral pembentuk batuan menyebabkan batuan tersebut menjadi lebih getas, dan adanya "internal stress" akibat kecepatan pemanasan yang tinggi menyebabkan timbulnya retakan sehingga dapat memperpendek waktu gerus dan menurunkan energi penggerusan. Dengan pemanasan gelombang mikro selama 5, 15, 30, 60, 120, dan 300 detik sebelum penggerusan, indeks kerja penggerusan dapat turun sekitar 20 sampai 35%.

Kata kunci : energi gelombang mikro, indeks kerja, kominusi, struktur kristal, bijih emas

Abstract

The influence of microwave heating on the crystal structure and work index of Cimanggu (West Java) gold ore

The energy consumed in the comminution can reach up to 50 – 70% of the whole energy consumed in the mineral processing. It is necessary to reduce the consumption of the comminution energy by changing the physical characteristic of the ore. The microwave energy heating used on the ore before comminution is one of the applicable alternatives. In this research the grinding energy of the Cimanggu gold ore, West Java, has been observed before and after the microwave heating treatment. The result indicates that the microwave treatment can cause physical structural changes on certain minerals, and the rock become more brittle. It can shorten and reduce the grinding time and energy. By microwave energy induced for 5, 15, 30, 60, 120, and 300 seconds prior to grinding, the work index was reduced by about 20 to 35%.

Keywords: microwave energy, work index, comminution, crystal structure, iron ore

1 Pendahuluan

Energi yang diperlukan untuk penggerusan suatu bijih dipengaruhi antara lain oleh sifat fisik bijih, jenis alat yang digunakan, dan mekanisme proses penggerusan. Energi yang digunakan pada kominusi dapat mencapai 50 – 70% dari seluruh energi yang digunakan pada operasi pengolahan bahan galian.

Bijih yang heterogen, porous, serta getas lebih mudah digerus dibandingkan dengan yang homogen, kompak, serta liat. Untuk mengubah sifat bijih yang kompak dan liat agar menjadi porous dan rapuh, salah satunya adalah dengan melakukan cara pemanasan sampai suhu tertentu sehingga^{1,2,3)} terjadi deformasi struktural. Pemanasan secara konvensional memerlukan waktu

yang relatif lama, karena dinding dan udara dalam tungku harus dipanaskan; selanjutnya, panas tersebut merambat ke permukaan bijih, kemudian ke bagian dalam bijih.

Pada pemanasan yang menggunakan energi gelombang mikro, tungku dan bagian dalamnya tidak dipanaskan. Energi gelombang mikro dipancarkan langsung ke dalam bijih, sehingga mineral yang mampu menyerap energi gelombang mikro akan cepat panas, dan akhirnya pemanasan bagian dalam bijih dapat langsung terjadi^{2,3,4,5)}. Dengan demikian, proses pemanasan dengan memanfaatkan energi gelombang mikro mempunyai keunggulan dibandingkan dengan cara konvensional antara lain: panas timbul sangat cepat dan diperoleh dengan seketika; langsung memanaskan

materialnya, bukan wadahnya; energi yang dipakai lebih hemat, yaitu sekitar 30% dibandingkan dengan cara konvensional; mempunyai selektivitas tinggi dan bersih tanpa asap.

Pemanfaatan energi gelombang mikro ini diharapkan dapat mengubah bijih yang kompak dan liat menjadi porous, getas, dan retak-retak sehingga dapat menurunkan energi yang digunakan untuk penggerusan.

Dalam penelitian ini akan dibandingkan indeks kerja Bond dari bijih emas sebelum dan sesudah pemanasan dengan gelombang mikro; juga diamati perubahan struktur mikro yang terjadi.

2 Energi penggerusan

Proses pengecilan ukuran partikel terjadi sebagai akibat kombinasi gaya tumbukan dan abrasi. Energi yang dibutuhkan untuk pemecahan partikel padat dapat dinyatakan dengan hubungan matematika^(6,7):

$$dE = \frac{-Kdx}{x^n} \dots\dots\dots(1)$$

dengan : E = energi yang dibutuhkan;
 K = tetapan
 x = ukuran partikel;
 n = eksponen

Menurut Rittinger (1867), energi yang dibutuhkan untuk pengecilan partikel sebanding dengan luas permukaan baru yang dihasilkan. Dengan demikian, nilai n menurut Rittinger adalah sama dengan 2. Dengan memasukkan harga n = 2 pada persamaan (1), diperoleh :

$$E_R = K_R \left[\frac{1}{x_2} - \frac{1}{x_1} \right] \dots\dots\dots(2)$$

dengan : E_R = energi penggerusan menurut Rittinger
 x₁ = ukuran partikel awal
 x₂ = ukuran partikel setelah penggerusan
 K_R = tetapan Rittinger

Menurut Kick (1885), energi yang digunakan untuk penggerusan suatu partikel merupakan fungsi langsung dari volume dan berat. Dengan memasukkan nilai n = 1 untuk Kick pada persamaan (1), didapat persamaan :

$$E_K = K_K \log \frac{x_1}{x_2} \dots\dots\dots(3)$$

dengan : E_K = energi penggerusan menurut Kick
 K_K = tetapan Kick

Bond (1951) juga mengembangkan suatu persamaan yang menyatakan bahwa energi yang diperlukan untuk penggerusan berkaitan langsung dengan luas

permukaan dan volume partikel. Dengan demikian, Bond mengusulkan nilai n = 1,5 yaitu di antara nilai n dari Kick dan nilai n dari Rittinger sehingga diperoleh:

$$E_B = K_B \left[\frac{1}{\sqrt{x_2}} - \frac{1}{\sqrt{x_1}} \right] \dots\dots\dots(4)$$

dengan : E_B = energi penggerusan menurut Bond
 K_B = tetapan Bond

Selanjutnya, apabila W adalah energi yang diperlukan untuk pengecilan ukuran partikel dalam kW jam per ton, F adalah ukuran lubang ayakan yang meloloskan umpan 80%, P adalah ukuran lubang ayakan yang meloloskan produk kominusi 80% (keduanya dinyatakan dalam mikron), dan W_i adalah indeks kerja, yaitu kW jam yang diperlukan untuk memperkecil ukuran material berukuran tak tertentu sebanyak 1 ton menjadi 80% lolos 100 mikron, maka:

$$W = \frac{10W_i}{\sqrt{P}} - \frac{10W_i}{\sqrt{F}} \dots\dots\dots(5)$$

atau $W_i = \frac{W\sqrt{F}}{\sqrt{F} - \sqrt{P}} \left[\sqrt{\frac{P}{100}} \right] \dots\dots\dots(6)$

3 Bahan dan alat percobaan

Bahan untuk penelitian ini adalah bijih emas dari pertambangan rakyat di daerah Cimanggu, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat. Bijih ini mula-mula digerus agar diperoleh ukuran awal yang sama, yaitu -6 mesh (3,36 mm) dengan distribusi ukuran seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

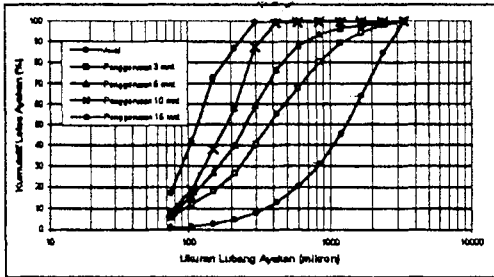
Tabel 1 Distribusi ukuran bijih emas untuk percobaan

Ukuran (µm)	Kumulatif lolos (%)
- 3360 + 2380	100,00
- 2380 + 1680	84,46
- 1680 + 1190	64,25
- 1190 + 840	45,60
- 840 + 595	31,09
- 595 + 420	20,73
- 420 + 297	12,95
- 297 + 210	7,77
- 210 + 149	4,66
- 149 + 105	2,59
- 105 + 74	1,55
- 74	1,04

Analisis mikroskopi bijih menunjukkan bahwa hampir 90% dari bijih emas berupa mineral kuarsa, sisanya mineral pirit, kovelit, kalkopirit, dan sfalerit. Bijih

tersebut mempunyai kekerasan 6 – 7 pada Skala Mohs, dan berat jenis 2,69.

Pada percobaan penggerusan digunakan Penggerus Bola Bond, yang mempunyai panjang dan diameter dalam yang sama, yaitu 30,5 cm. Jumlah media gerus 285 buah dengan diameter 1,52 cm – 3,8 cm. Kecepatan putarnya 70 RPM. Pengaruh penggerusan bijih awal tanpa pemanasan dengan gelombang mikro, melalui waktu penggerusan 3 sampai dengan 15 menit, dapat dilihat pada gambar 1.



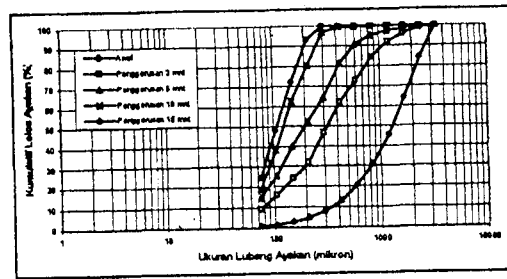
Gambar 1 Pengaruh waktu gerus terhadap distribusi ukuran produk penggerusan tanpa pemanasan

Tungku gelombang mikro (*microwave oven*) yang dipakai adalah buatan National, model NN – 8857, 220 volt dengan arus 6,5 amper. Dimensi ruang tungku adalah panjang 35,5 cm, lebar 35,5 cm, tinggi 23,5 cm. Diameter meja putar 32,5 cm. Jarak antara elektroda dengan pusat meja putar adalah 23 cm. Untuk meletakkan percontoh digunakan cawan keramik berdiameter 22 cm dan tebal 4 cm.

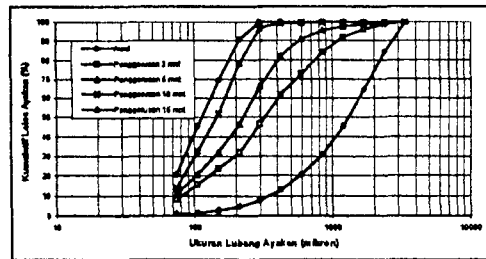
Pengukuran daya yang dipakai pada operasi penggerusan dilakukan dengan Power Hi Tester muatan Hioko, tipe 3303. Pada keadaan tanpa beban daya yang diperlukan 440 watt, dan pada beban 2000 gram diperlukan daya 480 watt.

Analisis struktur dilakukan dengan cara mikroskopi bijih pada pembesaran 200 kali sampai 500 kali, dan Scanning Electron Microscope dengan pembesaran 1000 kali sampai 6000 kali.

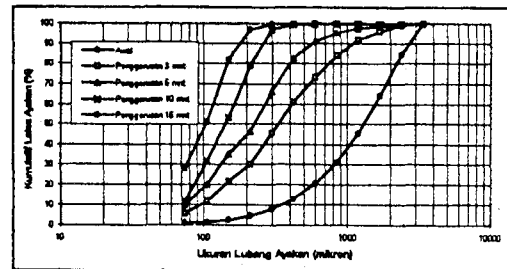
Percobaan dilakukan dengan cara memanaskan percontoh di dalam tungku gelombang mikro selama 5, 15, 30, 60, 120, 180, dan 300 detik. Pada setiap percobaan dipanaskan percontoh seberat 2000 gram. Segera setelah pemanasan, dilakukan penggerusan pada berbagai waktu gerus. Pada setiap akhir waktu gerus dilakukan pengayakan untuk mengetahui distribusi ukuran percontoh dalam 12 fraksi ukuran seperti yang dilakukan terhadap percontoh awal. Kemudian, percontoh dikumpulkan lagi untuk digerus kembali selama waktu berikutnya. Data distribusi ukuran setelah percontoh dipanaskan selama waktu tertentu, kemudian digerus dengan waktu gerus 3, 5, 10, dan 15 menit, diperlihatkan pada Gambar 2–8.



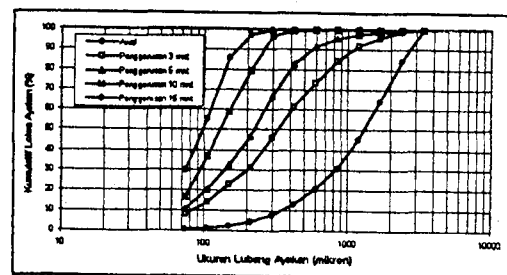
Gambar 2 Pengaruh waktu gerus terhadap distribusi ukuran produk penggerusan setelah pemanasan selama 5 detik



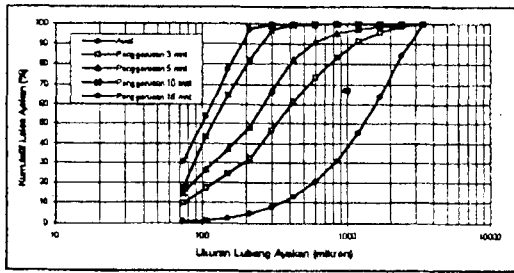
Gambar 3 Pengaruh waktu gerus terhadap distribusi ukuran produk penggerusan setelah pemanasan selama 15 detik



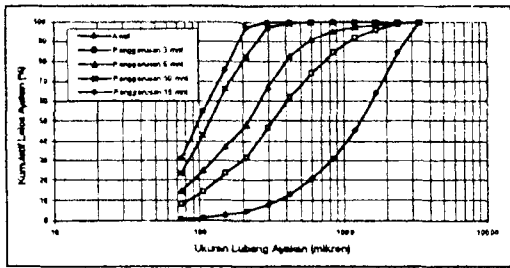
Gambar 4 Pengaruh waktu gerus terhadap distribusi ukuran produk penggerusan setelah pemanasan selama 30 detik



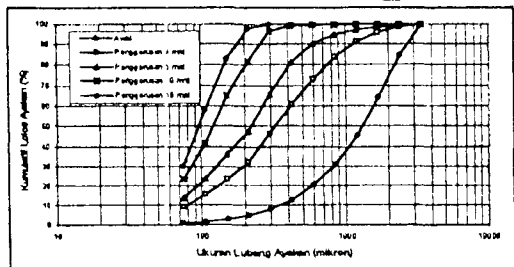
Gambar 5 Pengaruh waktu gerus terhadap distribusi ukuran produk penggerusan setelah pemanasan selama 60 detik



Gambar 6 Pengaruh waktu gerus terhadap distribusi ukuran produk penggerusan setelah pemanasan selama 120 detik



Gambar 7 Pengaruh waktu gerus terhadap distribusi ukuran produk penggerusan setelah pemanasan selama 180 detik



Gambar 8 Pengaruh waktu gerus terhadap distribusi ukuran produk penggerusan setelah pemanasan selama 300 detik

4 Pengamatan mikroskopik

Pengamatan percontoh secara mikroskopik memperlihatkan bahwa mineral logam sulfida mengalami perubahan struktur setelah menerima energi gelombang mikro seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9-15. Perubahan struktur ini disebabkan oleh adanya penyerapan energi gelombang mikro yang sangat cepat menimbulkan panas sehingga terjadi perubahan struktur pada mineral sulfida.

Pengamatan secara mikroskopik adalah sebagai berikut:

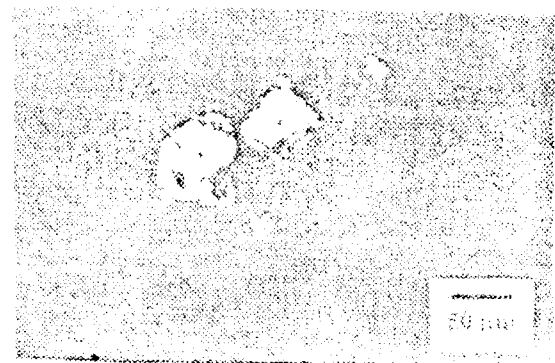
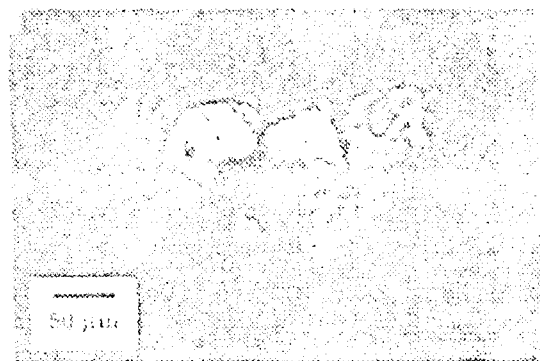
- Tanpa pemanasan gelombang mikro (Gambar 9. a dan 10. a)
Pirit (FeS_2) berwarna kuning cerah, kalkopirit ($CuFeS_2$) berwarna kuning kunyit, kovelit (CuS) berwarna hijau atau kuning kehijauan, sfalerit (ZnS) berwarna cokelat; semuanya terletak pada masa dasar kuarsa (SiO_2) berwarna gelap.
- Pemanasan gelombang mikro selama 60 detik (Gambar 9. b)

Mulai terjadi perubahan warna mineral kovelit menjadi hijau tua dan pada bagian pinggir mulai hitam, sedangkan mineral yang lain belum menunjukkan perubahan.

Pemanasan gelombang mikro selama 300 detik (Gambar 10. b)

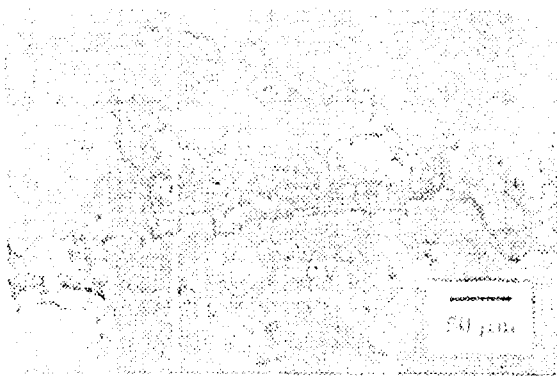
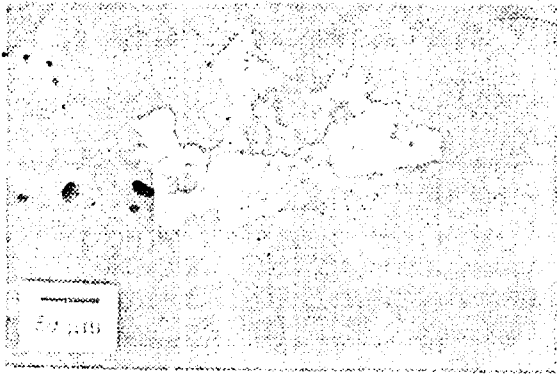
Kovelit dan kalkopirit berwarna kehitam-hitaman, mineral pirit pada bagian pinggirnya tampak seperti bekas terbakar, sfalerit dan kuarsa belum tampak perubahannya. Pada tahap ini sfalerit warnanya semakin gelap dan batas mineralnya agak bergerigi, sedangkan kuarsa belum menunjukkan perubahan. Retakan-retakan halus tampak jelas pada permukaan mineral.

Pengamatan mikroskopik menunjukkan bahwa mineral yang mula-mula mengalami perubahan struktur fisik adalah kovelit (CuS), kemudian berturut-turut kalkopirit ($CuFeS_2$), pirit (FeS_2), dan sfalerit (ZnS), sedangkan mineral kuarsa (SiO_2) tidak terpengaruh secara langsung oleh pemanasan gelombang mikro. Timbulnya panas yang sangat cepat dapat diduga sebagai penyebab timbulnya retakan-retakan yang berukuran halus di sekitar mineral yang mampu menyerap energi gelombang mikro sehingga mineral menjadi getas.



p : pirit, cv kovelit, k : kuarsa
a) keadaan awal
b) setelah pancaran gelombang mikro selama 60 detik

Gambar 9 Foto mikroskopik pada pembesaran 200 x sebelum dan sesudah pemanasan gelombang mikro selama 60 detik



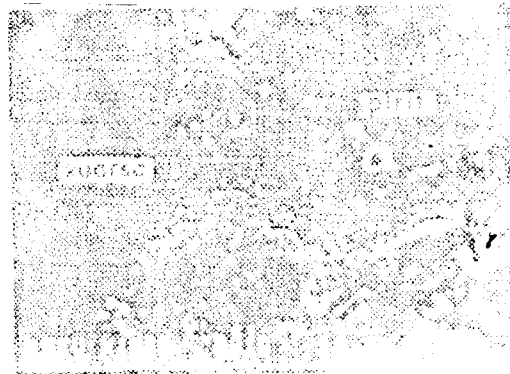
p : pirit, cv : kovelit, k : kuarsa c : kalkopirit
 a) keadaan awal
 b) setelah pancaran gelombang mikro selama 300 detik

Gambar 10 Foto mikroskopik pada pembesaran 200 x sebelum dan sesudah pemanasan gelombang mikro selama 300 detik

Berdasarkan pengamatan dengan SEM, pada pembesaran 1000–3000 kali (Gambar 11–15) diperoleh data sebagai berikut :

- Pemanasan gelombang mikro selama 5 detik (Gambar 11)
 Mineral pirit mulai berubah struktur; pada bagian pinggir terjadi retakan dan pecah-pecah kecil yang memisahkan pirit dan kuarsa. Perubahan yang terjadi pada bidang batas antarmineral ini yang menyebabkan penurunan indeks kerja secara cepat.
- Pemanasan gelombang mikro selama 15 detik (Gambar 12)

SEM percontoh yang mengalami pemanasan gelombang mikro selama 15 detik hasilnya relatif masih sama dengan pada pemanasan gelombang mikro selama 5 detik, hanya saja pada bagian tengah mineral pirit mulai terbentuk lubang-lubang kecil yang mungkin merupakan bekas tempat keluarnya gas yang terbentuk pada suhu tinggi seperti gas SO₂ dll. Hal ini dapat mengakibatkan retakan halus antarmineral menjadi kompak kembali sehingga penurunan indeks kerjanya berkurang.



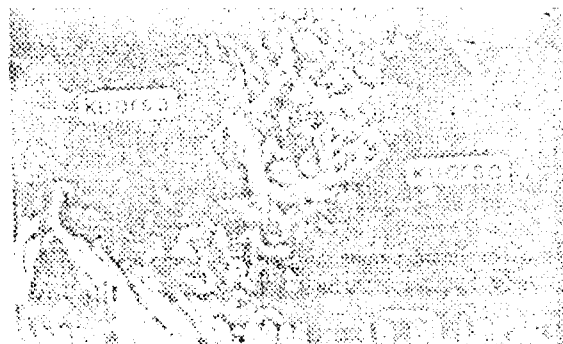
Gambar 11 Foto SEM percontoh dengan pembesaran 1000 x setelah pancaran gelombang mikro selama 5 detik



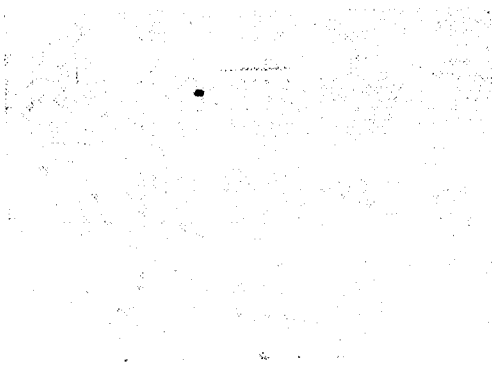
Gambar 12 Foto SEM percontoh dengan pembesaran 1000 x setelah pancaran gelombang mikro selama 15 detik

- Pemanasan gelombang mikro selama 30 detik (Gambar 13)
 Mineral kalkopirit sudah mengalami retak-retak dan permukaannya tidak rata (rusak). Sementara itu, mineral kuarsa mulai terpengaruh, terutama yang berbatasan langsung dengan kalkopirit dan kovelit.
- Pemanasan gelombang mikro selama 60 detik dan 120 detik (Gambar 14 dan 15)

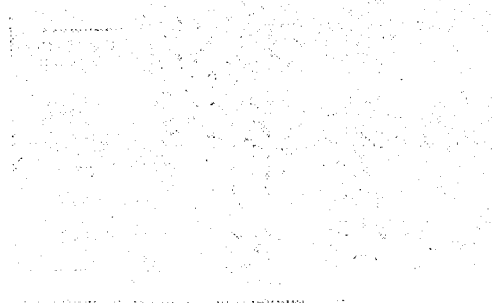
Seluruh permukaan mineral pirit kelihatan sudah penuh dengan retakan dan pecah-pecah sehingga memperlihatkan struktur yang sudah rapuh. Bagian pinggir mineral kuarsa yang berbatasan dengan pirit mulai terpengaruh, yaitu mulai terbentuk retakan.



Gambar 13 Foto SEM percontoh dengan pembesaran 1000 x setelah pancaran gelombang mikro selama 30 detik



Gambar 14 Foto SEM percontoh dengan pembesaran 1000 x setelah pancaran gelombang mikro selama 60 detik



Gambar 15 Foto SEM percontoh dengan pembesaran 1000 x setelah pancaran gelombang mikro selama 120 detik

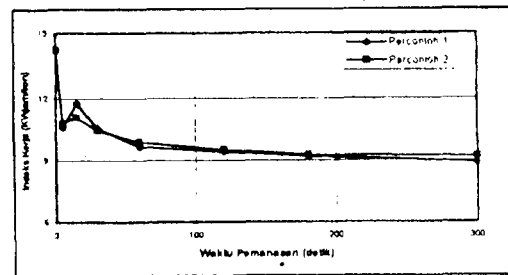
5 Indeks kerja bijih

Indeks kerja bijih dihitung dengan menggunakan persamaan (6). Percobaan menunjukkan bahwa pada umumnya indeks kerja akan berkurang dengan bertambahnya waktu pemanasan. Hasil perhitungan indeks kerja sebagai fungsi dari waktu pemanasan diberikan pada Gambar 16 berdasarkan hasil pengujian terhadap 2 percontoh.

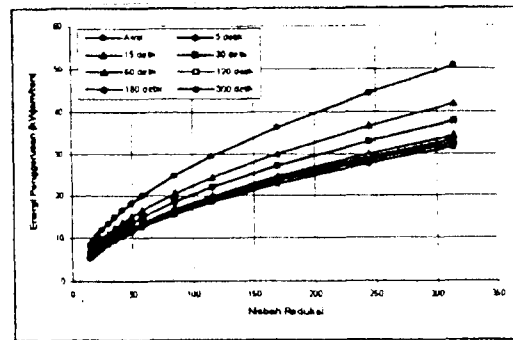
Pemanasan 5 detik telah dapat menurunkan indeks kerja dari 14,24 menjadi 10,66 kWjam/ton. Tetapi pada pemanasan 15 detik ternyata penurunannya hanya mencapai 11,77 kWjam/ton. Terhadap percontoh yang lain, pengamatan ini memperlihatkan gejala yang sama, yaitu turun menjadi 10,87 kWjam/ton setelah pemanasan 5 detik, kemudian menjadi 11,11 kWjam/ton setelah pemanasan 15 detik, dan selanjutnya selalu mengecil dengan bertambahnya waktu pemanasan. Berdasarkan pengamatan ini, pemanasan terhadap bijih emas asal Cimanggu cukup dilakukan selama 3 menit karena cukup untuk menurunkan indeks kerja dari semula 14,24 menjadi 9,20 kWjam/ton, dan setelah itu grafik penurunannya melandai.

Dengan diketahuinya nilai indeks kerja W_i , maka energi yang diperlukan untuk mereduksi ukuran suatu partikel dapat dengan mudah dihitung. Pada Gambar 10

ditampilkan energi penggerusan pada berbagai nilai nisbah reduksi (NR), yaitu perbandingan antara ukuran awal dengan produk hasil penggerusan⁸⁾. Terlihat jelas bahwa pemanasan selama 60 detik dapat mengurangi energi penggerusan dalam jumlah yang cukup berarti.



Gambar 16 Pengaruh waktu pemanasan terhadap indeks kerja



Gambar 17 Hubungan antara nisbah reduksi terhadap energi penggerusan pada berbagai waktu pemanasan

6 Waktu penggerusan dan waktu pemanasan

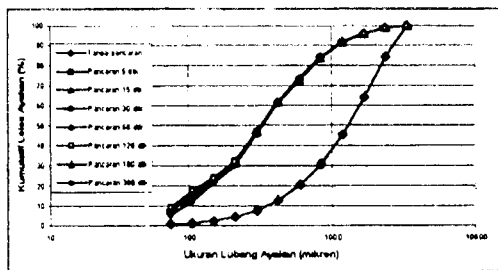
Berdasarkan data yang ditampilkan pada Gambar 2-8, dapat dibuat grafik pengaruh waktu pemanasan terhadap distribusi ukuran pada waktu pemanasan yang sama. Grafik-grafik ini ditunjukkan pada Gambar 18-21, masing-masing untuk waktu gerus 3, 5, 10, dan 15 menit.

Pada Gambar 18 dan 19 secara berurutan ditunjukkan bahwa dengan waktu gerus 3 dan 5 menit hanya terdapat sedikit perbedaan pada distribusi ukuran percontoh awal dengan distribusi percontoh setelah dipanaskan 5-300 detik. Ini berarti waktu gerus 3-5 menit belum dapat dipakai untuk mengurangi energi penggerusan. Walaupun demikian, pada waktu gerus 5 menit, pengaruh pemanasan mulai tampak jelas pada fraksi ukuran - 100 µm. Makin lama waktu pemanasan, makin besar fraksi - 100 µm yang diperoleh.

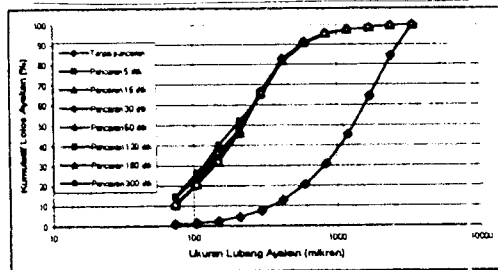
Pengaruh waktu gerus tampak jelas ketika waktu gerus dibuat menjadi 10 menit seperti ditunjukkan pada Gambar 13. Terlihat bahwa grafik-grafik distribusi

ukuran pada berbagai waktu pemanasan bergerak ke atas, terutama pada 3 fraksi ukuran terhalus yang terletak di sebelah kiri.

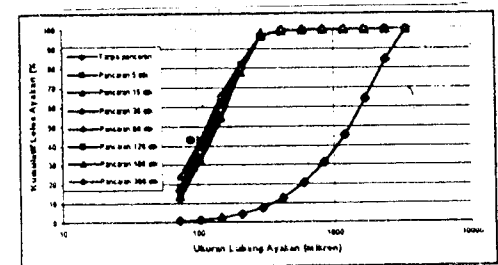
Demikian pula ketika waktu gerus dibuat menjadi 15 menit (Gambar 21), perubahan tersebut jelas terlihat pada 3 fraksi ukuran terhalus. Hal yang wajar juga terjadi, yaitu dengan bertambahnya waktu gerus, fraksi kasar akan tergerus menambah jumlah fraksi halus, sehingga fraksi ukuran yang lolos 100% akan bergerak ke sebelah kiri. Berdasarkan hasil pengamatan ini tampaknya penggerusan akan optimal apabila dilakukan selama 10 menit.



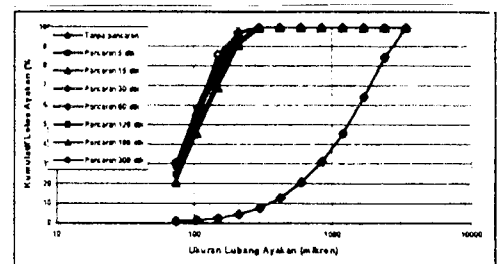
Gambar 18 Pengaruh waktu pemanasan waktu gerus 3 menit



Gambar 19 Pengaruh waktu pemanasan waktu gerus 5 menit



Gambar 20 Pengaruh waktu pemanasan waktu gerus 10 menit



Gambar 21 Pengaruh waktu pemanasan waktu gerus 15 menit

7 Kesimpulan

Pengamatan secara mikroskopik terhadap percontoh yang telah dipanaskan dengan gelombang mikro menunjukkan bahwa mineral yang paling awal mengalami perubahan struktur fisik adalah kovelit (CuS), kemudian berturut-turut kalkopirit (CuFeS₂), pirit (FeS₂), dan sfalerit (ZnS), sedangkan mineral kuarsa (SiO₂) tidak terpengaruh secara langsung oleh pemanasan gelombang mikro. Adanya pemuaihan cepat yang dialami mineral-mineral yang reaktif terhadap pemanasan gelombang mikro dapat diduga sebagai penyebab timbulnya retakan berukuran halus sehingga material menjadi lebih getas. Keluarnya gas (SO₂), terutama karena bijih mengandung mineral sulfida, membuat mineral menjadi porous.

Pengamatan SEM menunjukkan bahwa perubahan struktur fisik mineral logam sulfida sudah mulai terlihat sejak pemanasan gelombang mikro selama 5 detik.

Pemanasan gelombang mikro sampai 60 detik pertama menunjukkan penurunan indeks kerja penggerusan yang cukup besar. Untuk pancaran yang lebih lama, penurunan indeks kerja menjadi relatif kecil. Pemanasan gelombang mikro secara umum akan menurunkan indeks kerja penggerusan. Untuk bijih emas Cimanggu ini pemanasan gelombang mikro selama 3 menit telah dapat menurunkan indeks kerja dari semula 14.24 menjadi 9.20 kWjam/ton.

8 Daftar pustaka

1. Walkiewicz J.W., Lindroth D.P., Clark A.e., , "Iron Ore Grindability Improved by Heating", U.S. Bureau of Mines, E&MJ, p. 16, May 1996
2. Jolly P.G., "Microwave Heating of Material With Spatially Varying Dielectric Properties", The First Australia Symposium on Microwave Application, Wollongong, NSW, February, 1989.
3. Lanigan P.G., "Microwave Energy Potential Uses in Mineral Extraction Industries", The First Australia Symposium on Microwave Application, Wollongong, NSW, February, 1989
4. Lindroth D.P., Berglund W.R., "Microwave Drying of Fluegas Desulphurized Gypsum", U.S. Bureau of Mines, E&MJ, February, p.34, 1994.
5. Pramusanto, "Penggunaan Energi Gelombang Mikro dalam Bidang Pengolahan Mineral", Pertambangan dan Energi No.1, p.91-93, 1990,
6. Lowrison G.C., "Crushing and Grinding", Butterworth & Co. (Publishers) Ltd, London, 1974.

7. Wills B.A., 1985, "*Mineral Processing Technology*", 3rd Edition, Pergamon Press, Oxford, p. 133-213.
8. Sudaryanto, "Studi Pengaruh Pancaran Tungku Gelombang Mikro Terhadap Energi Penggerusan Bijih Emas Asal Cimanggu, Jawa Barat". Tesis Magister, Program Pascasarjana ITB. 1998.
9. Pramusanto, Sudaryanto, Arief Sudarsono, "*Pengaruh Pancaran Gelombang Mikro Terhadap Energi Penggerusan Bijih Emas Asal Cimanggu, Jawa Barat*". Kolokium Pengolahan Mineral Untuk Industri Di Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Mineral, Bandung, 1998.
10. Wiryosimin, S., "*Mengenal Asas Proteksi Radiasi*". Bandung. Penerbit ITB. 1995.

T.
cc
th
de
le
sr
pr
inc
res
the
buc
and
leal

Key
ada,

1

Mek
dala
kong
dari
ATM
men