

KARAKTERISTIK MINERALOGI DAN PROSES PENGENDAPAN EMAS PADA ENDAPAN EMAS-PERAK EPITERMAL GUNUNG PONGKOR, JAWA BARAT

I Wayan Warmada*

ABSTRAK

The Pongkor gold-silver deposit, formed at Pliocene age (2.05 ± 0.05 Ma) is the largest low-sulfidation epithermal precious metal deposit in Java. It consists of more than nine major subparallel quartz-adularia-carbonate veins. Vein infill records five paragenetic sequences, dominated by calcite in the early stage and quartz in the later stages of hydrothermal evolution. The sulfide association as the main gold carrier is dominated by pyrite, chalcopyrite, sphalerite, \pm galena. Minor phases are silver-rich sulfides and sulfosalts, such as acantite-aguilarite, polybasite-pearceite, famatinite, proustite, tetrahedrite. Gold occurs as electrum and uytenbogaardtite. Microthermometric measurements result that the hydrothermal solution indicates low salinity (~ 0 wt.% NaCl equivalent) with a formation temperature around 220°C. Primary gold deposition is mostly controlled by boiling and mixing between low and high temperature fluids. Deep supergene enrichment of both gold and silver seems to be critical for making Pongkor an economic ore deposit.

Keywords: epitermal, boiling, pengkayaan supergen, Pongkor, emas.

PENDAHULUAN

Pongkor merupakan salah satu wilayah di Jawa Barat yang mempunyai kandungan emas (dan perak) cukup tinggi. Endapan emas-perak Pongkor merupakan salah satu tipe epitermal sulfida rendah urat kuarsa-karbonat-adularia yang ditemukan oleh PT Aneka Tambang (ANTAM) pada tahun 1981. Metode eksplorasi pada penemuan endapan ini meliputi pengambilan conto sedimen sungai aktif dengan kerapatan 2-4 conto per km². Anomali dijumpai pada sekitar urat kuarsa dengan nilai 100-200 ppb Au; di beberapa tempat mencapai 900 ppb Au. Sistem urat diteliti dengan menggunakan parit uji dan geomagnetik. Metode resistivitas sangat berguna untuk mendeliniasi zona silisifikasi dan lebar urat kuarsa (Basuki *et al.*, 1994).

Tambang emas Pongkor dimulai sejak 1992 oleh ANTAM dengan produksi pertahun sekitar 3-4 ton Au dan 21-28 ton Ag. Metode penambangan dilakukan secara dominan tambang bawah tanah dengan metode potong-isi (*cut and fill*) dari level paling bawah pada 500 m dengan penambahan 50 m tiap level untuk urat Ciguha, Ciurug dan Kubang Cicau. Sebagian Ciurug dan Kubang Cicau ditambang secara terbuka (*open pit mine*).

Tempat pengolahan bijih diinstal di lokasi tambang. Bijih dihancurkan dan digiling hingga 74 μ m (dengan tingkat efisiensi sebesar 80%) dan kemudian diolah dengan proses sianidasi dengan NaCN selama 25 jam (2 tangki) dan pengolahan *carbon-in-leach* (CIL) selama 32,5 jam (5 tangki) dengan kecepatan perolehan 97% untuk emas dan 75% untuk perak. Setelah emas dan perak diperoleh, dilakukan proses elusi selama 8 jam dan elektrolisis selama 12 jam. Katode kemudian dilelehkan untuk

menghasilkan doré bullion yang mengandung 85-92% perak yang akan dipisahkan di Jakarta (PT Aneka Tambang unit Pengolahan Logam).

Penulisan paper ini bertujuan untuk memberikan kontribusi mengenai karakteristik mineralogi dan proses pengendapan emas pada endapan emas-perak tipe epitermal.

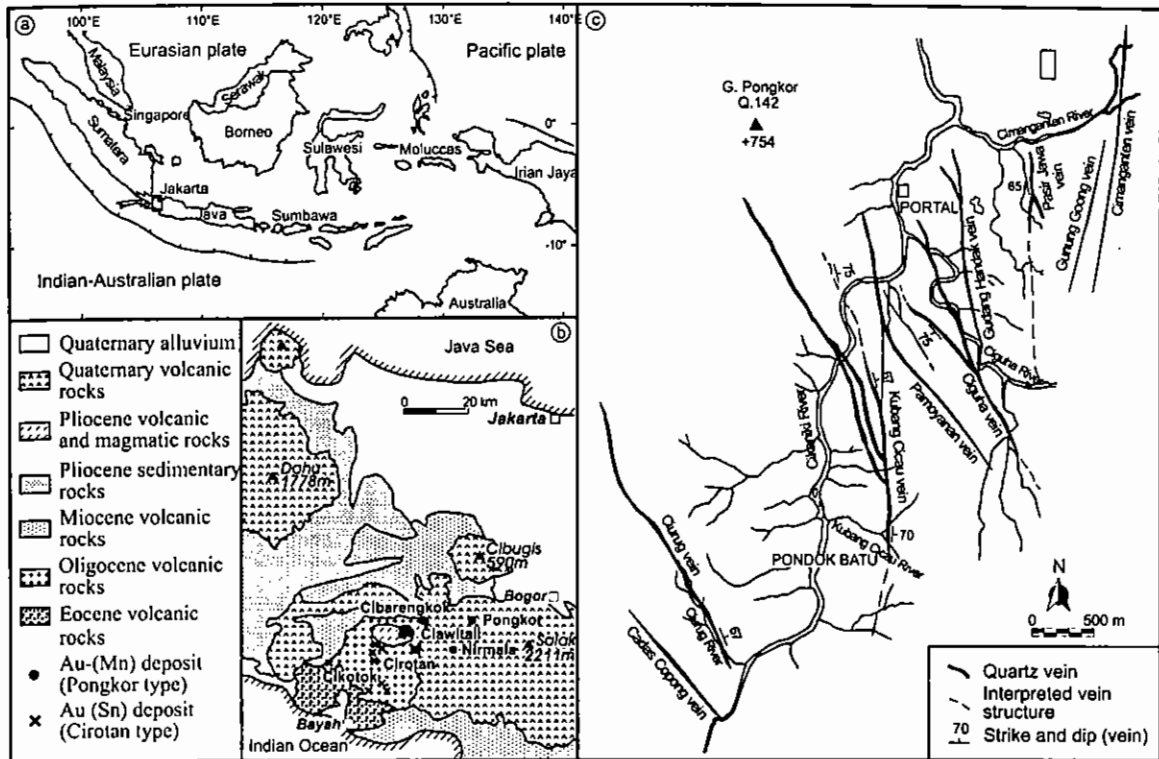
GEOLOGI DAERAH PONGKOR

Kerangka struktur regional

Endapan emas-perak Pongkor terletak pada pinggir timurlaut kubah Bayah, lebih kurang 80 km sebelah baratdaya Jakarta (Gambar 1a,b). Kubah Bayah merupakan bagian dari busur kontinental Sunda-Banda yang berumur Neogen, yang terbentuk sepanjang pinggir selatan lempeng Eurasia (Gambar 1b). Struktur geologi yang ada merupakan hasil dari dua periode deformasi, yaitu: deformasi sebelum Neogen, yang dimulai sejak akhir masa Oligosen, dan deformasi Neogen (Hamilton, 1988).

Deformasi pra-Neogen dicirikan oleh kehadiran batuan melange polimik yang berumur akhir Kapur dan awal Paleogen yang menyusun sebagian besar *basement* Jawa. Selama akhir Paleogen tidak terjadi tektonik dan magmatisme di Jawa Barat. Aktivitas tektonik dimulai dengan terlipatnya lapisan batuan sedimen yang berumur Tersier. Deformasi menjadi berkurang secara konsentris dari pusat magmatik, dimana struktur yang terbentuk mempunyai kecenderungan konsentris (struktur seperti kaldera). Urat yang termineralisasi diinterpretasikan sebagai hasil dari peregangan patahan turun yang diawali oleh pergerakan samping sepanjang sistem patahan yang saling memotong (Milési *et al.*, 1999).

*Dr.-rer.nat. Ir. I Wayan Warmada adalah Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi FT-UGM



Gambar 1: a) Peta tektonik Indonesia dan lokasi endapan Pongkor. b) Geologi regional Jawa Barat dan lokasi Pongkor dan endapan emas utama yang lain (dimodifikasi dari Marcoux & Milési, 1994; Sujatmiko & Santosa, 1992). c) Pola sistem urat pada endapan emas-perak Pongkor (PT Aneka Tambang).

Stratigrafi

Stratigrafi regional Jawa Barat sangat kompleks dan dimulai dari Eosen, dimana sebagian besar bagian selatan Jawa Barat merupakan cekungan laut (Sujatmiko dan Santosa, 1992; Effendi *et al.*, 1998). Formasi Bayah merupakan formasi tertua yang diendapkan pada cekungan ini. Formasi ini terdiri atas hasil denudasi setebal lebih kurang 700 m dari batuan pra-Tersier, seperti konglomerat, batupasir kuarsa, batulempung, tuf, batulempung napalan, batulempung hitam, serpih, batupasir, batugamping dan batunapal.

Formasi Bayah ditutupi secara tidak selaras oleh Formasi Andesit Tua (OAF) yang tersusun oleh breksi vulkanik, tuf, lava, batuan terubah dan material urat kuarsa. OAF secara setempat-setempat disisipi oleh batuan sedimen, seperti batupasir tufan atau batupasir kuarsa, batulempung napalan, dan lensa-lensa batugamping.

Formasi Cimapag tersusun oleh breksi polimik atau konglomerat, tuf, lava, kayu terkarsikan dan batuan alterasi yang mencapai tebal sekitar 900 m. Formasi ini menutupi OAF secara tidak selaras. Di atas formasi ini, secara tidak selaras diendapkan Formasi Bojongmanik, yang tersusun oleh batupasir, tuf pumisan, batunapal dengan moluska,

batugamping, batulempung dengan interkalasi lapisan batubara atau lignit.

Hasil vulkanik tua tersusun atas breksi vulkanik dan tuf. Batuan ini menutupi secara tidak selaras batuan-batuan yang lebih tua.

Magmatisme

Jawa Barat yang mengandung beberapa endapan epithermal logam berharga, berasosiasi dengan vulkanisme *calc-alkaline* yang masih aktif. Endapan ini terdistribusi di sekitar kubah Bayah.

Geologi daerah Pongkor tersusun atas tiga satuan batuan vulkanik yang berumur Miosen-Pliosen (Milési *et al.*, 1999). Satuan paling bawah dicirikan oleh batuan vulkanik andesitik yang berafinitas *calc-alkaline* yang diendapkan di bawah lingkungan laut, yang bergradasi secara lateral menjadi endapan epiklastik. Terdapat sisipan endapan epiklastik berbutir halus sampai kasar, seperti batupasir yang bergradasi kearah atas dan batulanau hitam diantara andesit dan tubuh breksi. Satuan bagian tengah tersusun oleh batuan vulkanik eksplosif dasitik darat yang tersusun oleh tuf lapili. Batuan ini ditumpangi oleh breksi vulkanik dan tuf jatuhan piroklastik berbutir halus dan batulanau epiklastik. Sebuah kubah riolitik mengintrusi satuan

ini. Satuan bagian atas tersusun oleh aliran lava andesitik dengan struktur kekar tiang.

METODOLOGI

Contoh dikumpulkan selama kunjungan ke daerah Pertambangan Emas Pongkor pada pertengahan 1999 dan 2001. Contoh diambil dari urat Kubang Cicau pada level 500, 550, 600, 650, dan 690 meter dan pada urat Ciurug pada level 500 m. Contoh pada kedalaman yang lebih dalam diambil dari tambang yang tidak aktif, seperti urat Ciguha, Ciurug, dan Gudang Handak diambil dari intibor. Sebanyak empatpuluh contoh yang diambil dari permukaan hingga bagian lebih dalam dari urat-urat dipreparasi untuk sayatan poles untuk analisis mineragrafi dan mikrotermometri.

HASIL PENELITIAN

Endapan emas-perak Pongkor merupakan endapan epitermal sulfida rendah tipe urat (kuarsa-karbonat-adularia). Dari hasil analisis inklusi fluida yang diambil baik dari kuarsa maupun kalsit dapat diinterpretasikan bahwa suhu pembentukan urat ini berkisar antara 180-220° C dan salinitas rendah (sekitar 0 wt.% NaCl equivalent), yang menurut Lindgren (1933) dapat diklasifikasikan sebagai endapan epitermal. Pengisi urat tersusun oleh 5 sekuen paragenetik (Milési *et al.*, 1999), yaitu sekuen karbonat-kuarsa yang terbentuk pada awal pengisian, mangan karbonat-kuarsa, kuarsa berlapis, kuarsa-sulfida abu-abu, dan kuarsa berongga (*vuggy quartz*). Mineral-mineral bijih potensial terkonsentrasi pada sekuen kuarsa-sulfida abu-abu.

Endapan emas-perak Pongkor terdiri atas 9 urat kuarsa-adularia-karbonat subparalel yang kaya akan oksida mangan dan limonit dan sangat miskin akan sulfida (Milési *et al.*, 1999; Warmada *et al.*, 2003). Urat-urat ini mempunyai panjang antara 700 sampai 2500 m, tebal beberapa meter dan dalam lebih dari 200 m yang memotong satuan batuan vulkanik. Urat yang mempunyai nilai ekonomis meliputi Ciurug, Kubang Cicau, Ciguha, Pasir Jawa dan Gudang Handak. Urat Cadas Copang, Cimanganten, Gunung Goong dan Pamoyanan (Gambar 1c). Kenampakan urat karbonat-kuarsa Ciurug dapat dilihat pada Gambar 2.

Mineral pengisi urat kuarsa-karbonat-perak Pongkor meliputi: mineral bijih yang terdiri atas pirit, kalkopirit, sfalerit, emas murni (*native gold*), elektrum (AuAg), uytenbogaardtit (Ag₃AuS₂), akantit-aguilarit (Ag₂S-Ag₄SSe), polibasit-pearceit ((Ag,Cu)₁₆(Sb,As)₂S₁₁), proustit (Ag₃AsS₃), stromeyerit (AgCuS), tetrahedrit, famatinit (Cu₃SbS₄), hesit (Ag₂Te) dan mckinstryit ((Ag,Cu)₂S). Mineral pengotor terdiri dari kuarsa,

kalsit, rhodokrosit, kutnahorit, dolomit, ankerit, siderit, ilit/smektit, klorit, dan montmorilonit (Warmada, 2003).



Gambar 2: Urat kuarsa-karbonat Ciurug.

Kumpulan mineral bijih ini dapat dibagi menjadi 3 kelompok, yaitu: pirit-kalkopirit-sfalerit (\pm galena), elektrum-Ag-sulfosalts, dan kalkosit-akantit-aguilarit (\pm elektrum/emas, \pm mckinstryit/stromeyerit/kovelit). Kumpulan mineral pirit-kalkopirit-sfalerit merupakan mineral paling umum dan paling melimpah pada sistem urat. Kumpulan logam berharga dicirikan oleh variasi mineral-mineral sulfida-sulfosalts yang terendapkan setelah kumpulan mineral sulfida sederhana (pirit-kalkopirit-sfalerit). Kumpulan mineral ini terdiri atas famatinit, tetrahedrit, polibasit-pearceit, akantit-aguilarit, proustit, uytenbogaardtit dan elektrum. Kumpulan mineral kalkosit-akantit-aguilarit terbentuk setelah kumpulan sulfida utama dan logam berharga dan mungkin merupakan mineral-mineral supergen. Mineral-mineral ini terdiri atas mineral sulfida tembaga dengan rentang komposisi dari kalkosit sampai kovelit, elektrum/emas dan stromeyerit-mckinstryit (Warmada *et al.*, 2003; Warmada, 2003).

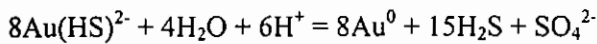
Hasil analisis geokimia bijih menunjukkan adanya trend dari kelompok-kelompok unsur Ag-Au-Se dan Cu-Pb-Zn-Cd yang mencerminkan kontrol mineralogi terhadap distribusi unsur. Kelompok Ag-Au-Se berhubungan dengan mineral-mineral Ag-sulfida dan Ag-sulfosalts yang kaya akan selenium, sedangkan kelompok Cu-Pb-Zn-Cd berhubungan dengan sulfida logam dasar, seperti kalkopirit, galena, sfalerit, tetrahedrit, dan famatinit.

DISKUSI

Endapan emas-perak Pongkor merupakan endapan epitermal dengan kandungan sulfida rendah dengan kadar logam dasar pada bijih <100 ppm.

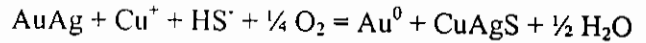
Meskipun demikian, di beberapa tempat masih dijumpai kandungan beberapa persen tembaga dan seng. Kumpulan mineral-mineral kuarsa-karbonat-adularia mencirikan Pongkor sebagai suatu endapan jenis sulfidasi rendah dengan sulfida rendah. Sistem bijih terbentuk pada lingkungan epitermal dangkal yang dicirikan oleh air berkegaraman rendah (meteorik) pada suatu suhu sekitar 220°C.

Seri akantit-aguilarit dan polibasit-pearceit dijumpai pada hampir semua sistem urat di Pongkor. Dari hasil pemplotan antar unsur diperoleh bahwa selenium memiliki korelasi positif dengan emas dan perak, yang berarti bahwa ketiga unsur-unsur ini saling berhubungan. Kandungan selenium tinggi mencirikan suatu lingkungan oksidasi pada larutan, mendekati batas $HS^- - SO_4^{2-}$ (Gambar 3). Pada lingkungan ini dapat diperoleh kelarutan emas maksimum (Hannington & Scott, 1989). Pengendapan emas dan perak dikontrol oleh kehadiran boiling dan percampuran air bersuhu tinggi dengan air bersuhu rendah (air meteorik). Proses boiling ini dicirikan oleh trend positif pada data inklusi fluida, kehadiran adularia prismatik, dan kalsit membilah (Warmada, 2003). Proses boiling dan percampuran ini menyebabkan pH bertambah dan terbebasnya gas H_2S yang menyebabkan logam emas dan perak terdeposisi. Hal ini dapat diperjelas dengan reaksi sebagai berikut:

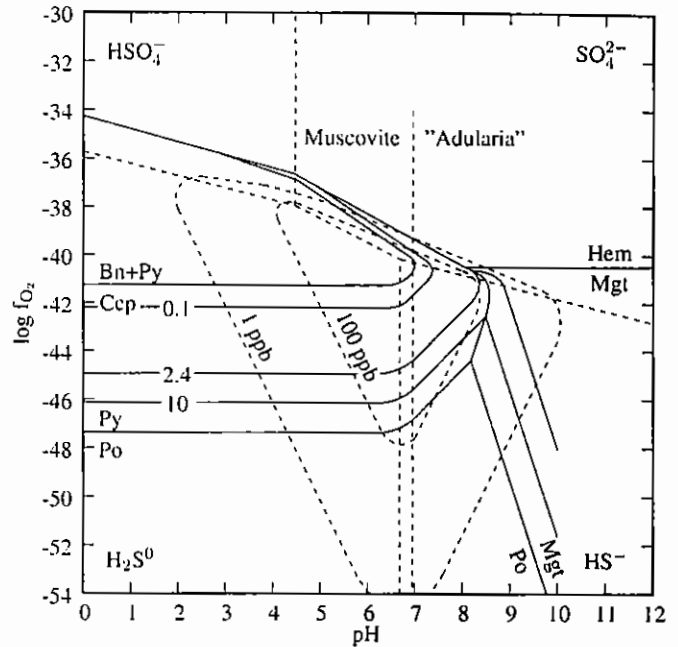


Perilaku emas pada endapan emas Pongkor sangat menarik. Sebagian besar emas terjadi dalam bentuk elektor. Kandungan perak pada elektor menunjukkan suatu distribusi bimodal. Pada hampir semua kasus, elektor mengandung Ag sebesar 30–55 %berat yang secara tekstur menunjukkan asal mula hidrotermal. Populasi elektor dengan kadar perak rendah (16–26 %berat) diinterpretasikan sebagai asal mula supergen. Hal ini seiring dengan pendapat Greffié *et al.* (2002). Mineral yang mengandung emas yang lain, uytenbogaardtit juga dijumpai sebagai hasil dari mineralisasi supergen.

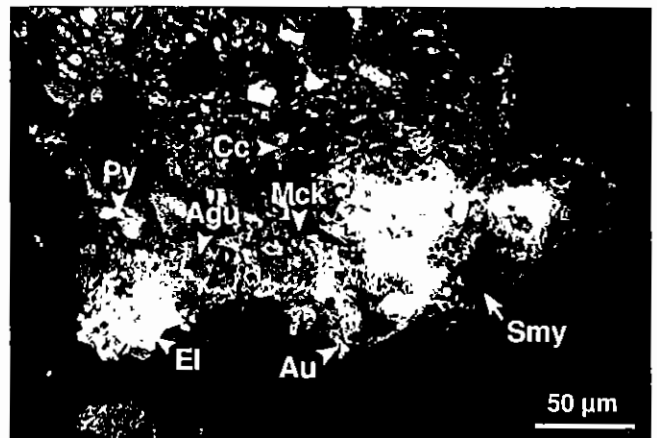
Atas dasar kandungan besi pada sfalerit, kelarutan $Au(HS)^2$, dan stabilitas adularia, rentang fO_2 -pH pada mineralisasi Au-Ag Pongkor dapat ditentukan (lihat Gambar 3). Komposisi emas pada larutan ketika transport mencapai 3000 ppb. Pengendapan emas ini menghasilkan bijih hidrotermal primer yang selanjutnya mengalami pengkayaan supergen. Emas bertekstur dendritik (Gambar 4) mungkin terbentuk sebagai hasil proses pelarutan elektor pada suhu rendah dan represipitasi emas bersama-sama stromeyerit atau mckinstryit dari larutan kaya Cu supergen. Proses ini dapat dilihat pada reaksi berikut ini:



Pengkayaan supergen yang dalam baik emas maupun perak ini tampaknya menjadi hal yang sangat penting dalam membuat Pongkor menjadi endapan bijih ekonomis.



Gambar 3: Diagram yang menunjukkan fO_2 versus pH yang dibuat pada $T = 200^\circ C$, $S = 0.005 \text{ mol/kg } H_2O$ pada SWVP. Daerah yang diarsir menunjukkan daerah fO_2 -pH dari endapan emas Pongkor (Warmada *et al.*, 2003).



Gambar 4: Kenampakan mikroskopis bijih dari emas bertekstur dendritik (Au) yang berasosiasi dengan mckinstryit (Mck), pirit (Py), kalkosit (Cc), aguilarit (Agu) dan stromeyerit (Smy) (Warmada *et al.*, 2003).

KESIMPULAN

Endapan emas-perak Pongkor merupakan endapan epitermal dengan kandungan sulfida rendah dengan kadar logam dasar pada bijih <100 ppm. Meskipun demikian, di beberapa tempat masih dijumpai kandungan beberapa persen tembaga dan seng. Urat kuarsa-karbonat-adularia memotong batuan dinding volkanik andesitik-basaltik calc-alkaline yang berumur Tersier.

Kumpulan baik mineral bijih maupun mineral pengotor yang dijumpai pada urat kuarsa-karbonat-adularia mendefinisikan bahwa Pongkor sebagai endapan epitermal bersulfida rendah. Sistem bijih terbentuk pada suatu lingkungan epitermal yang dicirikan oleh air bersalinitas rendah (sekitar 0 setara %berat NaCl) dan suhu sekitar 180-220°C. Mineralisasi dimulai dengan presipitasi kelompok logam dasar dengan kehadiran mineral-mineral pirit, kalkopirit, galena dan sfalerit. Pengendapan logam-logam berharga terjadi pada fase akhir mineralisasi dengan kehadiran mineral-mineral perak sulida/sulfosalat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kontribusi ini merupakan sebagian dari proyek Ph.D. yang diselesaikan di Institut for Mineralogy and Mineral Resources, Technical University of Clausthal, Jerman. Penulis mengucapkan terimakasih kepada Prof. Bernd Lehmann dan Prof. Kurt Mengel atas diskusi dan arahannya selama pekerjaan ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih atas ijin yang diberikan oleh PT Aneka Tambang untuk mempublikasikan hasil penelitian ini dan juga atas bantuan Bapak Ir. Herian Sudarman Hemes dan Bapak Marolop Simandjuntak, B.Sc. di lapangan. Kepada kedua mitra bestari, Dr. Heru Hendrayana dan Dr. Arifudin Idrus, M.T. penulis juga mengucapkan terimakasih atas komentar dan suntingannya. Studi ini dapat dilakukan atas bantuan *Deutscher Akademischer Austausch Dienst (DAAD)*.

DAFTAR PUSTAKA

Basuki, A., Sumanagara, D.A., Sinambela, D., 1994. The Gunung Pongkor gold-silver deposit, West Java, Indonesia. *Journal of Geochemical Exploration* 50: 371-391.

- Effendi, A.C., Kusnama, Hermanto, B., 1998. *Geologic map of the Bogor quadrangle, Jawa*. Technical Report, P3G, Bandung.
- Greffié, C., Bailly, L., Milési, J.P., 2002. Supergene alteration of primary ore assemblages from low-sulfidation Au-Ag epithermal deposits at Pongkor, Indonesia, and Nazareño, Perú. *Economic Geology* 97: 561-571.
- Hamilton, W.B., 1988. Plate tectonics and island arcs. *Geological Society of America Bulletin* 100: 1503-1527.
- Hannington, M.D., Scott, S.D., 1989. Sulfidation equilibria as guides to gold mineralization in volcanogenic massive sulfides: evidence from sulfide mineralogy and the composition of sphalerite. *Economic Geology* 84: 1978-1995.
- Lindgren, W.W., 1933. *Mineral deposits*. John Wiley & Sons, New York.
- Marcoux, E., Milési, J.-P., 1994. Epithermal gold deposits in West Java, Indonesia: geology, age and crustal source. *Journal of Geochemical Exploration* 50: 393-408.
- Marcoux, E., Milési, J.-P., Sitorus, T., Simandjuntak, M., 1996. The epithermal Au-Ag-(Mn) deposit of Pongkor (West Java, Indonesia). *Indonesian Mining Journal* 2: 1-17.
- Milési, J.P., Marcoux, E., Sitorus, T., Simandjuntak, M., Leroy, J., Bailly, L., 1999. Pongkor (west Java, Indonesia): a Pliocene supergene-enriched epithermal Au-Ag-(Mn) deposit. *Mineralium Deposita* 34: 131-149.
- Sujatmiko, Santoso, S., 1992. *Geologic map of the Leuwidamar quadrangle, Jawa*. Technical Report, P3G, Bandung.
- Warmada, I W., Lehmann, B., Simandjuntak, M., 2003. Polymetallic sulfides and sulfosalts of the Pongkor epithermal gold-silver deposit, West Java, Indonesia. *The Canadian Mineralogist* 41: 185-200.
- Warmada, I W., 2003. *Ore mineralogy and geochemistry of the Pongkor epithermal gold-silver deposit, Indonesia*. Dissertation. Papiertflieger, Clausthal-Zellerfeld.