

Model endapan bijih porfiri dan epithermal: *contoh endapan bijih daerah Andes (Bolivia dan Chile), Amerika Selatan*

I Wayan Warmada

Jurusang Teknik Geologi, FT UGM

Institut for Mineralogy and Mineral Resources
Economic Geology Research Section
Technical University of Clausthal,
Germany

Definisi/batasan

- Porphyry (tembaga) adalah endapan mineral mengandung sebaran tembaga, yang terdapat pada batuan beku plutonik (monzonit kuarsa, granodiorit, diorit dan tonalit).
- Endapan epithermal terbentuk pada kedalaman dangkal (~ 1 km) dan dalam kisaran suhu 50-250°C.
- "epithermal" (lebih dangkal/dingin)
- "porphyry" (endapan lebih dalam/panas)

Mengapa endapan epithermal dan porphyry menarik?

- Harga emas relatif tinggi
- Perkembangan teknik pemisahan logam
- Banyak endapan epithermal dan porphyry ditemukan pada daerah tektonik plate-margin
- Perkembangan dalam konsep-konsep geologi untuk memprediksi daerah target eksplorasi
- Perkembangan teknik geofisika, misalnya CSAMT, magnetik, IP, dll

Sistem hidrothermal

- Sumber panas
 - Tubuh intrusi (dike atau pluton)
- Batuan pembawa (host rocks)
 - Vulkanik atau sedimen/metamorf
- Jenis fluida
 - Air meteorik dan air magmatik
- Gradien temperature
 - Tergantung kedalaman
- Ukuran

Porphyry

- Porphyry tembaga (Cu-Mo-Au-Ag)
 - Porphyry tembaga
 - Porphyry tembaga-Molibdenum
 - Porphyry tembaga-Emas-(Perak)
- Porphyry timah (Sn-W-Ag-Bi)

Contoh endapan porfiri dunia

Lokasi	Tipe	Cadangan (Mt)	Umur
Llallagua	Sn-(Ag-W-Bi)	0,5-1,0 Sn	21 Ma
Belitung (Indo)	Sn-W-Bi	?	?
La Escondida	Cu-Mo	~ 2000	34-32 Ma
Chuquicamata	Cu-Mo	~ 10000	33-31 Ma
Ujina	Cu-Mo		34(?) Ma
Collahuasi	Cu-Mo-Au	3100	33 Ma
El Teniente	Cu-Mo	3250	5 Ma
Grasberg	Cu-Au-Ag	2000	?

Tipe alterasi (penyederhanaan)

- Porfiri tembaga
 - Propylitic
 - Argillic
 - Phylllic/Sericitization
 - Potassic
- Porfiri timah
 - Propylitic
 - Argillic
 - Phylllic/Sericitization
 - Tourmalinization

Oksidasi ←

→ *Reduksi*

Mineralogi alterasi

Tingkat hidrolisis ↓

- Propylitic
 - Qtz-K-feld stabil, plag-mafic min teralterasi menjadi ab plag, chl, ep, carb, mont, trem, act
- Argillic
 - Qtz, kao, chl, sedikit mont
- Phyllitic
 - Qtz, ser yang disertai dengan py
- Potassic
 - Qtz, K-feld, bio, interm plag (ol-and) dan anh

Mineralisasi

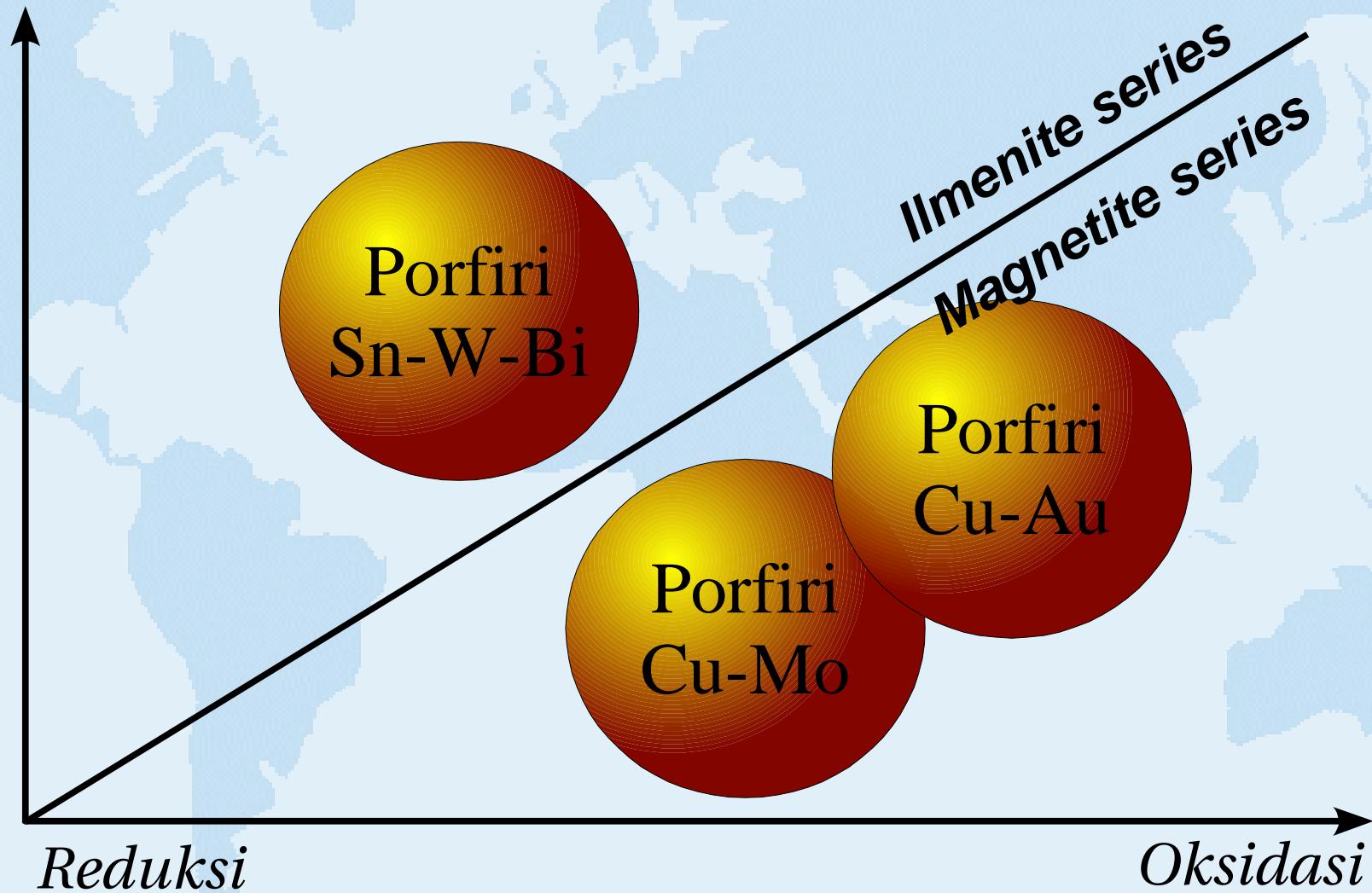
- Porfiri tembaga
 - Chalcopyrite, Pyrite, Chalcocite, Bornite, Molybdenite, Galena, Magnetite, Gold, Copper
- Porfiri timah
 - Arsenopyrite, Frankeite, Pyrrhotite, Sphalerite, Chalcopyrite, Galena, Stannite, Fluorite
 - Tetrahedrite-Tennantite, Sheelite

Zoning pada mineralisasi hypogene sangat menarik untuk dipakai pada permodelan kuantitatif endapan mineral, misalnya dengan SOE (second order exponential).

Fluida bijih (ore fluid)

- Fluid inclusion
 - Kisaran: 250-750°C dengan salinitas 15-70 wt.% pada sistem orthomagmatik, dan < 15 wt.% pada sistem konvektif
 - Kedalaman: < 4 km (Cerro Verde, 1-2 km)
 - Jenis air: air magmatik dan air meteorik
- Sumber metal
 - Produk sampingan dari kristalisasi magmatik (incompatibility element)
 - Metal dan sulfur berasal dari batuan samping

Tipe granit



Endapan epithermal

- Karakteristik
 - Suhu relatif rendah (50-250°C)
 - Terbentuk pada kedalaman dangkal (~ 1 km)
- Klasifikasi:
 - High sulfidation (acid sulfate type)
 - Low sulfidation (adularia-sericite type)
- Disseminated (misalnya pada epithermal Ag-(Sn-Pb-Zn))

Apakah endapan epithermal berarti?

- Alasan keilmuan
 - Berhubungan dengan volkanik dan lingkungan volkanik
 - Dimungkinkan untuk mempelajari lingkungan pembentukan bijih
- Alasan ekonomis (lihat tabel)
 - 13% dari endapan emas (12.300 Ton Au)

Macam-macam endapan emas (Hedenquist & Arribas, 1999)

Tipe	Au (Ton)	Persentase
Witwatersrand	49000	50
Epithermal	12300	13
Porphyry/intrusi	10000	10
Greenstone/lode	8900	9
Sedimentary hosted vein	7600	8
Carlin (sedimentary)	2400	3
Lain-lain (termasuk Formasi besi, VMS)	6700	7

Contoh Endapan epithermal (High Sulfidation)

Endapan	Au (Ton)	Umur
Yanacocha, Peru	820	M/P
Pueblo Viejo	680	Cret
Pascua	640	M/P
Pienina, Peru	250	M/P
Lepanto	210	Quat
El Indio	190	M/P
Chinquashih	150	Quat
Summitville	20	M/P
Rodalquilar	10	N/P

Contoh endapan epithermal (Low Sulfidation)

Endapan	Au (ton)	Umur
Lihir	924	Quat
Porgera	600	M/P
Round Mountain	443	M/P
Baguio District	300	Quat
Hishikari	250	Quat
Pacucha	200	M/P
Kelian	180	M/P
Gunung Pongkor	175	M/P
Dukat	150	Cret
Cerro Korikollo	147	M/P
Cerro Vanguardia	100	Jura

Alterasi hidrothermal

- Endapan Ag-Sn
 - Silisification (silica sinter)
 - Advanced argillic
 - Sericitization
 - Tourmalinization
- Endapan Au-Ag-Cu
 - Silisification
 - Advanced argillic
 - Sericitization
 - Potassic

Catatan: *Ketidakhadiran silisifikasi tidak terlalu penting untuk mencirikan suatu endapan epithermal (contoh Kelian)*

Mineralogi alterasi

- Silisik: residual silica-quartz
- Advanced argillic: qtz, alu, py, kao, dic, en
- Intermediate argillic: ser/ill, chl, sme, py (cpy)
- Propylitic: chl, epi, cc, py
- Sericitic: qtz, ser, py
- K-silicate: bio, orth, act, cpy, bn, mt

Zona alterasi

- Lateral
 - Residual silica qtz-alu qtz-kao kao-ill ill/sme
chl
- Vertikal
 - Residual silica-py-en
 - Qtz-alu-pyroph-kao-py
 - Qtz-kao-ser, py, cpy
 - Qtz-ser-py, cpy
 - Bio, or, cpy, bn, mt



Mineralisasi

- Endapan Ag-Sn
 - Arsenopyrite, Frankeite, Pyrrhotite, Sphalerite, Chalcopyrite, Stannite, Galena, Goldfieldite
 - Cassiterite, Tetrahedrite-Tennantite
- Endapan Ag-Au-Cu
 - Pyrite, Chalcopyrite, Galena, Enargite, Luzonite, Covelite, Famatinite, Sphalerite
 - Tetrahedrite-Tennantite, Freibergite
 - Gold, Silver, Elektrum

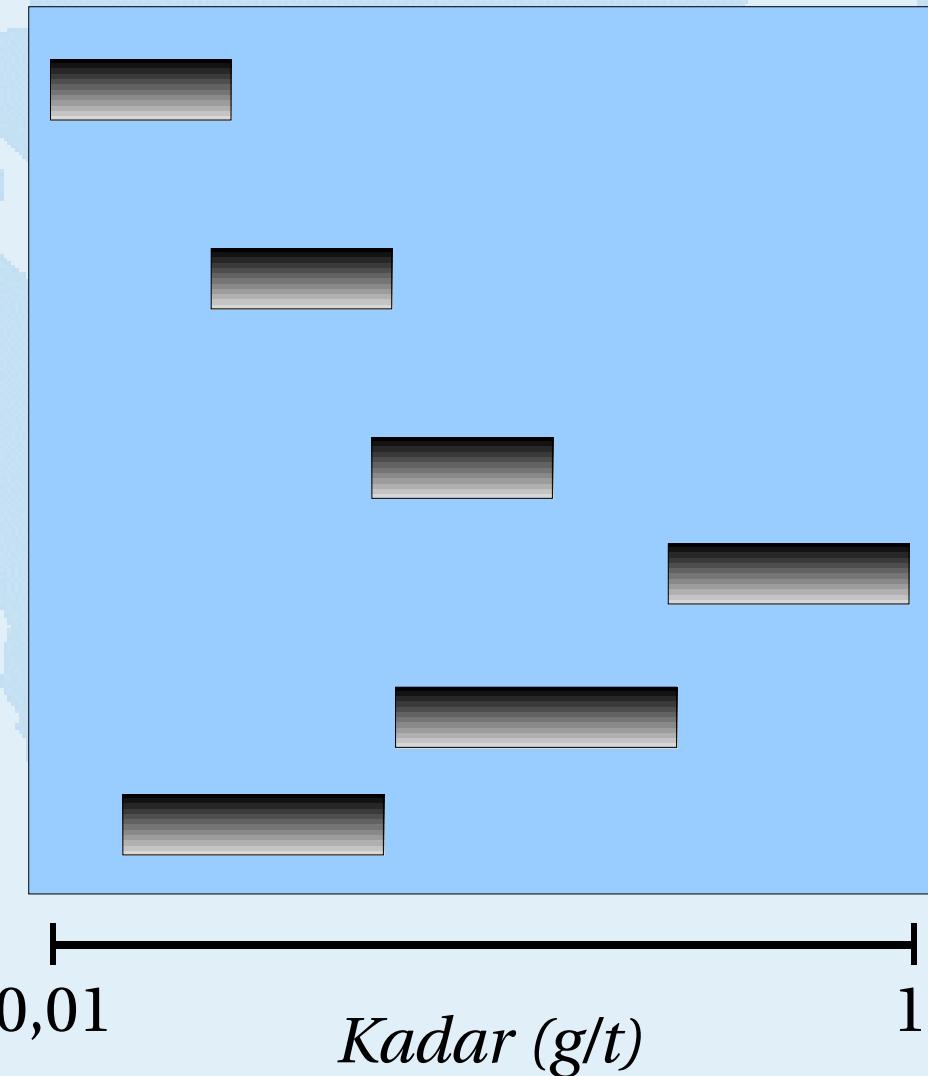
Kandungan Emas

Tipe tekstur Qtz	Lingkungan Epithermal	Lingkungan Porphyry
Fiber	---	---
Comb	---	---
- Kasar	---	---
- Medium	---	---
- Halus	○	○○○
Banded	○	---
- Crustiform	○	---
- Colloform	---	---
- Cockade	---	---
Breccia	○○○	---
- Infill	---	---
- Aggregate	---	---
Replacement	○	---

Dowling & Morrison, 1989

Kadar emas vs. tipe batuan

- Batuan terubah (de-kat host)
- Batuan terubah (<50cm)
- Vuggy silica
- Black chalcedony
- White chalcedony
- Supergene alunite



Aplikasi petrologi

- Petrografi asahan tipis
 - Litologi primer, mineral sekunder, hubungan tekstural, dan karakteristik tektonisme
- Petrografi bijih (ore petrography)
 - Untuk menentukan mineralogi dan hubungan tekstural dari fase mineral opak, terutama untuk menentukan paragenesis mineralisasi
- Analisis XRD
 - Clay, zeolite, carbonate, sulfate, silica minerals dan feldspar compositions

Aplikasi petrologi (lanjutan)

- Inclusi fluida
- Microprobe/SEM
- Analisis XRF dan NA
- Analisis stable isotopes dan Trace element
- Cathodoluminescence microscopy
- Pentarikh-an radiometri
- Pentarikh-an fission track

Saran bacaan

- Roberts, RG. & Sheahan, PA, 1988. Ore Deposits Models.
- Berger, B.R, & Bethke, P.M, 1985. Geology and Geochemistry of Epithermal Systems.
- Evans, A.M, 1993. Ore Geology.
- Economic Geology
- Mineralium Deposita
- Ore Geology Review