



Eksplorasi Mineral Ekonomi dan Genesisnya: Mineral Bijih Cu-Au Busur Sunda-Banda

Aly Rasyid

Universitas Bhayangkara Jakarta Raya

***Corresponding author:**

Aly Rasyid, Universitas Bhayangkara Jakarta
Raya. aly.rasyid@dsn.ubharajaya.ac.id

Article Info :

Article history:

Received: November 2, 2025

Revised: November 12, 2025

Accepted: November 30, 2025

Keywords:

Keywords 1; Cu-Au

Keywords 2; Petrogenesis

Keywords 3; Hydrothermal
alteration

Kata Kunci:

Kata Kunci 1; Cu-Au

Kata Kunci 2; Petrogenesis

Kata Kunci 3; Alterasi Hidrotermal

Abstract

This study is based on initial findings indicating Cu-Au minerals in altered igneous rocks in the prospect zone around Sumbawa. The main problem studied is how outcrop, petrology, mineralogy, hydrothermal alteration, and geochemistry data can be used to reconstruct the relationship between rock petrogenesis and ore mineral formation. The approach used is a synthesis of research data with nearby regional analogs from the Sumbawa segment and the eastern Sunda arc, so that interpretation does not depend on a single mine site, but on the geological, petrologic, and metallogenic patterns that have been documented in the area. The data evaluated include outcrop indications of porphyritic igneous rocks, quartz-sulfide veins, potassic to propylitic alteration, petrography-XRD-SWIR-based identification of alteration minerals, chemical characteristics of intermediate-felsic rocks, and geochemical patterns of Cu, Au, Mo, Ag, As, Pb, Zn, and other trace elements. The synthesis results show that Cu-Au indications are most consistently explained as part of a porphyry-type magmatic-hydrothermal system, which developed in the Sunda-Banda subduction arc environment. The hydrous, relatively oxidized arc magma, which evolved towards tonalite-quartz diorite, became the source of heat, fluids, and metals. The release of magmatic-hydrothermal fluids then produced quartz-sulfide stockworks, chalcopyrite-bornite-pyrite mineralization, as well as potassic, phyllic/chlorite-sericite, argillic, and propylitic alteration zones. The integration of these data allows the development of a more systematic genesis model while providing the basis for exploration vectorization from the distal alteration zone to the mineralization center.

Abstrak

Studi ini berangkat dari temuan awal berupa indikasi mineral Cu-Au pada batuan beku teralterasi di zona prospek sekitar Sumbawa. Permasalahan utama yang dikaji adalah bagaimana data singkapan, petrologi, mineralogi, alterasi hidrotermal, dan geokimia dapat digunakan untuk merekonstruksi hubungan antara petrogenesis batuan dan pembentukan mineral bijih. Pendekatan yang digunakan adalah sintesis data penelitian dengan data analog regional terdekat dari segmen Sumbawa dan busur timur Sunda, sehingga interpretasi tidak bergantung pada satu lokasi tambang tertentu, tetapi pada pola geologi, petrologi, dan metalogenik yang telah terdokumentasi di kawasan tersebut. Data yang dievaluasi meliputi indikasi singkapan batuan beku porfiritik, urat kuarsa-sulfida, alterasi potasik sampai propilitik, identifikasi mineral alterasi berbasis petrografi-XRD-SWIR, karakter kimia batuan intermediet-felsik, serta pola geokimia Cu, Au, Mo, Ag, As, Pb, Zn, dan unsur penjejak lain. Hasil sintesis menunjukkan bahwa indikasi Cu-Au paling konsisten dijelaskan sebagai bagian dari sistem magmatik-hidrotermal tipe porfiri, yang berkembang pada lingkungan busur subduksi Sunda-Banda. Magma busur yang hydrous, relatif teroksidasi, dan berevolusi ke arah tonalit-kuarsa diorit menjadi sumber panas, fluida, dan logam. Pelepasan fluida magmatik-hidrotermal kemudian menghasilkan stockwork kuarsa-sulfida, mineralisasi kalkopirit-bornit-pirit, serta zonasi alterasi potasik,

filik/klorit-serisit, argilik, dan propilitik. Integrasi data tersebut memungkinkan penyusunan model genesis yang lebih sistematis sekaligus memberikan dasar vektorisasi eksplorasi dari zona alterasi distal menuju pusat mineralisasi.

PENDAHULUAN

Eksplorasi mineral ekonomi pada sistem Cu-Au tidak hanya bertumpu pada ditemukannya mineral bijih di lapangan, tetapi juga pada kemampuan merekonstruksi proses geologi yang mengontrol keterbentukannya. Pada tahap awal, indikasi mineralisasi dapat dijumpai sebagai singkapan batuan beku teralterasi, urat kuarsa, stockwork, piritisasi, oksida tembaga sekunder, maupun anomali geokimia Cu-Au. Namun, indikasi tersebut baru memiliki makna eksplorasi yang kuat apabila dapat dihubungkan dengan kerangka tektonik, sumber magma, evolusi petrologi, alterasi hidrotermal, dan pola dispersi unsur.

Segmen Sumbawa pada busur Sunda-Banda merupakan kawasan yang relevan untuk kajian ini karena berada pada sistem busur magmatik aktif hingga Neogen yang telah menghasilkan beberapa sistem hidrotermal dan porfiri Cu-Au terdokumentasi. Literatur regional menunjukkan bahwa bagian timur busur Sunda dipengaruhi oleh interaksi subduksi samudra dan unsur kolisional Australia, yang menghasilkan kondisi tektonik dan magmatik kompleks. Dalam lingkungan seperti ini, magma busur yang kaya air, sulfur, klorin, dan relatif teroksidasi berpotensi menghasilkan fluida magmatik-hidrotermal pembawa Cu, Au, Mo, dan unsur penjejak lain.

Kebaruan studi ini terletak pada penyusunan kerangka interpretasi yang memosisikan temuan awal Cu-Au pada batuan beku sebagai gejala sistemik, bukan sebagai indikasi lokal yang berdiri sendiri. Data regional terdekat digunakan sebagai analog untuk menilai apakah karakter petrologi, mineralogi alterasi, dan geokimia pada zona prospek konsisten dengan sistem mineralisasi porfiri Cu-Au. Dengan cara ini, makalah tidak menyajikan data tambang tertentu secara eksplisit, tetapi menggunakan literatur regional sebagai basis pembandingan ilmiah untuk merekonstruksi genesis mineralisasi.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) menjelaskan hubungan petrogenesis batuan beku dengan pembentukan mineral bijih Cu-Au; (2) mengintegrasikan data singkapan, petrologi, mineralogi, dan geokimia untuk menafsirkan alterasi hidrotermal; serta (3) menyusun model konseptual genesis yang dapat digunakan sebagai dasar vektorisasi eksplorasi pada zona prospek sekitar Sumbawa.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan sintesis data berbasis analog regional. Data awal pada zona prospek diperlakukan sebagai data indikatif yang terdiri atas singkapan batuan beku porfiritik, kehadiran urat kuarsa-sulfida, mineral sulfida halus, alterasi pada mineral primer, dan anomali geokimia awal Cu-Au. Untuk menghindari interpretasi yang terlalu lokal, data tersebut dibandingkan dengan karakter sistem magmatik-hidrotermal yang telah dipublikasikan pada segmen Sumbawa dan busur timur Sunda. Rangkuman data yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

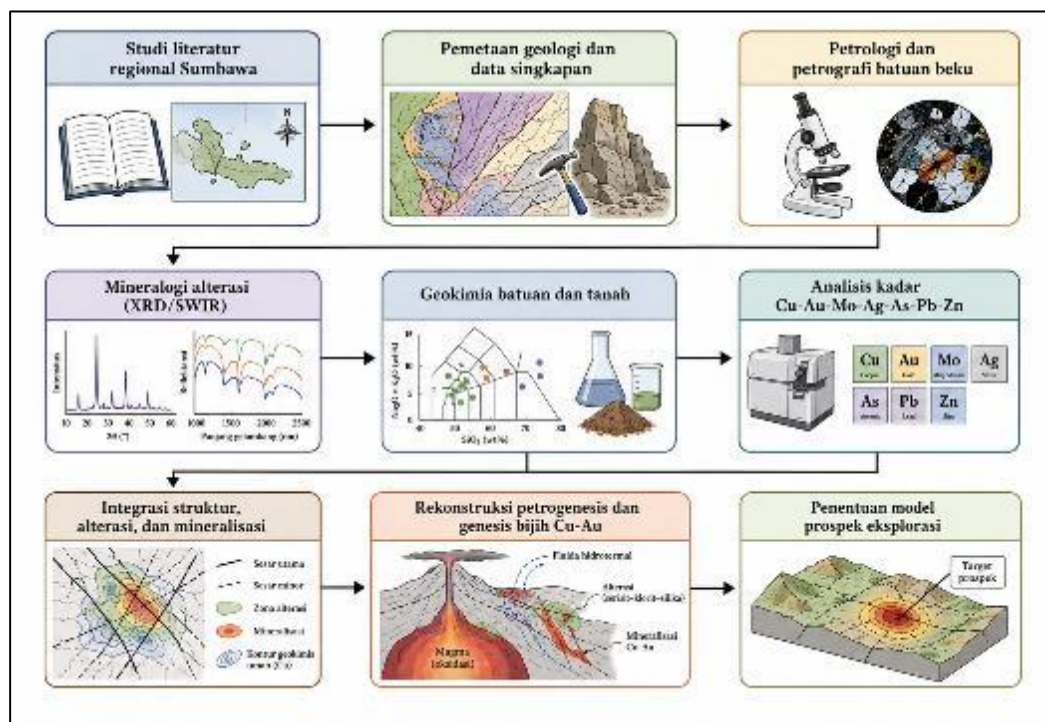
Data pendukung diklasifikasikan ke dalam empat kelompok. Pertama, data tektonik dan regional untuk menempatkan zona prospek dalam kerangka busur subduksi. Kedua, data petrologi dan kimia batuan untuk menilai jenis intrusi, evolusi magma, dan potensi fertilitas magmatik. Ketiga, data mineralogi dan alterasi, termasuk petrografi, XRD, dan SWIR, untuk mengidentifikasi mineral sekunder serta posisi relatif terhadap pusat sistem. Keempat, data geokimia batuan dan tanah, termasuk Cu, Au, Mo, Ag, As, Pb, Zn, S, K, Fe, Ba, Sr, dan unsur penjejak lain, untuk menilai pola anomali dan vektorisasi.

Interpretasi dilakukan secara bertahap. Tahap pertama adalah membangun model tektonik-magmatik. Tahap kedua adalah menginterpretasi petrogenesis batuan berdasarkan urutan kristalisasi, komposisi batuan, dan analog diagram kimia. Tahap ketiga adalah membangun zonasi alterasi dari mineral indikator. Tahap keempat adalah menghubungkan mineral alterasi

dan geokimia dengan kemungkinan posisi proksimal, transisi, atau distal terhadap pusat mineralisasi. Hasil akhir berupa model genesis yang merekonstruksi jalur dari pembentukan magma hingga pengendapan mineral bijih. Tahapan penelitian yang digunakan dalam studi ini diringkas pada Gambar 1.

Tabel 1. Kerangka data yang digunakan untuk merekonstruksi hubungan petrogenesis batuan dan mineralisasi Cu-Au.

Kelompok data	Parameter yang dikaji	Fungsi dalam rekonstruksi
Singkapan	Batuan beku porfiritik, urat kuarsa, stockwork, sulfida halus, oksida Cu	Mengidentifikasi bukti awal sistem magmatik-hidrotermal
Petrologi	Tekstur porfiritik, asosiasi plagioklas-hornblenda-biotit-kuarsa, diagram Bowen dan TAS/K ₂ O-SiO ₂	Merekonstruksi evolusi magma dan jenis batuan pembawa
Mineralogi	Petrografi, XRD, SWIR; K-feldspar, biotit, serisit, kaolinit, alunit, klorit, epidot	Membaca zonasi alterasi dan kondisi fluida
Geokimia	Cu, Au, Mo, Ag, As, Pb, Zn, S, K, Fe, Ba, Sr dan unsur penjejak	Membedakan indikator proksimal dan halo perifer penjejak

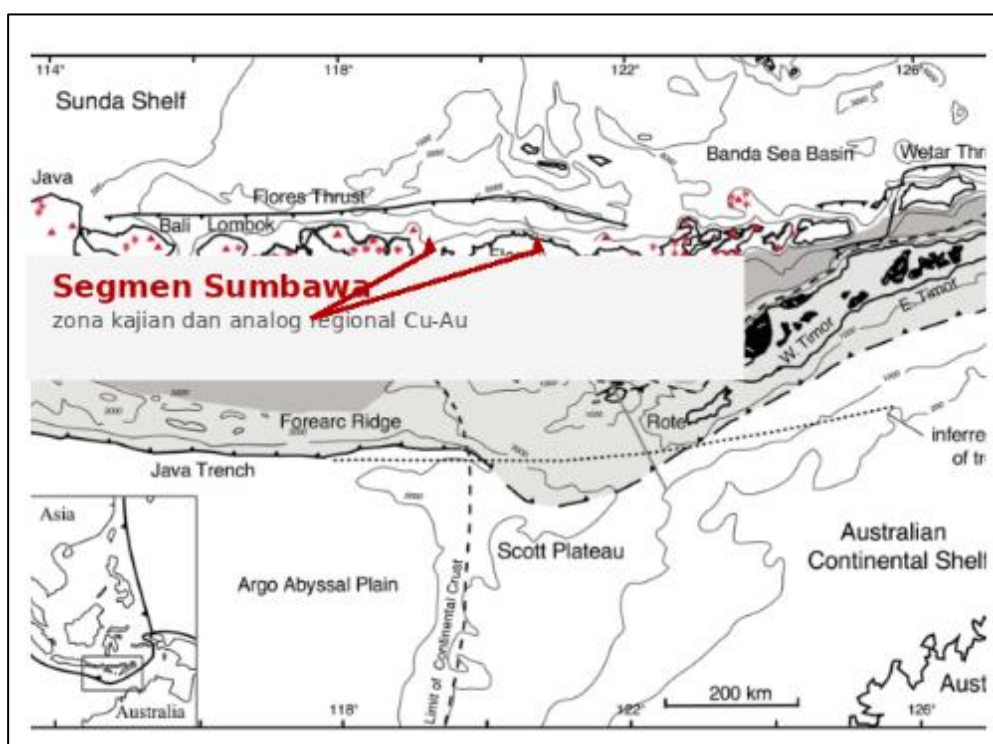


Gambar 1. Diagram alur tahapan penelitian yang digunakan untuk mengintegrasikan data regional, data singkapan, petrologi, mineralogi alterasi, geokimia, dan rekonstruksi petrogenesis sistem Cu-Au.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Zona prospek ditempatkan dalam konteks segmen Sumbawa pada busur Sunda-Banda. Secara regional, zona ini berada pada jalur magmatik yang dipengaruhi subduksi di selatan Indonesia dan perkembangan tektonik kompleks di bagian timur Sunda. Data analog regional memperlihatkan bahwa beberapa sistem hidrotermal Cu-Au berkembang pada lingkungan busur yang sama, sehingga indikasi Cu-Au pada batuan beku di zona prospek memiliki dasar tektonik yang masuk akal.

Gambar 2 memperlihatkan posisi segmen Sumbawa dalam kerangka tektonik regional. Dalam konteks genesis, subduksi berperan sebagai pemicu pembentukan magma busur melalui dehidrasi slab dan metasomatisme baji mantel. Magma yang terbentuk membawa air dan volatil, yang kemudian menjadi komponen penting dalam pembentukan fluida hidrotermal. Oleh karena itu, hubungan tektonik-subduksi tidak hanya menjelaskan lokasi terbentuknya batuan beku, tetapi juga menjelaskan mengapa sistem ini dapat membawa logam Cu-Au.



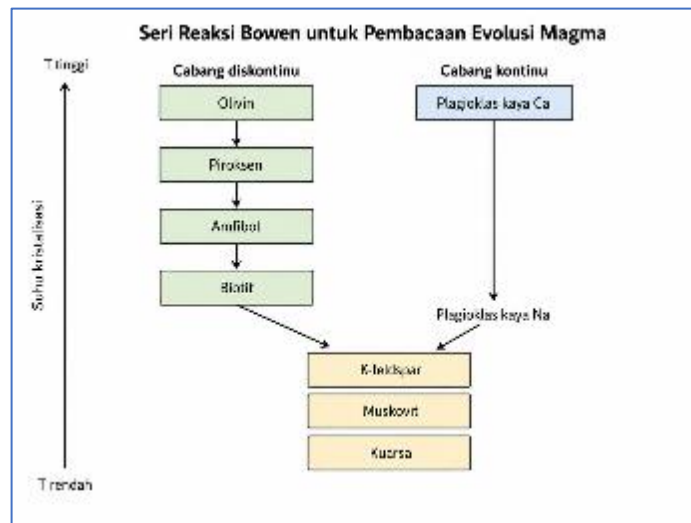
Gambar 2. Kerangka tektonik segmen Sumbawa dalam busur Sunda-Banda sebagai dasar penempatan zona kajian dan analog regional Cu-Au. Sumber: Loucks dan Fiorentini, 2023.

Data singkapan menunjukkan bahwa indikasi Cu-Au berasosiasi dengan batuan beku bertekstur porfiritik. Secara petrologi, tekstur porfiritik menunjukkan sejarah pendinginan bertahap, yaitu pembentukan fenokris pada kondisi lebih dalam, diikuti pendinginan lebih cepat ketika magma naik ke kerak dangkal. Karakter ini umum pada intrusi porfiri yang berperan sebagai pusat panas dan sumber fluida pada sistem Cu-Au.

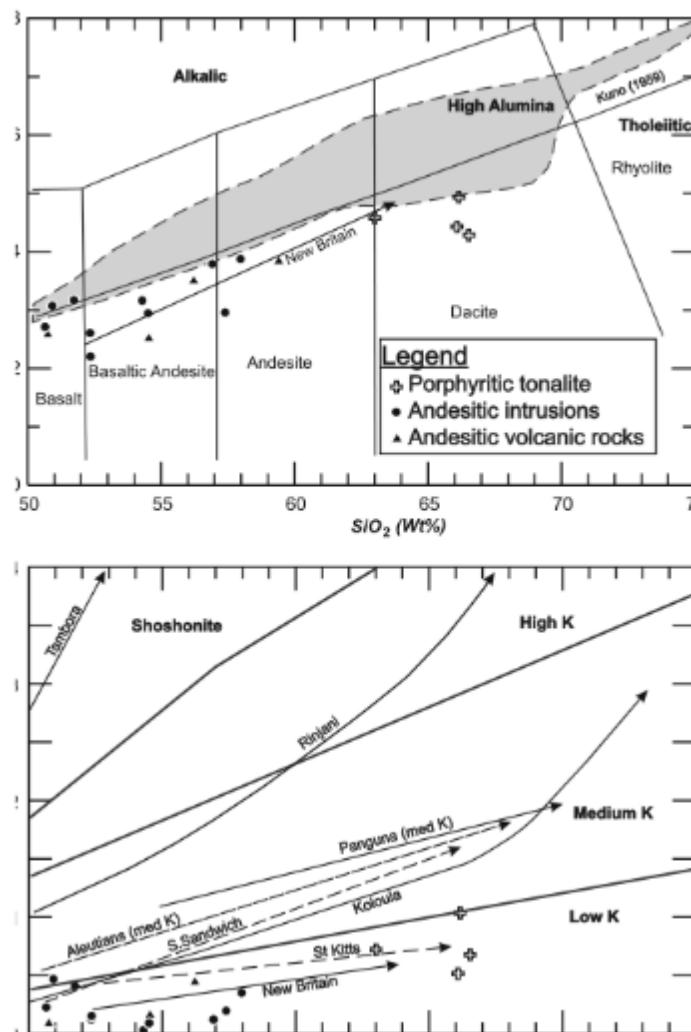
Seri reaksi Bowen membantu menjelaskan evolusi mineral primer dari magma. Kehadiran plagioklas, amfibol, biotit, dan kuarsa pada batuan intermediet-felsik menunjukkan bahwa magma telah berevolusi melewati tahap kristalisasi awal. Pada tahap ini, sisa lelehan menjadi lebih kaya volatil dan unsur inkompatibel. Jika sistem cukup kaya H₂O, S, dan Cl, fluida magmatik dapat terlepas dan membawa Cu, Au, Mo, serta unsur penjejak lainnya menuju zona rekahan.

Data analog kimia batuan dari segmen regional Sumbawa menunjukkan kecenderungan komposisi andesitik hingga tonalitik dengan afinitas kalk-alkalin sampai high-K calc-alkaline. Afinitas tersebut konsisten dengan magma busur subduksi yang berpotensi membentuk sistem porfiri. Dengan demikian, batuan beku pada zona prospek tidak hanya bertindak sebagai batuan induk, tetapi juga sebagai rekaman evolusi magma yang menjadi mesin pembentukan mineral

bijih.



Gambar 3. Seri reaksi Bowen untuk pembacaan evolusi magma sebagai dasar konseptual interpretasi urutan kristalisasi mineral primer pada sistem Cu-Au. Sumber: Bowen, 1928.



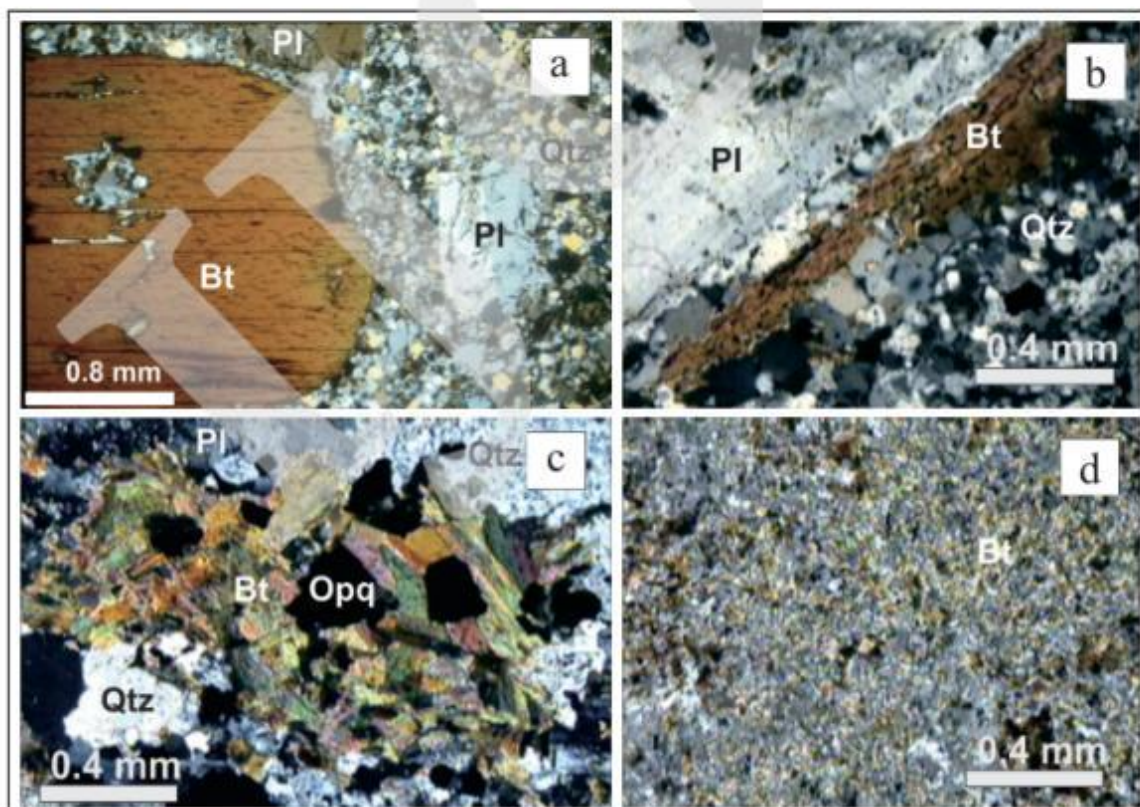
Gambar 4. Diagram klasifikasi kimia batuan beku regional Sumbawa yang menunjukkan kecenderungan andesitik-tonalitik dan afinitas kalk-alkalin hingga high-K calc-alkaline. Sumber:

Fiorentini dan Garwin, 2010.

Pengamatan mineralogi menunjukkan bahwa batuan beku pada zona prospek telah mengalami ubahan hidrotermal. Mineral primer seperti plagioklas, hornblenda, dan biotit dapat tergantikan oleh mineral sekunder seperti K-feldspar, biotit hidrotermal, serisit/illit, klorit, epidot, kalsit, kaolinit, dan alunit. Susunan mineral tersebut tidak muncul secara acak, tetapi membentuk zonasi yang merekam perubahan suhu, pH, dan komposisi fluida.

Pada sistem porfiri Cu-Au, alterasi potasik dicirikan oleh K-feldspar dan biotit sekunder serta berasosiasi dengan inti sistem mineralisasi. Alterasi filik atau klorit-serisit ditandai oleh serisit/illit, kuarsa, pirit, dan klorit, yang sering menjadi zona transisi. Alterasi argilik hingga argilik lanjut ditandai oleh kaolinit, dickit, alunit, atau pirofilit dan umumnya merekam fluida lebih asam. Sementara itu, alterasi propilitik dengan klorit, epidot, kalsit, dan albite menunjukkan zona distal yang masih berguna sebagai vektor menuju pusat sistem.

Identifikasi mineral alterasi sebaiknya tidak hanya mengandalkan pengamatan megaskopis. XRD diperlukan untuk memastikan mineral kristalin, sedangkan SWIR efektif untuk mendeteksi mineral pembawa gugus OH seperti white mica, kaolinit, alunit, klorit, dan karbonat. Petrografi biotit dari analog regional memperlihatkan perbedaan antara biotit magmatik dan hidrotermal, yang sangat penting untuk membedakan proses kristalisasi magma dari proses ubahan fluida.



Gambar 5. Contoh petrografi biotit magmatik dan hidrotermal pada sistem porfiri Cu-Au regional Sumbawa. Sumber: Idrus, 2018.

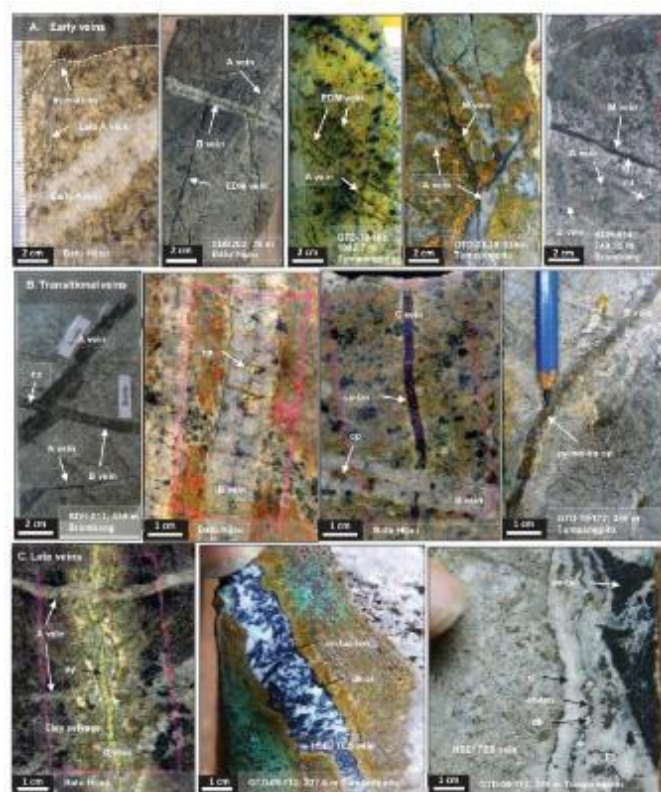
Tabel 2. Hubungan mineral alterasi, metode identifikasi XRD/SWIR, dan interpretasi genetik dalam sistem Cu-Au.

Zona alterasi	Mineral indikator	Metode identifikasi	Makna genetik
Potasik	K-feldspar, biotit sekunder, magnetit, kuarsa	XRD: K-feldspar/biotit; petrografi: biotit sekunder; SWIR relatif lemah kecuali ada serisit/klorit minor	Inti panas dan pusat potensial Cu-Au-Mo
Filik / klorit-serisit	Kuarsa, serisit/illit, pirit, klorit	SWIR: Al-OH white mica sekitar 2200 nm; XRD: serisit/illit dan kuarsa	Zona transisi dan jalur fluida aktif
Argilik - argilik lanjut	Kaolinit, dickit, alunit, pirofilit, kuarsa	SWIR: Al-OH kuat; XRD membedakan mineral lempung dan sulfat	Bagian atas atau zona fluida asam
Propilitik	Klorit, epidot, kalsit, albite, pirit minor	SWIR: Mg-OH/Fe-OH dan karbonat; XRD: klorit-epidot-kalsit	Zona distal; vektor menuju pusat sistem

Data singkapan memperlihatkan urat kuarsa-sulfida dan stockwork sebagai bukti adanya aliran fluida hidrotermal melalui rekahan. Dalam sistem porfiri, urat awal biasanya berkaitan dengan tahap suhu tinggi dan alterasi potasik, sedangkan urat transisional dan urat akhir merekam perubahan kondisi fluida selama pendinginan dan evolusi sistem. Keberadaan kalkopirit, bornit, pirit, dan molibdenit pada urat atau disseminated sulfide menjadi indikator penting bahwa fluida telah mencapai kondisi pengendapan logam.

Gambar 6 memperlihatkan contoh tipe urat dari analog regional yang dapat digunakan untuk membaca evolusi sistem. Urat awal dan transisional lebih relevan terhadap pembentukan mineralisasi Cu-Au-Mo, sedangkan urat akhir dapat merekam overprint hidrotermal yang lebih dingin atau lebih asam. Pola pemotongan antarurat juga penting karena menunjukkan urutan relatif pembentukan mineralisasi.

Secara geokimia, Cu, Au, dan Mo ditafsirkan sebagai indikator proksimal karena berhubungan dekat dengan pusat intrusi dan stockwork. Sebaliknya, As, Pb, Zn, dan sebagian Ag lebih banyak berperan sebagai halo atau indikator perifer. Unsur K, S, Fe, Ba, dan Sr membantu membedakan pengaruh alterasi potasik, piritisasi, serta variasi komposisi batuan. Dengan demikian, anomali geokimia harus dibaca bersama litologi dan alterasi, bukan sebagai peta kadar yang berdiri sendiri.



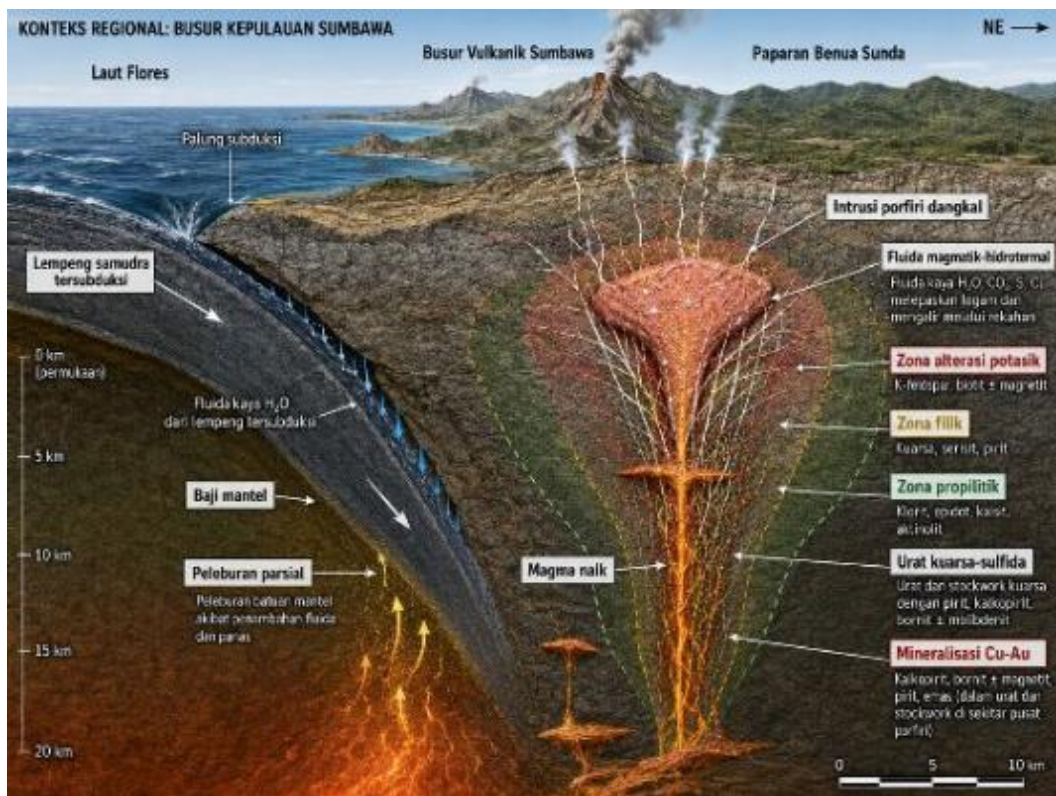
Gambar 6. Tipe urat porfiri dari tahap awal, transisional, hingga tahap akhir sebagai rekaman evolusi fluida hidrotermal. Sumber: Maryono et al., 2018.

Tabel 3. Pembacaan unsur geokimia sebagai vektor proksimal-distal dalam sistem mineralisasi Cu-Au.

Unsur/asosiasi	Peran vektor	Interpretasi eksplorasi
Cu-Au-Mo	Proksimal	Berimpit dengan stockwork, alterasi potasik/filik, dan intrusi porfiritik; prioritas target tinggi
Ag	Transisi-perifer	Perlu dibaca bersama tekstur urat dan asosiasi sulfida; dapat meningkat pada tahap lebih lanjut
As	Halo atas/asam	Mendukung indikasi fluida lebih asam atau bagian atas sistem, terutama bila berasosiasi dengan argilik lanjut
Pb-Zn	Distal/perifer	Mengindikasikan posisi lebih jauh dari inti Cu-Au-Mo atau tahap hidrotermal yang lebih akhir
K-S-Fe	Alterasi dan sulfida	K terkait potasik; S dan Fe merekam piritisasi dan intensitas sulfida
Ba-Sr	Penjejak batuan/fluida	Membantu membedakan evolusi magma, alterasi, dan kemungkinan pengaruh batuan sampling

Berdasarkan integrasi seluruh data, petrogenesis batuan dan pembentukan mineral bijih pada zona prospek dapat direkonstruksi dalam beberapa tahap. Tahap pertama adalah pembentukan magma busur akibat subduksi pada segmen Sunda-Banda. Dehidrasi slab memperkaya baji mantel dengan H₂O dan volatil, sehingga magma yang terbentuk bersifat hydrous dan relatif teroksidasi. Tahap kedua adalah naiknya magma ke kerak dangkal dan pembentukan intrusi intermediet-felsik bertekstur porfiritik. Tekstur ini sesuai dengan sistem magmatik yang mengalami kristalisasi bertahap dan mampu mempertahankan suplai panas untuk sistem hidrotermal. Tahap ketiga adalah eksolusi fluida magmatik-hidrotermal. Ketika magma makin terdiferensiasi, sisa lelehan menjadi kaya H₂O, S, Cl, dan logam. Fluida yang terlepas membawa Cu, Au, Mo, dan unsur penjejak, kemudian bergerak melalui rekahan. Tahap keempat adalah reaksi fluida dengan batuan sampling. Reaksi ini menghasilkan alterasi potasik di bagian inti, filik/klorit-serisit pada zona transisi, argilik pada bagian yang lebih asam, dan propilitik pada zona distal.

Tahap terakhir adalah pengendapan sulfida dan pembentukan bijih. Pendinginan, perubahan tekanan, perubahan pH, serta reaksi fluida-batuan menyebabkan logam mengendap sebagai kalkopirit, bornit, pirit, dan molibdenit, dengan Au berasosiasi pada sulfida Cu-Fe atau urat kuarsa-sulfida. Model ini menjelaskan mengapa data singkapan, petrologi, alterasi, dan geokimia pada zona prospek harus dipahami sebagai satu sistem yang saling terkait. Rekonstruksi konseptual hubungan subduksi, intrusi magmatik, alterasi, dan pembentukan mineral bijih Cu-Au dirangkum pada Gambar 7.



Gambar 7. Ilustrasi hubungan subduksi, intrusi magmatik dangkal, alterasi hidrotermal, urat kuarsa-sulfida, dan pembentukan mineralisasi Cu-Au pada konteks regional Sumbawa. Sumber: Sillitoe, 2010; Loucks dan Fiorentini, 2023.

KESIMPULAN

Indikasi Cu-Au pada batuan beku di zona prospek sekitar Sumbawa paling konsisten ditafsirkan sebagai bagian dari sistem magmatik-hidrotermal yang berkembang pada lingkungan busur subduksi Sunda-Banda. Interpretasi ini didukung oleh kesesuaian antara data singkapan, karakter petrologi batuan beku porfiritik, pola alterasi hidrotermal, sistem urat, dan asosiasi geokimia multiunsur.

Rekonstruksi petrogenesis menunjukkan bahwa magma busur yang hydrous, relatif teroksidasi, dan berevolusi ke arah intrusi intermediet-felsik berperan sebagai sumber panas, fluida, dan logam. Proses diferensiasi magma menyebabkan eksolusi fluida magmatik-hidrotermal yang membawa Cu, Au, Mo, Ag, As, Pb, Zn, dan unsur penjejak lain. Fluida tersebut kemudian membentuk urat kuarsa-sulfida, stockwork, alterasi potasik sampai propilitik, serta presipitasi mineral bijih.

Data XRD/SWIR, petrografi, dan geokimia tidak boleh ditafsirkan secara terpisah. Mineral alterasi memberikan informasi posisi dan kondisi fluida, sedangkan geokimia memberikan pola anomali proksimal-distal. Cu-Au-Mo menjadi indikator utama bagian proksimal, sedangkan As, Ag, Pb, dan Zn berfungsi sebagai vektor halo atau zona perifer. Integrasi seluruh data tersebut menghasilkan model genesis yang lebih terstruktur dan dapat digunakan sebagai dasar penentuan target eksplorasi lanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowen, N.L. 1928. *The Evolution of the Igneous Rocks*. Princeton: Princeton University Press.
- Fiorentini, M.L. dan Garwin, S.L. 2010. Evidence of a mantle contribution in the genesis of magmatic rocks from the Neogene Batu Hijau district in the Sunda Arc, South Western Sumbawa, Indonesia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 159, 819-837.
- Idrus, A. 2018. Petrography and Mineral Chemistry of Magmatic and Hydrothermal Biotite in Porphyry Copper-Gold Deposits: A Tool for Understanding Mineralizing Fluid Compositional Changes During Alteration Processes. *Indonesian Journal on Geoscience*, 5(1), 47-64.
- Loucks, R.R. dan Fiorentini, M.L. 2023. Early zircon saturation in adakitic magmatic differentiation series and low Zr content of porphyry copper magmas. *Mineralium Deposita*, 58, 1381-1393.
- Maryono, A., Harrison, R.L., Cooke, D.R., Rompo, I., dan Hoschke, T.G. 2018. Tectonics and Geology of Porphyry Cu-Au Deposits along the Eastern Sunda Magmatic Arc, Indonesia. *Economic Geology*, 113, 7-38.
- Marwanza, I., Nas, C., Badaruddin, S.P., dan Azizi, M.A. 2018. Copper resource estimation in PT X, Regency of West Sumbawa, West Nusa Tenggara Province using geostatistical method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 212, 012024.
- Sillitoe, R.H. 2010. Porphyry copper systems. *Economic Geology*, 105(1), 3-41.
- Thompson, A.J.B., Hauff, P.L., dan Robitaille, A.J. 1999. Alteration mapping in exploration: application of short-wave infrared (SWIR) spectroscopy. *Society of Economic Geologists Newsletter*, 39, 16-27.
- Pirajno, F. 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral Systems*. Dordrecht: Springer.