GEOKIMIA PADA ENDAPAN Cu-Au PORFIRI BRAMBANG PULAU LOMBOK, NUSA TENGGARA BARAT

Aji Syailendra Ubaidillah[1,2*], Arifudin Idrus[1], I Wayan Warmada[1] & Syafruddin Maula[3]
[1]Department of Geological Engineering, Gadjah Mada University, Indonesia
[2]Depatment of Mining Engineering, Universitas Muhammadiyah Mataram
[3]PT. Buena Persada Mining Service (BPMS)
e-mail: *aji.syailendra@gmail.com

ABSTRAK

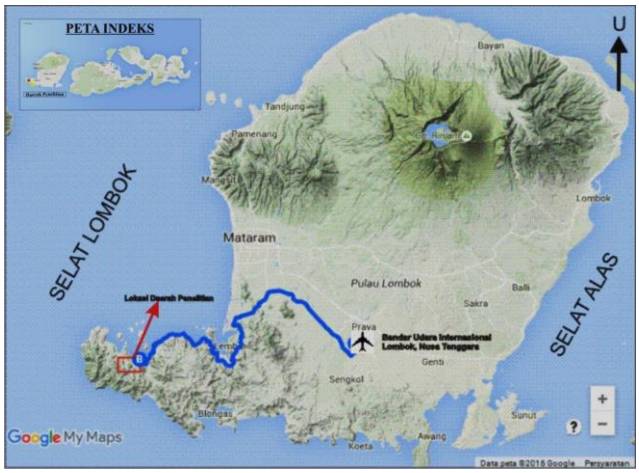
Dijelaskan dalam makalah ini Mineralisasi Bijih dan Geokimia Batuan Samping prospek geologi brambang tembaga-emas porfiri didasarkan pada penelitian yang hadir, sebelumnya dan awal. Prospek dieksplorasi dengan perusahaan nasional PT. Buena Persada, terletak di barat daya Lombok Island, berjarak sekitar 50 km dari SW dari Mataram, ibukota Provinsi Nusa Tenggara Barat. Endapan mineralisasi dari endapan porfiri Cu-Au ditemukan paralel dengan tren struktural north-northwest di pulau Lombok. Endapan mineralisasi tersebut terdapat pada zona alterasi potasik. Singkapan intrusi yang banyak ditemukan pada tepi-tepi jalan di daerah Brambang menunjukkan urat-urat yang saling berpotongan membentuk *stockwork* dan dalam contoh *outcrop* menunjukkan potensi mineral bijih yang cukup melimpah. Batuan intrusi Tonalit menembus batuan Andesit dan unit batuan sedimen sehingga menghasilkan *stockwork*. Terdapat sesar utama di daerah penelitian dengan arah NE dan NW, sesar ini berfungsi sebagai media oleh batuan intrusi Tonalit untuk mengintrusi batuan asal. Selanjutnya terjadi *multi fase* intrusi pada *stock* tonalit, yang menghasilkan tonalit tua dan tonalit muda. Tonalit tua dan batuan dinding yang berdekatan akan menjadi *host rock* dengan mineralisasi tinggi, sedangkan Tonalit muda memiliki komposisi yang sama dengan intrusi tonalit tua, tetapi mineralisasinya tidak terlalu kuat.

Kata-kata kunci*:* Mineralisasi Bijih, Geokimia Bijih, *Stockwork, outcrop,* Tonalit.

PENDAHULUAN

Daerah Brambang merupakan salah satu daerah di Lombok yang memiliki mineralisasi endapan porfiri Cu-Au. Daerah ini dikontrol struktur geologi yang signifikan, ditandai dengan hadirnya sesar geser yang berkembang dengan arah umum timur laut – barat daya dan barat laut – tenggara serta kekar. Kontrol struktur inilah yang menjadikan daerah ini memiliki potensi mineralisasi.

Intrusi tonalit yang banyak tersingkap di tepi-tepi jalan Daerah Brambang menunjukkan urat-urat yang saling berpotongan membentuk *stockwork* dan dalam contoh setangan menunjukkan potensi mineral bijih yang cukup melimpah. *Stockwork* terbentuk akibat pengisian rekahan yang saling memotong oleh larutan hidrotermal (Ridley, 2013)



Gambar-1. Peta lokasi daerah penelitian

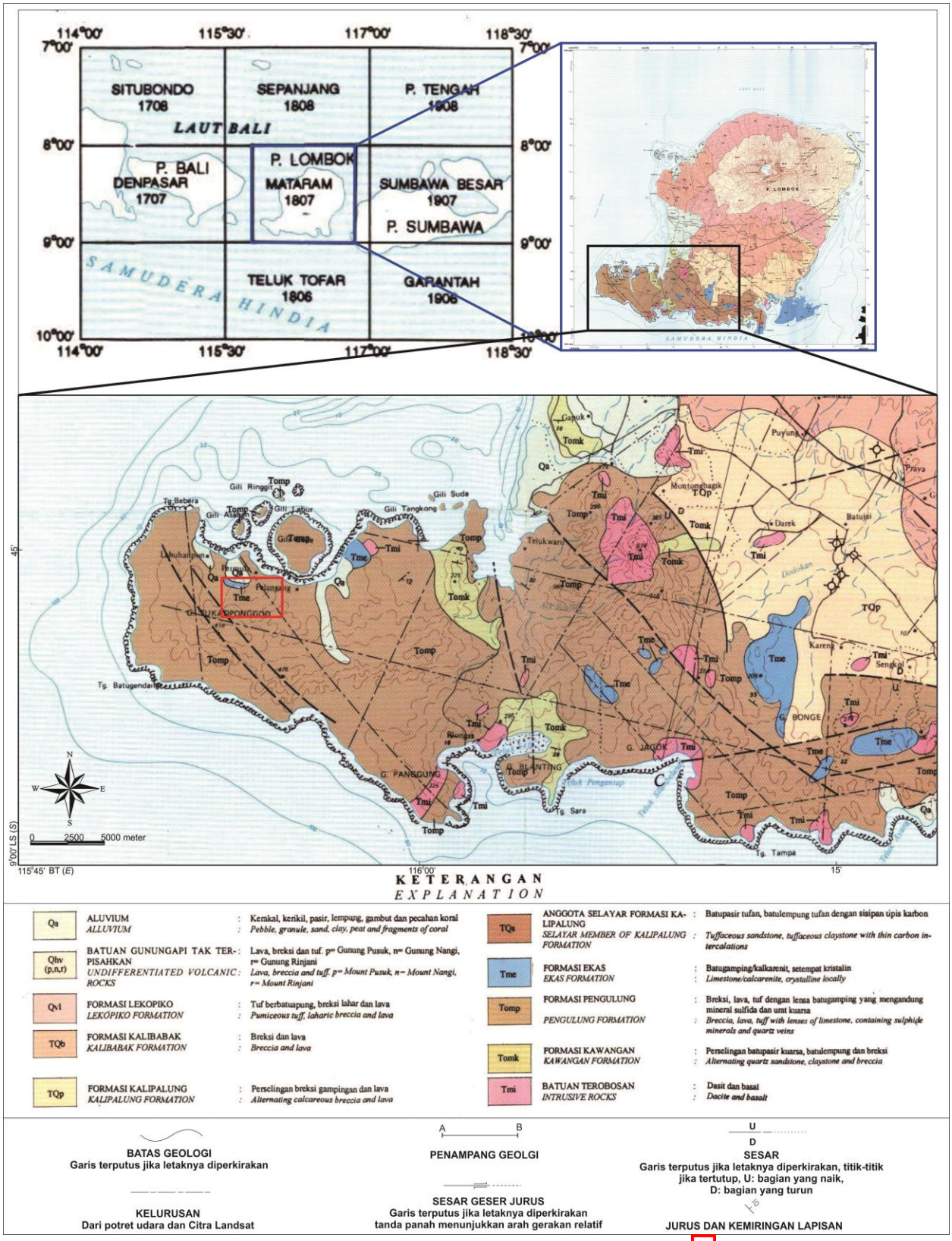
Lokasi Penelitian terletak di daerah Brambang, Kecamatan Sekotong, Kabupaten Lombok Barat. Kabupaten Lombok Barat memiliki luas ± 10 km². Secara geografis daerah penelitian terletak pada koordinat X dan Y. Dusun Brambang terletak di Barat Daya Pantai Lombok (Gambar-1.).

GEOLOGI BRAMBANG

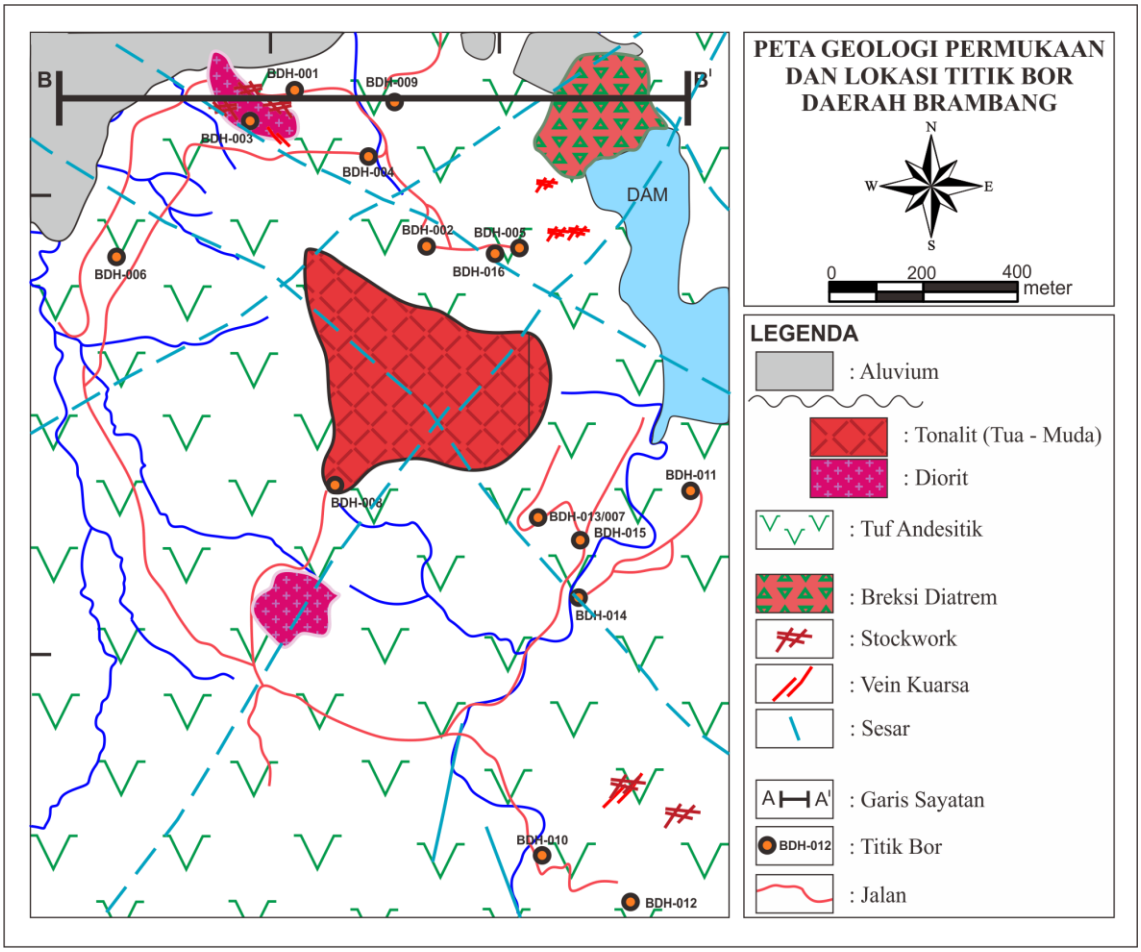
Geologi daerah Brambang dimulai pada Kala Oligosen Akhir, yaitu dengan dimulainya aktivitas tektonik yang diikuti oleh kegiatan gunungapi yang menghasilkan breksi vulkanik Formasi Pengulung dan tuf Formasi Kawangan. Kegiatan gunungapi ini berlangsung hingga Miosen Awal pada kondisi gunungapi berada pada lingkungan terestrial. Aktivitas tektonik ini berasal dari subduksi lempeng Samudra Hindia-Australia ke Lempeng Benua Eurasia.

Fisiografi Brambang merupakan bagian dari Satuan Geomorfologi Perbukitan Bergelombang di bagian selatan Pulau Lombok. Pegunungan di selatan ini membentang dari Jawa bagian selatan ke arah timur melalui bagian selatan Bali, Lombok, hingga Sumbawa (Indarto dkk., 1997). Pegunungan Selatan ini merupakan jalur pegunungan lipatan Tersier yang tersusun oleh asosiasi batuan volkanik calk-alkaline dan sedimen marine yang berumur Miosen (Van Bemmelen, 1949). Daerah penelitian memiliki ketinggian berkisar dari ± 50 meter hingga ± 400 meter (Mangga dkk., 1994), (Sudrajat dkk., 1998), (Indarto dkk., 1997), (Clode & Pratama, 2002) dan (Rompo dkk., 2012).

Pada kala Miosen Tengah terjadi kegiatan magmatik yang ditandai munculnya sebuah retas dasit yang menerobos Formasi Pengulung dan Formasi Kawangan (Mangga, dkk., 1994) Gambar-2. Terobosan batuan ini mengakibatkan proses ubahan dan mineralisasi bijih sulfida serta hadirnya urat-urat kuarsa pada batuan yang diterobosnya (Gambar-3). Gambar-3 menunjukkan peta Geologi di daerah Brambang dengan batuan andesit yang di intrusi tonalit serta penampakan *stockwork* disebelah utara dan tenggara dari intrusi tonalit tersebut.



Gambar-2. Peta geologi regional lembar Lombok (Mangga dkk., 1994). Kotak Merah ( ) adalah daerah penelitian.



Gambar-3. Peta Geologi daerah Brambang dan sekitarnya dari PT Bintang Bulaeng Persada (2009).

Kontrol struktur geologi sangat berpengaruh pada kehadiran mineral bijih pada daerah penelitian. Struktur geologi daerah penelitian juga mengikuti pola yang sama dengan struktur geologi regional yaitu Barat Laut (NW), Timur Laut (NE), dan Barat Daya (SW). Trend struktur geologi yang berkembang terlihat pada peta geologi Lembar Lombok dengan arah umum timurlaut (NE) – baratdaya (SW) serta baratlaut (NW) – tenggara (SE). Kehadiran mineralisasi dipengaruhi oleh kedua trend utama struktur geologi.

METODOLOGI

Secara umum metode penelitian yang dilakukan peneliti dibagi menjadi dua yakni metode penelitian lapangan dan metode penelitian laboratorium. Pada penelitian lapangan dilakukan pemetaan permukaan berdasarkan pengamatan batuan secara megaskopis meliputi warna, struktur dan tekstur.

Adapun pendekatan metodologi penelitian yang digunakan meliputi analisis petrologi dan petrografi. Analisis ini dipilih untuk menganalisis sayatan tipis batuan baik yang teralterasi maupun batuan yang belum teralterasi. Analisis sampel mineral bijih untuk sayatan poles digunakan untuk membedakan tipe dan tekstur dari mineral bijih. Analisis ini juga dilakukan pada sampel batuan baik sampel pada batuan asal maupun pada batuan yang telah teralterasi.

Analisis geokimia batuan menggunakan metode XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectometry*) untuk mengetahui kandungan unsur utama, unsur jejak, dan unsur jarang dalam conto batuan. Data geokimia batuan tersebut kemudian digunakan untuk melakukan perhitungan kesetimbangan massa dan volume (*mass balance*) selama proses alterasi hidrotermal dengan metode isocon (Grant, 1986). Analisis spektrometer serapan atom digunakan untuk mengetahui unsur logam. Unsur-unsur logam ini kemudian digunakan dengan nilai unsur oksida utama, unsur jejak dan unsur tanah jarang guna mengetahui kelimpahan dari unsur tersebut setelah terjadinya alterasi.

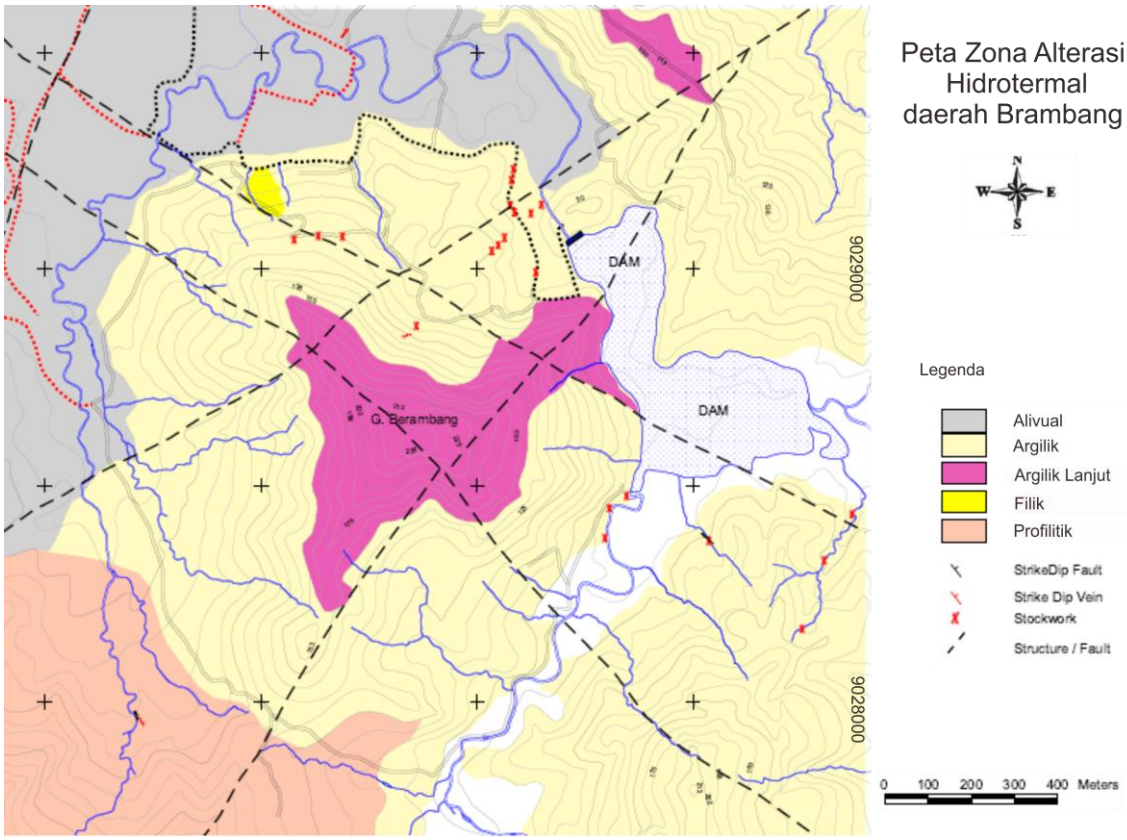
ALTERASI HIDROTERMAL

Penyebaran alterasi argillik - filik dan argilik lanjut mencakup area yang luas terutama bagian utara Gunung Brambang. Zona stockwork kuarsa yang terkait dengan unsur Cu - Au jelas ditemukan di beberapa lokasi, terutama pada kontak intrusi (Gambar-4).

Alterasi hidrotermal sangat luas untuk ukuran cebakan dan berada di sekitar *vein* dan rekahan. Cebakan porfiri terkadang terdiri dari zona potasik yang dicirikan oleh biotit dan atau K – feldspar (± amfibol ± magnetit ± anhidrit) dan zona luar alterasi propilitik yang terdiri dari kuarsa, klorit, epidot, kalsit dan albit berasosiasi dengan pirit. Zona alterasi filik (kuarsa + serisit + pirit) dan alterasi argilik (kuarsa + ilit + kaolinit + pirit + smektit + monmorilonit + kalsit).

Perubahan unsur kimia pada batuan yang teralterasi erat hubunganya dengan mineralogi dan komposisi batuan dari proses alterasi hidrotermal. Alterasi hidrotermal di daerah Brambang didapat dari proses intrusi tonalit terhadap batuan andesit. Tumpang tindih antara tipe alterasi yang satu dengan tipe alterasi yang lainnya

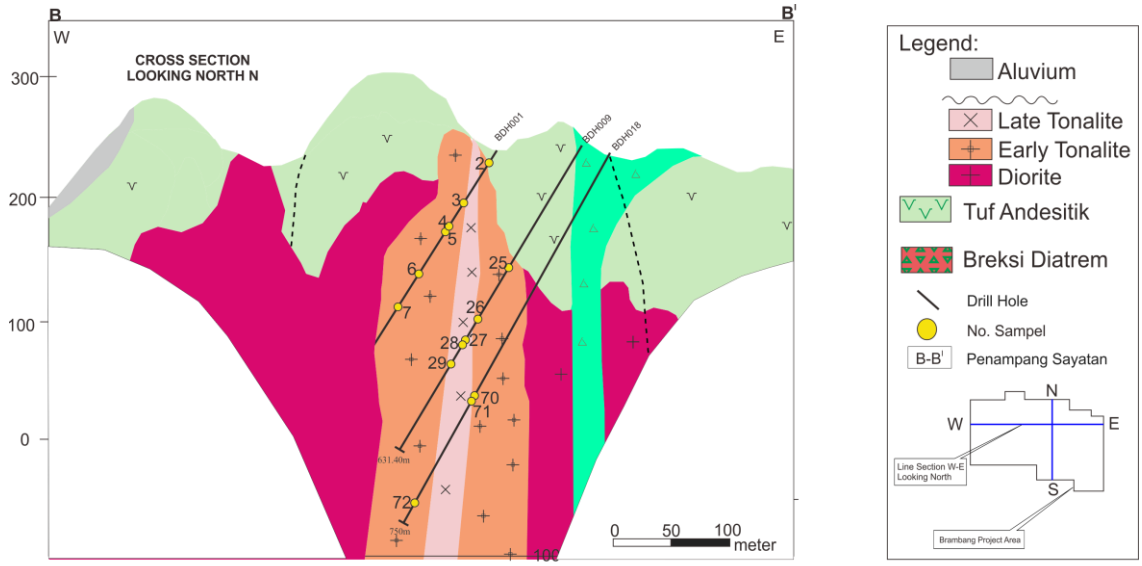
mencerminkan kompleksitas alterasi hidrotermal yang cukup kompleks (Gambar-4). Analisis alterasi hidrotermal dilakukan terhadap sampel *outcrop* dari permukaan dan inti bor dari tiga belas lubang bor. Pembagian satuan alterasi hidrotermal didasarkan pada kumpulan asosiasi mineral sekunder (White, 1996).



Gambar-4. Peta zona alterasi hidrotermal daerah Brambang (dimodifikasi dari PT Bulan Bulaeng, 2009).

Alterasi terjadi sebagai proses kesetimbangan antara mineral-mineral batuan yang berinteraksi dan larutan fluida hidrotermal. Alterasi umumnya terjadi bersama dengan terbentuknya pengisian rekahan-rekahan oleh urat-urat atau *gangue*. Jika kenampakan alterasi ini pada tubuh batuan memiliki pola keteraturan maka kita bisa membaginya menjadi suatu zona yang disebut zona alterasi hidrotermal. White (1996) mendeskripsikan faktor-faktor yang berpengaruh dalam alterasi hidrothermal menjadi tiga faktor utama antara lain bagaimana rasio perbandingan fluida hidrotermal dan batuan, interaksi batuan dengan fluida hidrotermal, dan komposisi fluida hidrotermal.

Terdapat Tiga Fase alterasi di daerah Brambang yang kemudian menghasilkan alterasi potasik, alterasi filik, alterasi propilitik, alterasi argilik lanjut dan alterasi argilik. Alterasi potasik adalah fase paling awal alterasi hidrotermal berasosiasi dengan intrusi Tonalit Pertama. Fase tersebut ditandai oleh proses pembentukan biotit sekunder dari mineral-mineral mafik (hornblende dan biotit primer) yang diikuti oleh proses kloritisasi mineral-mineral mafik termasuk biotit sekunder yang sebelumnya terbentuk. Fase ini menghasilkan zona alterasi biotit±magnetit yang dilingkupi oleh zona luas alterasi propilitik (klorit-epidot) di sekelilingnya. Fase berikutnya adalah fase intrusi tonalit yang kedua. Zona alterasi ini, mengalami proses pengkayaan biotit sekunder, sekaligus mengalami proses kloritisasi dan membentuk zona alterasi biotit-klorit±magnetit dan dikelilingi oleh zona alterasi klorit-epidot. Sampai dengan fase ini komponen dari magma terus mengalirkan fluida hidrotermal hingga 95% kedalam sistem ortomagmatik (McMillan & Panteleyev, 1988) dan 5% dari fluida hidrotermal tersebut dialirkan keluar sistem (dari sistem ortomagmatik dialirkan lagi ke sistem konveksi). Aliran fluida magmatik yang memasuki sistem konveksi dan bercampur dengan fluida meteorik dan alterasi batuan samping ini mengakibatkan tubuh plutonik mengalami pendinginan dan membentuk rekahan yang kemudian terisi dengan fluida hidrotermal. Proses pendinginan ini diikuti dengan proses pergantian mineral silikat oleh mineral serisit dan kuarsa. Pada fase ini zona alterasi klorit±magnetit ter *overprint* oleh zona alterasi serisit dan membentuk zona alterasi klorit-serisit±magnetit yang dikelilingi oleh zona alterasi filik.



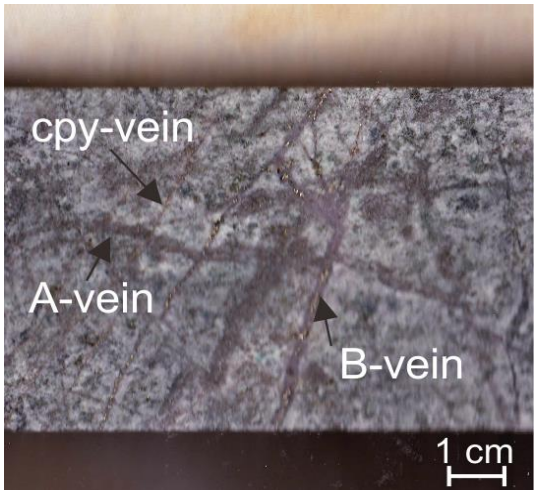
162

Gambar-5. Menunjukkan mineralisasi bijih yang berasosiasi dengan intrusi. Penampang B-B^{I} (referensi Gambar-3)

Fase selanjutnya atau fase yang terakhir, fase ini disebabkan oleh semakin bertambahnya kontak dengan fluida meteorik yang mengakibatkan proses penghancuran mineral feldspar menjadi mineral-mineral lempung. Proses ini membentuk zona alterasi mineral lempung kaolinit-iilit dan smektit-illit (zona alterasi argilik lanjut dan argilik).

Data menunjukkan bahwa tipe mineralisasi bijih yang ada didaerah penelitian adalah tipe mineralisasi endapan tembaga porfiri. Mineralisasi ini berasosiasi dengan intrusi tonalit yang menerobos batuan andesit sebagai batuan samping.

Gambar-5 menunjukkan mineralisasi bijih yang berasosiasi dengan intrusi "menjari' tonalit pertama dan tonalit kedua yang mengintrusi batuan sampingnya (andesit). Mineral bijih di daerah penelitian pada umumnya hadir sebagai pengisi urat baik bersama-sama dengan kuarsa maupun tidak atau sebagai hamburan dalam batuan (Gambar-6). Mineral sulfida pembawa tembaga seperti kalkopirit, bornit, dan sejumlah kovelit, yang berasosiasi dengan pirit dan mineral-mineral oksida besi seperti magnetit, hematit, goetit adalah mineral mineral bijih yang terdapat didaerah penelitian Brambang. Saling memotong antara vein (*cross cutting vein*) sebagai salah satu penciri deposit porfiri juga jelas terlihat, dimana A-vein dipotong oleh B-vein dan *cpy* (*chalcopyrite)*-vein. Terlihat juga deformasi dari A-vein yang menunjukkan proses tekanan dari batuan yang dilaluinya.



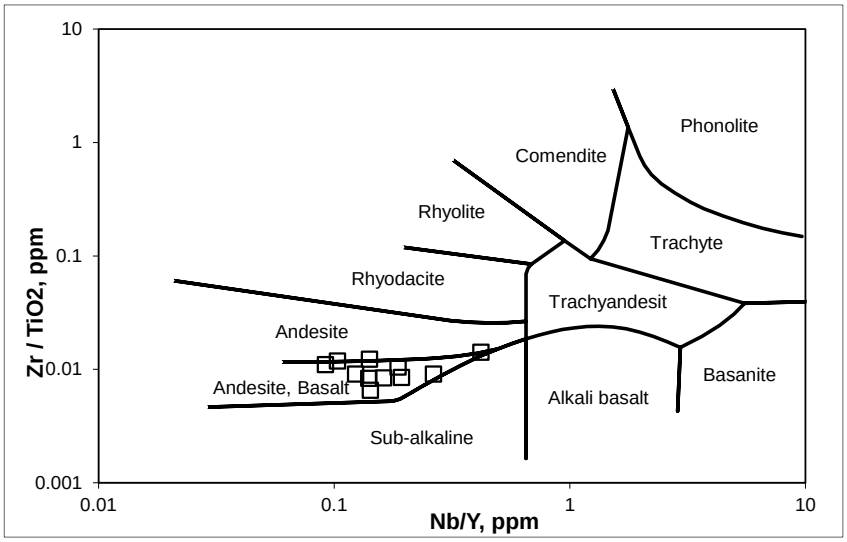
Gambar-6. Conto batuan intrusi tonalit tua yang menunjukkan *cross cutting* vein dan veinlet. B-vein dengan cpy (*chalcopyrite)* dan bornit pada *center line*. *Disseminated* pirit jarang terlihat.

GEOKIMIA BATUAN

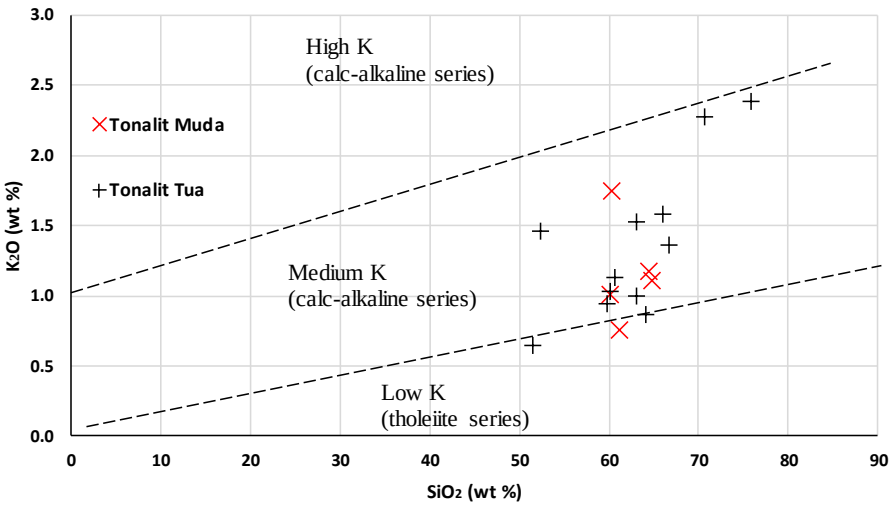
Pembawa mineralisasi di daerah penelitian Brambang adalah tonalit yang mengintrusi andesit. Gambar-7 Menunjukkan diagram Winchester dan Floyd (1976), dengan menggunakan nilai total unsur elemen yang *immobile* pada lokasi penelitian termasuk ke dalam komposisi andesit. Komposisi andesit dan andesit basalt ini menandakan bahwa jenis magma merupakan bersifat intermediet dan umumnya lingkungan tektoniknya di daerah subduksi zona *back arc*.

Baik Tonalit Tua maupun Tonalit Muda, keduanya tergolong sebagai batuan beku intermediet yang kaya akan silika. Komposisi silika Tonalit Tua kurang lebih 66% dengan total alkali K sekitar 1-1,5%, sementara

komposisi silika dalam Tonalit Kedua kurang lebih 60% dengan total alkali sekitar 0,75-1,75%. Berdasarkan hasil pengeplotan pada diagram tipe magma menurut Le Maitree, dkk. (1989) dalam Rollinson (1993). menunjukkan bahwa intrusi tonalit pada daerah penelitian adalah berasal dari magma dengan afinitas kalk-alkalin (Gambar-8). Hal tersebut mengindikasikan bahwa daerah penelitian Brambang berada pada zona busur kepulauan (konvergen). Namun demikian, tingkat mineralisasi keduanya berbeda, tingkat mineralisasi Tonalit Muda relatif lebih rendah apabila dibandingkan tingkat mineralisasi Tonalit Tua. Hal tersebut ditunjukkan keberadaan *vein* kuarsa halus (veinlet kuarsa) pada Tonalit Pertama relatif lebih banyak.

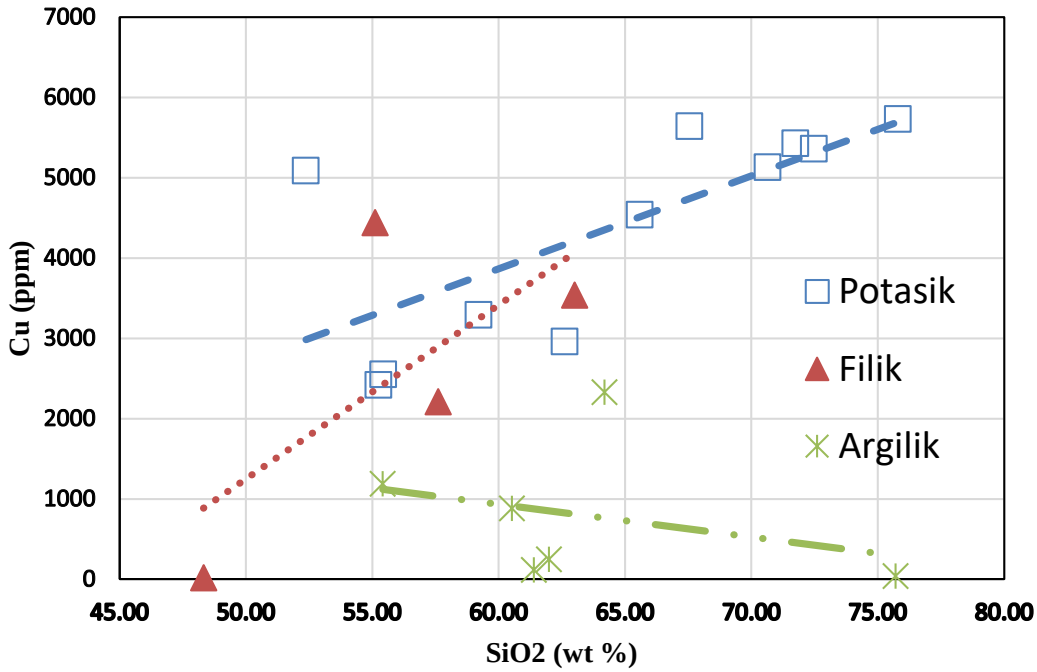


Gambar-7. Menunjukkan Andesit sebagai tipe batuan sebagai hasil pengeplotan menggunakan elemen immobile (setelah Winchester dan Floyd, 1976).

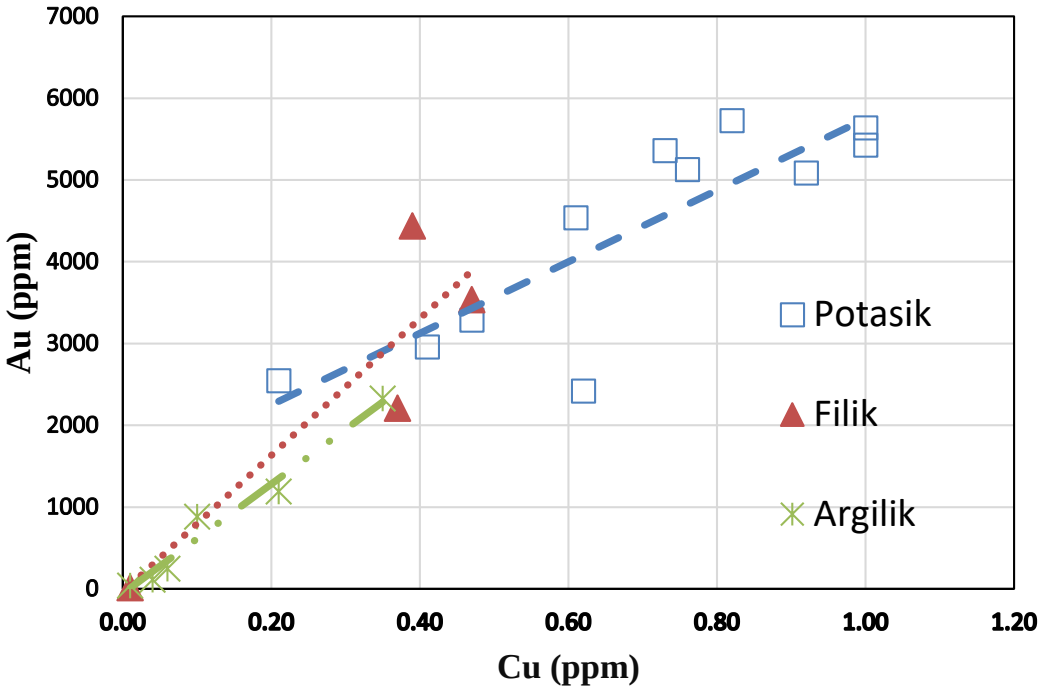


Gambar-8. Afinitas Diagram SiO_2 (wt.% dengan LoI<5 wt.%) terhadap K_2O (wt.% dengan LoI<5 wt.%). Modifikasi Diagram Tipe Magma menurut Le Maitree, dkk. (1989) dalam Rollinson (1993).

Pada Gambar-9 kelimpahan unsur Cu dapat dilihat pada setiap alterasi potasium, filik. Peningkatan kelimpahan unsur Cu pada alterasi potasium dan filik sejalan dengan peningkatan kadar SiO2 yang mencerminkan peningkatan *maturity* secara mineralogy. Kemungkinan intensitas pembentukan cross cutting vein pada alterasi potasik mencerminkan peningkatan kadar Cu didalam *vein* tersebut. Akan tetapi pada alterasi argilik peningkatan kadar SiO2 tidak diikuti dengan meningkatnya kelimpahan unsur Cu.



Gambar-9. Variasi dari diagram Harker antara unsur logam Cu (dalam ppm) dan SiO_2 (dalam % berat).



Gambar-10. Variasi dari diagram Harker antara unsur logam Au [ppm] dan Cu [ppm].

Pengayaan unsur Au yang meningkat bersamaan dengan pengayaan unsur Cu pada alterasi potasik, filik dan argilik menunjukkan bahwa pengayaan unsur Au juga bersamaan dengan pembentukan mineral sulfida yang mengandung unsur tembaga (Gambar-10).

Dalam prosesnya alterasi hidrotermal mengakibatkan perubahan terhadap mineralisasi dan geokimia batuan yang dapat berupa pengayaan (gains) atau pengurangan (losses) terhadap oksida maupun unsur dalam batuan. Diawal fase reaksi fluida hidrotermal dengan batuan samping akan menghasilkan alterasi potasik pada bagian luar dari batuan intrusi dan juga zona alterasi argilik lanjut pada bagian atas batuan intrusi tersebut. Reaksi fluida hipersalin yang mengandung K dan Na dengan batuan samping ini, yang kemudian menentukan himpunan mineral seperti K-felspar, biotit dan magnetit dari zona alterasi potasik (Giggenbach, 1997). Pada intrusi selanjutnya, fluida hidrotermal akan melewati zona alterasi potasik yang sudah ada dan membentuk zona alterasi filik atau zona alterasi serisit-klorit (Hedenquist & Richards, 1998).

Dengan begitu *mass balance* akan dikalkulasi berdasarkan:

1. Perubahan unsur pada zona alterasi potasik dibandingkan dengan unsur pada batuan *fresh.*
2. Perubahan unsur zona alterasi filik dibandingkan dengan unsur pada zona alterasi potasik.
3. Atau perubahan unsur zona alterasi sesudah alterasi filik (zona alterasi profilitik) dibandingkan dengan unsur pada zona alterasi potasik.

Perhitungan keseimbangan massa umumnya memakai metode Gresens (1967) yang dimodifikasi oleh Grant (1986). Untuk menghitung keseimbangan massa, digunakan sampel batuan teralterasi, begitu juga batuan tidak teralterasi (atau sedikit teralterasi).

Unsur *immobile* (Al, Ti, Ga, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) dipakai sebagai parameter *isocon*, dengan menggunakan standar deviasi dari analisis unsur *immobile* (Selverstone dkk., 1991; Kolb dkk., 2000).

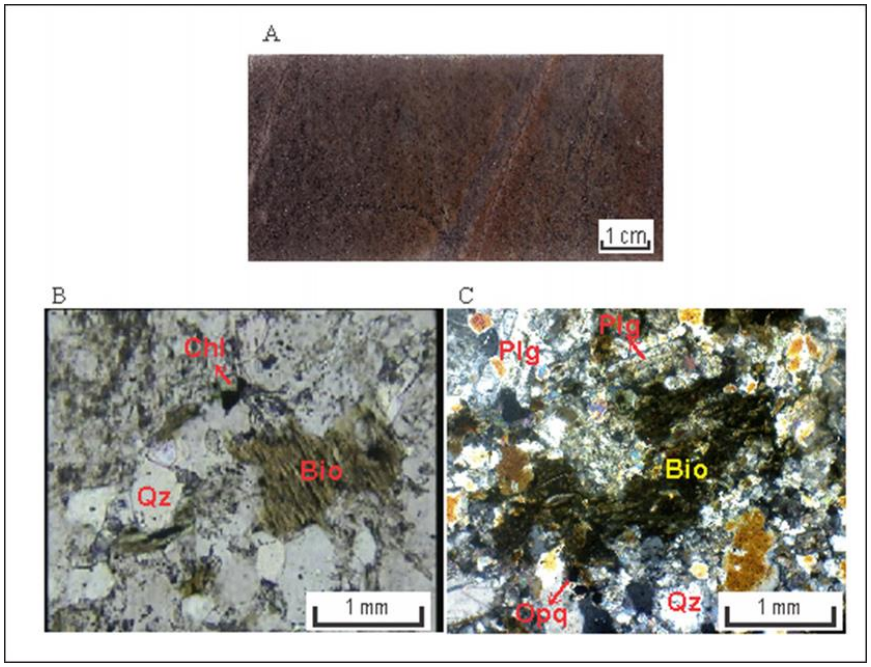
HASIL DAN DISKUSI

Tahapan alterasi hidrotermal di daerah penelitian dimulai oleh pembentukan aleterasi biotit-klorit±magnetit. Alterasi klorit-serisit±magnetit yang terbentuk kemudian meng-overlap alterasi biotit-klorit±magneitit, diikuti oleh pembentukan alterasi seirist-klorit-mineral lempung. Alterasi mineral lempung (kaolinit-ilit dan pirofilit-alunit) terbentuk pada tahap akhir dan meng-overlap alterasi yang telah terbentuk sebelumnya (Gambar-11). Analisis kesetimbangan massa dan volume mengacu pada tahapan tersebut.

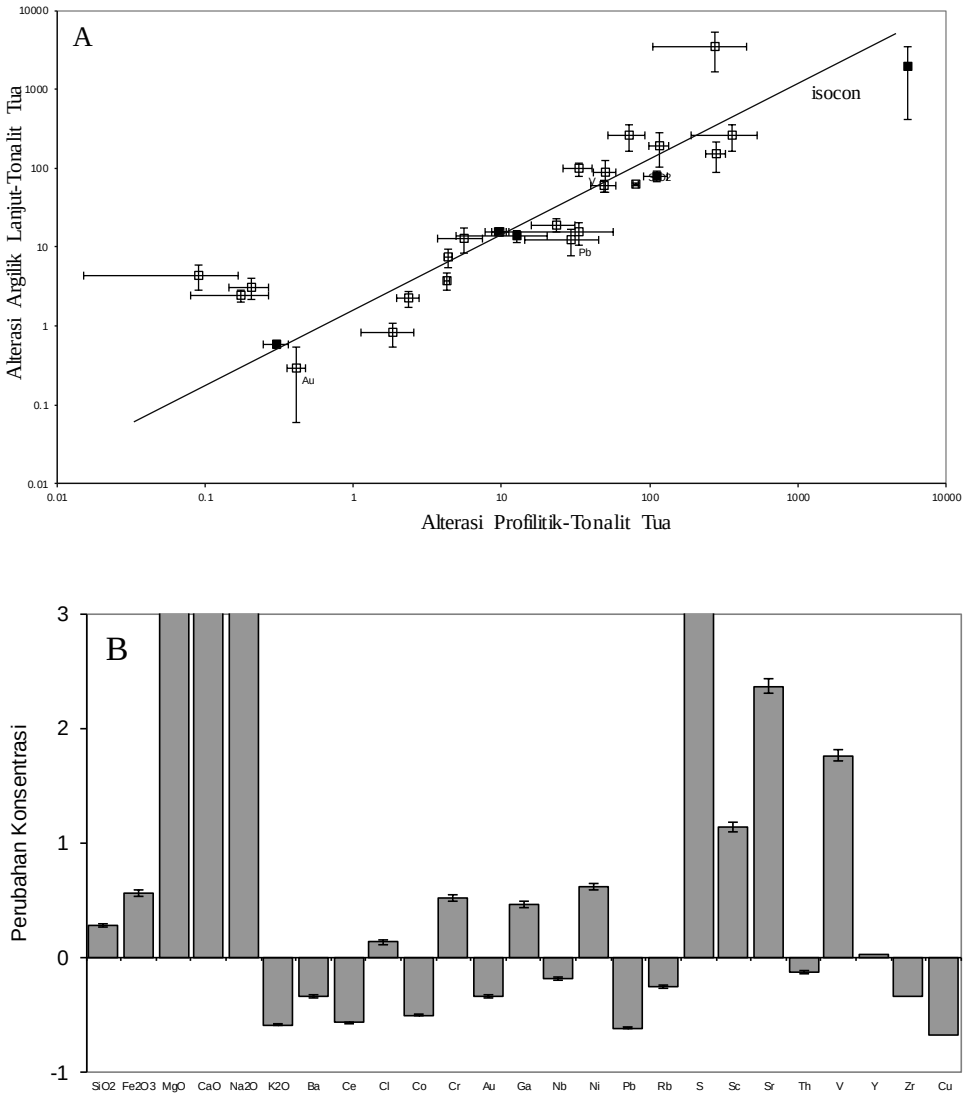
Pada Gambar-12 penambahan unsur S, MgO, Fe_2O_3, Na_2O, dan pengurangan unsur Au, Cu dan K pada alterasi ini dapat disimpulkan bahwa pembentukan mineral sulfida yang tidak membawa tembaga masih berlangsung. Mineral sulfida yang pembentukannya paling dominan kemungkinannya adalah pirit. Pada proses pengayaan Fe_2O_3 yang kemungkinan berkaitan proses oksidasi terhadap mineral-mineral sulfida yang menghasilkan oksida-oksida besi, sementara pengkayaan MgO kemungkinan berkaitan dengan bertambahnya intensitas pembentukan klorit dari mineral-mineral mafik dalam batuan. Pengayaan unsur Na_2O dan pengurangan unsur K kemungkinan berkaitan erat dengan proses penghancuran feldspar dalam batuan menjadi mineral-mineral lempung, yang pada alterasi kaolinit-ilit ini merupakan proses yang sangat dominan.

Pada Gambar-13 unsur S, Au, dan Cu, Fe_2O_3 terlihat mengalami penambahan. Hal tersebut kemungkinan dominan berasosiasi dengan pembentukan mineral sulfida pembawa tembaga. Kemungkinan bornit dan *chalcopyrite*, *digenite* dan *chalcosite* merupakan mineral sulfida yang pembentukannya paling banyak pada alterasi ini.

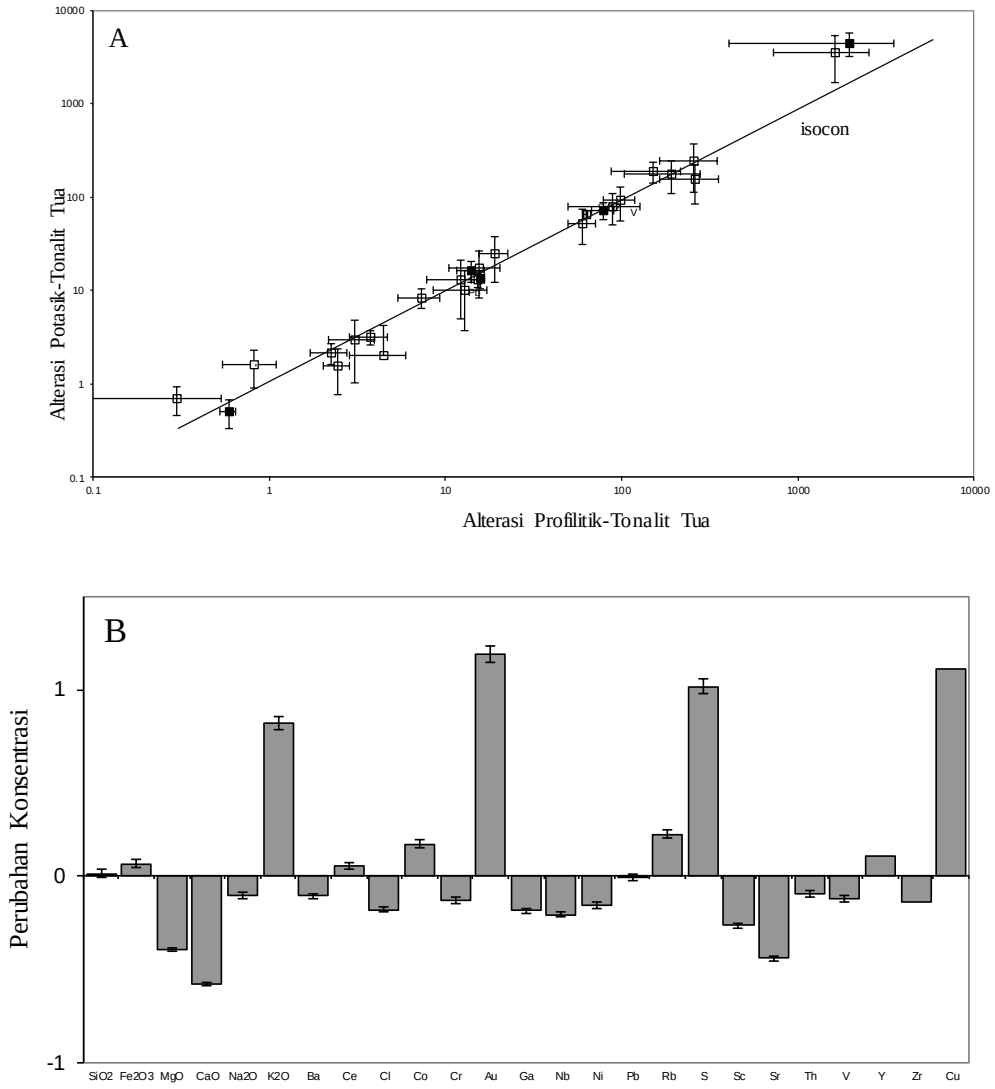
Pembentukan mineral *bornite* dan *chalcopyrite* berasosiasi dengan proses pengkayaan unsur Au (Arif & Baker, 2004). Penambahan unsur Fe_2O_3 pada alterasi ini erat hubungannya dengan kehadiran mineral *magnetite* sekunder (Gambar-14).



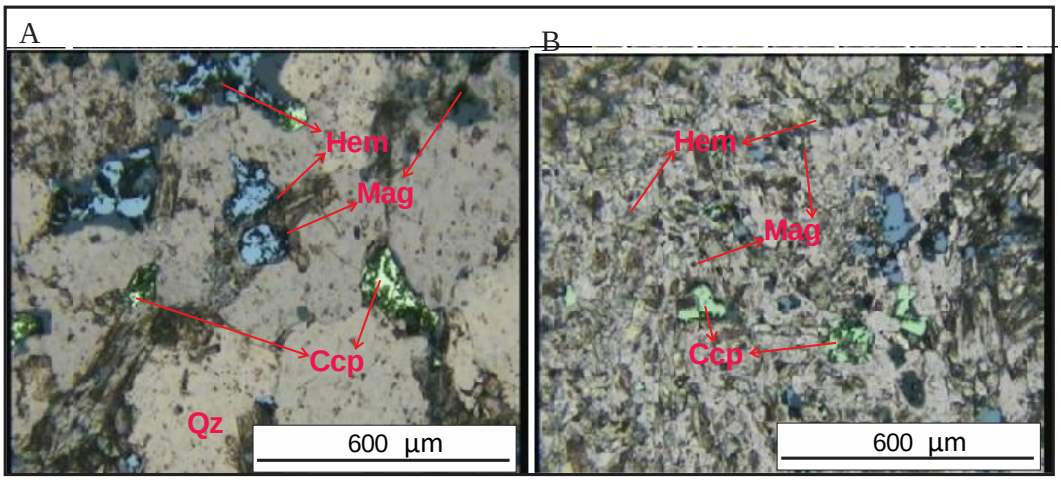
Gambar-11. Indikasi alterasi potasik pada tonalit, ditunjukkan pada: B) Sampel no.28 dengan kehadiran biotit (Bio, 30%), klorit (Chl, 10%) dan kuarsa sekunder (Qz, 60%) (nikol sejajar); C) Sampel 28 dengan kehadiran mineral opak (Opq, 5%), biotit (Bio, 50%) anhedral, plagioklas (Plg, 35%) yang sebagian terubah menjadi K-Feldspar dan kuarsa (Qz, 10%) (nikol silang).



Gambar-12. A) Isocon-Mass Balance Diagram antara unsur zona alterasi profilitik dengan unsur pada zona alterasi Argilik Lanjut pada Tonalit Tua. B) Perubahan Konsentrasi unsur zona alterasi profilitik dengan unsur zona alterasi Argilik Lanjut pada Tonalit Tua.



Gambar-13. A) Isocon-Mass Balance Diagram antara unsur zona alterasi profilitik dengan unsur pada zona alterasi Potasik pada Tonalit Tua. B) Perubahan Konsentrasi unsur zona alterasi profilitik dengan unsur zona alterasi Potasik pada Tonalit Tua.



Gambar-14. Sayatan Poles Diorit Kuarsa Sampel no.26: A) Kalkopirit (Ccp) tumbuh bersama dengan magnetit (Mag) dan kuarsa (Qz) granoblastik mengisi rekahan; B) Kalkopirit (Ccp) dan magnetit (Mag) tumbuh bersama dalam kristal K-Felspar yang terbentuk mengganti masa dasar plagioklas atau fragmen litik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data petrografi dan geokimia dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Tipe endapan di daerah penelitian adalah endapan tembaga-emas porfiri, yang terbentuk akibat proses intrusi batuan intermediet berafinitas kalk-alkalin (Tonalit Tua dan Tonalit Muda terhadap batuan Andesit.
2. Ada lima zona alterasi hidrotermal utama yang berkembang di daerah penelitian, yakni: potasik dan profilitik, yang mewakili fase awal alterasi hidrotermal; alterasi filik+mineral lempung, yang mewakili fase transisi; alterasi argilik dan argilik lanjutan, yang merupakan fase akhir.
3. Mineral bijih tembaga yang utama adalah kalkopirit, dengan sejumlah bornit yang berasosiasi dengan pirit dan magnetit, serta kalkosit.
4. Proses pengayaan unsur Cu yang seiring dengan proses pengayaan Si_2O menunjukkan bahwa dominasi terbesar pengayaan unsur Cu adalah seiring dengan proses pengayaan *vein* kuarsa.
5. Pada saat yang sama proses pengayaan unsur Au juga bersamaan dengan pembentukan mineral sulfida yang mengandung unsur tembaga bersamaan juga dengan pengayaan unsur Cu seiring dengan proses pengayaan *vein* kuarsa.
6. Unsur S mengalami pengkayaan selama proses alterasi hidrotermal menandakan terjadinya pengendapan mineral-mineral sulfida. Sementara itu, pengendapan bijih tembaga dan emas semakin berkurang seiring proses alterasi hidrotermal berlangsung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan dalam bentuk finansial, fasilitas, atau legalitas terhadap penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Arif, J., & Baker, T. (2004). Gold paragenesis and chemistry at Batu Hijau, Indoneisa: Implications for gold-rich porphyry copper deposits. *Mineralium Deposita*, *39*, 523–535.

[2] Clode, C. H., & Pratama, B. (2002). Application of PIMA Technology in Defining Gold and Copper Exploration Targets in Island Arc Settings: A Case Study from Sumbawa and Lombok, Indonesia. In *Proceedings of the 31st Annual Convention of Indonesian Association of Geologists.* (pp. 954–967).

[3] Giggenbach, W. F. (1997). *The Origin and Evolution of Fluids in Magmatic-Hydrothermal System* (3rd ed.). John Wiley & Sons, Inc. New York, Chichester, Weinheim, Brisbane, Singapore, Toronto.

[4] Grant, J. A. (1986). The isocon diagram-a simple solution to Gresens' equation for metasomatic alteration. *Economic Geology*, *81*(8), 1976–1982.

[5] Gresens, R. L. (1967). Composition-volume relationships of metasomatism. *Chemical Geology*, *2*.

[6] Hedenquist, J. W., & Richards, J. P. (1998). The Influence of Geochemical Techniques on The Development of The Genetic Models for Porphyry Copper Deposits. *Economic Geology*, *10*, 235–256.

[7] Idrus, A. (2006). P-T Condition and Oxygen Fugacity of the Intrusion Emplacement at Batu Hijau Porhyry Copper-Gold Deposit, Sumbawa Island: A Constraint from Geothermometric Data. *Media Teknik*, *2*.

[8] Indarto, S., Ghani, U. ., & Sumarnadi, E. . (1997). *Alterasi dan Mineralisasi pada Cebakan Galena dan Sfalerit di Manyeli, Pujut, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat.*

[9] Kolb, K., Kisters, A. F. M., Hoemes, S., & Meyer, F. M. (2000). The Origin of Fluids and Nature of Fluid-Rock Interaction in Auriferous Mylonites of The Renco Mine, Southern Zimbabwe. *Miner.*, *35*, 109–125.

[10] Mangga, S. A., Atmawinata, S., Hermanto, B., Setyogroho, B., & Amin, T. (1994). *Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusa Tenggara Barat.* Bandung, Indonesia.

[11] McMillan, W., & Panteleyev, A. (1988). Porphyry Copper Deposits; in Ore Deposit Models. *Geoscience Canada Reprint*, *3*(Kanada: Geological Association of Canada), 45–58.

[12] Ridley, J. (2013). *Ore Deposit Geology*. new york: New York: Cambridge University Press.

[13] Rollinson, H. R. (1993). *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation.*

[14] Rompo, I., Rowe, A., & Maryono, A. (2012). *Porphyry Cu-Au and EpithermalAu-Ag Mineralization Systems in South West Lombok*.

[15] Selverstone, J., Morteani, G., & Staude, J. M. (1991). Fluid Chanelling During Ductile Shearing: Transformation of Granodiorite Into Aluminous Schist in The Tauem Window, Eastern Alps. *Journal of Metamorphic Geology*, *9*, 419–431.

[16] Sudrajat, A., Mangga, A., & Suwarna, N. (1998). *Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusa Tenggara, Pusat Peneltian dan Pengembangan Geologi, Bandung*. Bandung, Indonesia.

[17] Van Bemmelen, R. W. (1949). Geology of Indonesia Vol-IA General. In *General Geology* (Vol. 1A, p. 766). Denhaag: Governement Printing Office. http://doi.org/10.1080/17512780701768576

[18] White, T. L. (1996). *Cryogenic Alteration of Clay and Silt Microstructure, Implication for Geotechnical Properties*. *Ottawa: Carleton University*.