

**ALTERASI HIDROTERMAL DI DUMOGA BARAT, KABUPATEN
BOLAANG MONGONDOW, SULAWESI UTARA*****HYDROTHERMAL ALTERATION IN DUMOGA BARAT, BOLAANG
MONGONDOW AREA, NORTH SULAWESI***

Agus Harjanto^{1*}, Sutanto¹, Sutarto¹, Achmad Subandrio¹, I Made Suasta², Juanito Salamat², Giri Hartono²,
Putu Suputra², I Gde Basten², Muhammad Fauzi², dan Rosdiana²

¹Prodi Teknik Geologi UPN Yogyakarta,
Jl. SWK 104 Condong-Catur, DI. Yogyakarta

²PT. Oxindo Explorasi,
Jl. Jendral Sudirman Kav. 76-78, Jakarta

*E-mail: aharjanto69@yahoo.com

Naskah diterima: 15 April 2016, direvisi: 27 Mei 2016, disetujui: 30 Mei 2016

ABSTRAK

Bolaang Mongondow terletak di bagian tengah lengan utara Sulawesi yang disusun oleh busur magmatik berumur Neogen dan berpotensi mengandung mineral-mineral ekonomis. Hal tersebut yang melatarbelakangi dilakukan penelitian terhadap potensi sumber daya mineral. Tujuan penelitian adalah untuk mempelajari alterasi akibat proses hidrotermal serta hubungannya dengan cebakan emas (Au) berdasarkan kajian di lapangan maupun analisis laboratorium. Metode yang digunakan dalam penelitian, yaitu kajian literatur, survei geologi, pengambilan conto batuan, analisis laboratorium, dan pengolahan data. Daerah penelitian merupakan kompleks intrusi diorit yang terjadi berulang kali. Andesit, batuan klastika gunung api, dan dasit yang berumur lebih tua diintrusi oleh kompleks ini. Selanjutnya, tufa dasitik, batupasir gunung api, dan endapan alluvium diendapkan di atasnya. Terdapat tiga sesar utama yang telah diukur dan dipetakan, berarah timur laut-barat daya yang terpotong oleh sesar barat-timur dan terakhir sesar barat laut-tenggara yang memotong sesar-sesar terdahulu. Alterasi hidrotermal tahap awal berhubungan dengan keberadaan diorit kuarsa muda yang menunjukkan tahapan alterasi dari pusatnya potasik sampai propilitik distal. Alterasi hidrotermal tahap akhir terdiri atas alterasi argilik, argilik lanjut, dan silika-mineral lempung±magnetit±klorit yang menumpang tindih alterasi tahap awal. Mineralisasi Cu-Au±Ag di bagian tengah daerah penelitian atau di daerah Tayap–Kinomaligan sebagian besar berasosiasi dengan diorit kuarsa muda yang teralterasi potasik dan dipotong oleh urat-urat kuarsa-magnetit-kalkopirit±bornite yang sejajar dan *stockwork*.

Kata kunci: alterasi hidrotermal, mineralisasi, argilik, profilitik, silifikasi

ABSTRACT

Bolaang Mongondow is located in central north Sulawesi arm, which is composed of Neogen magmatic arc and potentially contain economic minerals. This condition is behind the research purpose to study the mineral resources potencies. Research aim is to study alteration caused by hydrothermal process and its relation with gold (Au) deposit based on field study and laboratory analysis. Methodologies used for the research are literature study, geological survey, rocks sampling, laboratory analysis, and data processing. Research area is a multiply diorite intrusion complex. Andesite, volcanoclastic rocks, and dacite, the older rocks, were intruded by this complex. Later, dacitic tuff, volcanic sandstone, and alluvium deposited above them. There are three measured and mapped major faults heading NE-SW crossed by E-W fault and NW-SE fault lately crossed all the older faults. Early stage hydrothermal alteration related to the existence of young quartz diorite, showing alteration stage from the potassic center to distal propylitic. Final stage hydrothermal alteration consist of argilic, advanced argilic, and silica-clay mineral±magnetite±chlorite alteration overlapping the earlier alteration.

Mineralization of Cu-Au±Ag in central part of research area or Tayap-Kinomaligan area is mostly associated with potassic altered young quartz diorite and crossed by paralel and stockworked quartz-magnetite-chalcopyrite±bornite vein.

Keywords: *hydrothermal alteration, mineralization, argilic, prophyllitic, silisification*

PENDAHULUAN

Daerah Bolaang Mongondow termasuk dalam bagian tengah lengan utara Sulawesi yang umumnya disusun oleh busur magmatik berumur Neogen yang sangat berpotensi mengandung mineral-mineral ekonomis sehingga perlu dilakukan penelitian terhadap potensi sumber daya mineral tersebut. Penelitian terdahulu menyimpulkan daerah penelitian terdapat tipe mineralisasi Au-Ag epitermal sulfidasi menengah sampai tinggi [1]. Beberapa penelitian terdahulu di sekitar lokasi penelitian dalam wilayah Kabupaten Bolaang Mongondow telah dilakukan diantaranya kegiatan inventarisasi dan evaluasi mineral logam oleh Pusat Sumber Daya Geologi di Kecamatan Lolayan [2], penelitian endapan epitermal serta uraian detail geologi dan sistem mineralisasi emas sulfida tinggi di daerah prospek Bakan, Kecamatan Lolayan [3,4]. Di Kecamatan Limboto, Kabupaten Gorontalo studi alterasi dan mineralisasi hidrotermal juga dilakukan pada daerah prospek emas Daena yang merupakan tipe endapan Porfiri [5].

Mandala geokimia Sulawesi Utara dibedakan menjadi enam bagian, yaitu Mandala Barat (K-Li relatif tinggi), Mandala Tengah (Zn-Mn-Fe rendah), Kelurusan Co-Ni, Mandala Tenggara (Mn-Zn rendah), Mandala Timur (Co-Ni-Cr tinggi), dan Mandala Utara (Mn-Zn relatif tinggi dan K-Li relatif rendah). Berdasarkan pembagian tersebut lokasi penelitian termasuk dalam Mandala Utara [6]. Geologi Sulawesi Utara didominasi oleh batuan gunung api Kenozoikum dan berasosiasi dengan intrusi yang membentuk komposit busur kepulauan.

Struktur busur ini diyakini sebagian besar di bawahnya kerak samudera yang terbentuk selama pembukaan Laut Sulawesi pada Kala Eosen [1] dan kerak benua yang tipis di bagian barat [7].

Tiga peristiwa utama pembentukan busur di dalam wilayah Sulawesi Utara:

- Kala Eosen Tengah–Miosen Awal didominasi oleh batuan gunung api berkomposisi basal toleit berasosiasi dengan sedimen laut dalam yang tebal [1];
- Kala Miosen direpresentasikan oleh batuan gunung api kalk-alkali yang diterobos oleh batuan granitoid yang mempunyai sifat kimia magma sama dan menjemari dengan batuan sedimen laut dangkal; dan
- Kala Pliosen–Holosen sebagian besar terdiri dari batuan gunung api darat berkomposisi andesit-dasit dan intrusi dekat permukaan tersebut mempunyai sifat kimia magma sama [7–9].

Tiga kelompok busur gunung api tersebut dipisahkan oleh ketidakselarasan regional [9] yang berasosiasi dengan pengangkatan cepat dan dijelaskan dengan kegiatan periode magmatisme-vulkanisme dan berasosiasi dengan mineralisasi [8]. Hal tersebut menunjukkan bahwa busur Sulawesi Utara merupakan batuan induk mineralisasi yang berkembang dalam suatu rezim sesar regional mendatar kanan pada Kala Miosen Awal dengan mineralisasi berkembang dalam suatu rezim sesar regional mendatar kiri pada Kala Pliosen. Sesar menyilang busur dan sesar sejajar busur yang berkembang Kala

Miosen mendominasi pola strukturnya. Perpotongan sesar-sesar besar ini menjadi tempat ideal untuk mineralisasi porfiri Cu-Au pada kala Miosen Awal.

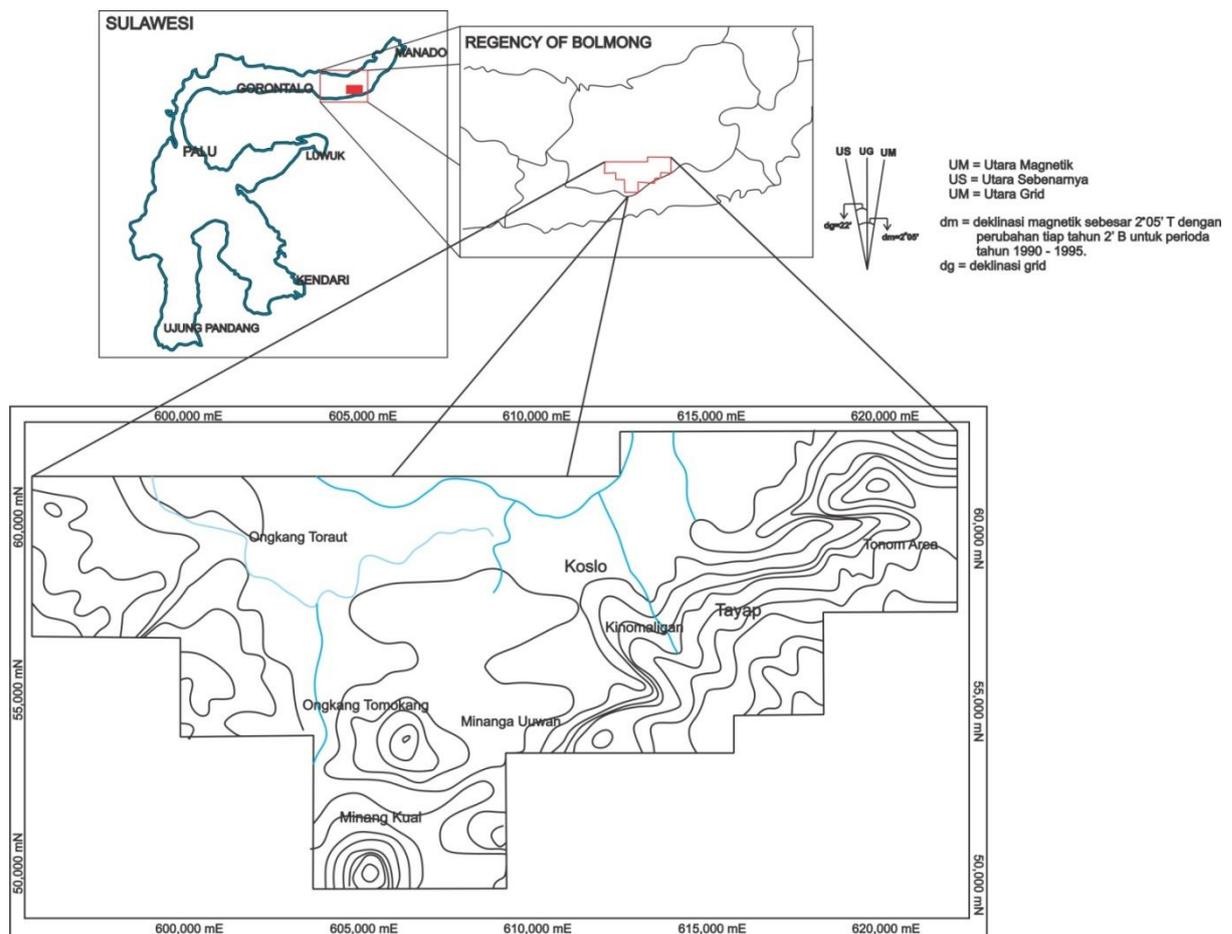
Permasalahan yang menarik di daerah penelitian adalah batuan-batuannya sudah berubah akibat proses alterasi hidrotermal dan banyak ditemukan mineralisasi bijih seperti emas dan tembaga yang bernilai ekonomis. Penelitian ini sendiri bertujuan untuk mempelajari alterasi akibat proses hidrotermal serta hubungannya dengan cebakan emas (Au) berdasarkan observasi lapangan maupun analisis laboratorium. Lokasi penelitian berada di wilayah Kecamatan Dumoga Barat, Kabupaten Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara (Gambar 1).

TEORI

Geomorfologi

Secara umum daerah penelitian dapat dibedakan menjadi dua satuan geomorfologi, yaitu satuan Geomorfologi Perbukitan Gunung Api dan satuan Dataran Aluvium.

- Perbukitan Gunung Api berada di bagian selatan daerah penelitian, didominasi oleh perbukitan bergelombang sedang sampai pegunungan berlereng curam yang umumnya merupakan bagian dari taman nasional. Kisaran elevasinya 200–900 m di atas permukaan air laut. Sungai dengan kelerengan sedang dengan lembah yang sempit berbentuk pola “V” umum dijumpai di daerah pegunungan. Satuan ini dikontrol oleh batuan beku luar, klastika gunung api, dan semi gunung api.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian.

- Dataran Aluvium berada di bagian utara daerah penelitian, didominasi oleh dataran yang relatif rata. Kisaran elevasinya 100–200 m di atas permukaan air laut. Satuan ini disusun oleh endapan fluvial dan koluvium yang menutupi batuan di bawahnya umumnya sungai berlereng rendah. Daerah ini digunakan oleh penduduk sebagai sawah, kebun, dan perumahan.

Geologi

Daerah penelitian dibagi menjadi 13 satuan batuan berdasarkan atas pengamatan batuan secara megaskopik [10]. Satuan batuan diinterpretasikan dari tua ke muda, yaitu batuan klastika gunung api andesitik (VAN) Granodiorit (IGD), Dasit (VDA), Diorit Kuarsa Tua (IQD1), Diorit (IDR), Diorit Kuarsa Muda (IQD2), Diorit Hornblenda Kuarsa (IHD *dyke*), Diorit (IDR *dyke*), Riolit (IFK), Andesit (VAN *dyke*), Batupasir Vulkanik (VST), Tuf Dasit (VDT), dan endapan Aluvium (LAL).

Andesit-Vulkaniklastik (VAN)

Penyusun utama satuan ini adalah andesit dengan sisipan tipis dari breksi vulkanik, tuf litik vulkanik, batupasir vulkanik, dan batulanau vulkanik di beberapa tempat. Terdistribusi secara luas di selatan-tenggara-timur dari daerah penelitian. Andesit dicirikan berwarna abu-abu, berukuran kristal halus-sedang, kebanyakan bertekstur porfiritik dengan persentase fenokris plagioklas 3–10 % (ukuran hingga 2 mm) tertanam dalam massa dasar kristal halus. Breksi vulkanik dicirikan berwarna abu-abu, berukuran butir halus sampai bongkah, didukung matrik, fragmen monomik menyudut, fragmen-fragmen andesit tertanam dalam massa dasar

litik vulkanik dan kristal berukuran halus sampai kasar. Batupasir vulkanik dan serpih vulkanik dicirikan oleh ukuran butirnya dengan beberapa fragmen andesit dan beberapa tempat dijumpai struktur sedimen perlapisan dengan kedudukan N 130°–140° E/25–30°. Satuan ini terpropilitisasi kuat sampai lemah.

Satuan ini diinterpretasikan sebagai satuan batuan tertua dan terintrusi oleh Granodiorit (IGD), Diorit Kuarsa Tua (QD1), Diorit (IDR), Diorit Kuarsa Muda (QD2), Diorit Hornblenda Kuarsa (IHD), Diorit (IDR *dyke*), Riolit (IFK), dan Andesit (VAN *dyke*).

Granodiorit (IGD)

Satuan ini dicirikan oleh warna abu-abu terang merah muda. Ukuran kristal sedang–kasar, relatif seragam. Mineral disusun oleh plagioklas (1–2 mm) 40 %, kuarsa (1–2 mm) 10%, k-felspar (1–2 mm) 10 %, dan mineral mafik 10 % (terutama hornblenda 1–2 mm). Batuan segar hingga teralterasi propilitik sedang dengan setempat-setempat hadir senolit andesit. Satuan ini terpetakan di sebelah tenggara dan selatan daerah penelitian di daerah hulu Sungai Kinomaligan, daerah Nunuk, dan Minanga Kuai. Satuan ini terintrusi oleh diorit kuarsa tua (IQD1), diorit (IDR), dan diorit kuarsa muda (IQD2).

Dasit Vulkanik (VDA)

Satuan ini dicirikan oleh warna putih abu-abu terang, dengan fenokris kuarsa (1 mm) 20 % tertanam dalam massa dasar afanitik. Intensitas alterasi bervariasi dari kuat hingga lemah dan biasanya berubah silika-mineral lempung-pirit. Terdistribusi di bagian tengah daerah penelitian sepanjang daerah Tayap, Kinomaligan, dan Sungai Kosio.

Satuan ini terintrusi oleh diorit kuarsa tua (IQD1), diorit kuarsa muda (IQD2), dan diorit hornblenda kuarsa (IHD).

Diorit (IDR)

Satuan ini dicirikan warna abu-abu terang sampai gelap dengan tekstur kristal berukuran sedang dan relatif seragam, disusun oleh plagioklas dan sejumlah kecil mineral mafik utamanya hornblenda, teralterasi propilitik lemah–kuat. Tersebar di bagian hulu Sungai Kinomaligan di sebelah tenggara daerah penelitian, cabang tengah Sungai Tonom di bagian timur daerah penelitian, dan Ongkag Tomokang di sebelah barat daya daerah penelitian. Satuan ini terintrusi oleh diorit kuarsa tua (IQD1), diorit kuarsa muda (IQD2), diorit (IDR *dyke*), dan andesit (VAN *dyke*).

Analisis sayatan tipis diorit ini bertekstur porfiritik dengan fenokris plagioklas umumnya *zoning* dengan massa dasar kuarsa, mineral mafik, dan opak. Mineral ubahannya adalah kuarsa, klorit, karbonat, dan serisit. Sesar mikro terdapat pada fenokris plagioklas yang terpotong.

Diorit Kuarsa Tua (IQD1)

Satuan ini dicirikan oleh warna abu-abu terang. Tekstur porfiritik berukuran sedang–kasar. Komposisi mineral terdiri dari fenokris plagioklas (1–3 mm) 20 %, hornblenda (1–2 mm) 3 %, dan kuarsa (1–2 mm) 2 % yang tertanam dalam massa dasar felspar, kuarsa, dan hornblenda, terubah propilitik, argilik, dan silika-mineral lempung sedang hingga kuat (Gambar 2 D). Satuan ini terpetakan di bagian tengah daerah penelitian atau di Sungai Kosio dan daerah Tayap–Kinomaligan. Satuan ini terintrusi oleh diorit kuarsa muda (IQD2) dan diorit hornblenda kuarsa (IHD).

Diorit Kuarsa Muda (IQD2)

Satuan ini dicirikan berwarna abu-abu terang–gelap. Ukuran kristal sedang–kasar, bertekstur porfiritik. Fenokris terdiri dari plagioklas (1–3 mm) 10 %, hornblenda (1–2 mm) 2 %, kuarsa (1–2 mm) 1 % tertanam dalam massa dasar felspar, kuarsa, dan hornblenda. Intensitas alterasi bervariasi berkisar dari sedang hingga kuat. Umumnya satuan termineralisasi teralterasi potasik yang dipotong oleh urat *stockwork* kuarsa–magnetit–kalkopirit±bornit dengan tumpang tindih alterasi propilitik, argilik, argilik menengah atau filik, dan silika-mineral lempung (Gambar 2.B,F). Satuan ini terdistribusi di bagian tengah daerah penelitian atau di daerah Tayap–Kinomaligan dan diinterpretasikan membentuk sebuah tubuh yang memanjang berarah timur laut–barat daya. Satuan ini terintrusi oleh diorit hornblenda kuarsa (IHD) dan andesit (VAN *dyke*).

Diorit Hornblenda Kuarsa (IHD *Dyke*)

Satuan ini dicirikan oleh warna abu-abu terang sampai gelap. Ukuran kristal halus–kasar, bertekstur porfiritik. Komposisi mineral terdiri dari fenokris plagioklas (1–5 mm) 10 %, hornblenda (1–3 mm) 5%, dan kuarsa (1–2 mm) 2 % yang tertanam dalam massa dasar mineral mafik, feldspar, dan kuarsa. Setempat ditemukan senolit batuan terubah potasik. Batuan ini diperkirakan memiliki tebal 1–10 m dengan arah umum relatif utara barat laut–selatan menenggara sampai utara–selatan. Umumnya satuan ini berdekatan dengan kontak teralterasi argilik menengah.

Batupasir Vulkanik (VST)

Satuan ini terutama terdiri dari batupasir vulkanik dan setempat-setempat dengan sisipan breksi vulkanik, batulanau vulkanik, dan andesit (lava). Batupasir vulkanik dicirikan berwarna abu-abu terang hingga gelap, berbutir halus–sedang, membulat tanggung, beberapa tempat dijumpai fragmen andesit dan diorit berukuran kerikil tertanam dalam matrik berukuran pasir halus.

Breksi vulkanik dicirikan berwarna abu-abu terang hingga gelap, berbutir kasar-kerakal, membulat–menyudut tanggung, didukung matriks, fragmen andesit di dalam matriks pasir kasar. Batulanau vulkanik dicirikan warna abu-abu terang hingga gelap, berbutir lempung–lanau. Umumnya struktur sedimen teramati pada satuan ini, yaitu masif, perlapisan, gradasi, dan laminasi sejajar dengan kedudukan N 70–105° E/30–40°. Umumnya klorit berubah lemah sampai tak berubah dan setempat dipotong oleh urat kalsit (ketebalan kurang dari 2 cm). Satuan ini tersebar luas di sebelah timur laut daerah penelitian.

Diorit Kuarsa (IQD Dyke)

Diorit kuarsa dicirikan berwarna abu-abu terang hingga gelap. Tekstur porfiritik kristal berukuran sedang hingga kasar. Komposisi mineral terdiri dari fenokris plagioklas (1–2 mm) 10–15 %, kuarsa (1 mm) 2–4 %, dan hornblenda (1–2 mm) 3–5 % yang tertanam dalam massa dasar felspar, kuarsa, dan mineral mafik, teralterasi propilitik lemah sampai kuat. Satuan ini terpotong oleh riolit (IFK) dan umumnya berarah relatif timur–barat dengan tebal 2–5 m. Keterdapatannya setempat-setempat di sebelah tenggara-timur dari daerah penelitian.

Riolit (IFK)

Satuan ini dicirikan oleh warna krem putih, kristal halus–sedang, tekstur porfiritik, komposisi mineral terdiri dari fenokris kuarsa (<1 mm) 3 % yang tertanam dalam massa dasar felsik afanitik berwarna putih, dan tidak teralterasi. Riolit ini berarah relatif timur–barat dan tebalnya berkisar 1–3 m. Satuan ini terdapat di cabang Sungai Tonom di bagian timur daerah penelitian.

Andesit (VAN Dyke)

Satuan ini dicirikan oleh warna abu-abu terang sampai putih kotor. Ukuran kristal halus–kasar, fenokris terdiri dari plagioklas (1–2 mm) 3–5 % dan hornblenda (1–2 mm) 2 % yang tertanam dalam massa dasar afanitik, berubah lemah sampai tak berubah dan setempat dipotong oleh urat kalsit. Satuan ini biasanya berarah barat laut–tenggara hingga utara barat laut–selatan menenggara dan tebalnya 2–4 m. Retas andesit terpetakan secara setempat-setempat di bagian tenggara-timur daerah penelitian atau sepanjang sungai Kinomaligan dan Tonom.

Tuf Dasit Vulkanik (VDT)

Satuan ini utamanya terdiri dari tuf dasit vulkanik dengan sedikit sisipan breksi vulkanik. Tuf Dasit Vulkanik berwarna coklat abu-abu terang. Ukuran butir sedang sampai kasar, terkonsolidasi sedang, fragmen terdiri dari litik dasitik, felspar, hornblende, dan kuarsa yang tertanam dalam matriks tuff. Breksi vulkanik dicirikan oleh coklat abu-abu terang, berbutir kasar hingga bongkah, pelapukan sedang, didukung matriks, fragmen dasit menyudut tanggung yang tertanam dalam matriks tuf litik. Umumnya satuan ini tak berubah dan tersebar luas di sebelah barat daya–barat daerah penelitian.

Endapan Aluvium (LAL)

Aluvium dicirikan oleh lempung dan bongkah yang belum termampatkan sebagai hasil transportasi dan sedimentasi dari batuan yang lebih tua.

Struktur Geologi

Sesar

Sesar yang teramati di daerah penelitian dicirikan dengan kehadiran bidang sesar, zona gerusan, dan breksi sesar. Ada tiga arah utama sesar yang diukur dan dipetakan pada daerah penelitian, yaitu sesar berarah timur laut-barat daya yang dipotong oleh sesar timur-barat, dan terakhir sesar berarah barat laut-tenggara yang memotong sesar-sesar terdahulu.

Sesar berarah barat laut-tenggara dan timur-barat merupakan sesar geser kanan sedangkan sesar berarah timur laut-barat daya terindikasi sesar geser kiri. Struktur berarah timur-barat merupakan struktur sejajar busur sedangkan struktur berarah timur laut-barat daya dan barat laut-tenggara adalah struktur menyilang terhadap busur kepulauan. Batuan intrusi pembawa mineralisasi sepertinya dikontrol dan berada di perpotongan struktur berarah timur-barat dan timur laut-barat daya. Struktur ini diinterpretasikan sebagai jalur pembentukan intrusi porfiri di daerah penelitian. Struktur terakhir yang berarah barat laut-tenggara diinterpretasikan berhubungan erat dengan intrusi diorit atau andesit.

Urat Kuarsa Sungai Tayap

Pengukuran struktur di urat kuarsa-magnetit-sulfida (urat tipe “A” dan “B”) sepanjang singkapan di sungai utama Tayap telah diukur dan dibagi menjadi Domain Utara dan Domain Selatan. Singkapan di domain utara berada pada ketinggian 320–

340 m di atas permukaan laut sedangkan domain selatan pada ketinggian berkisar dari 340–450 m di atas permukaan laut.

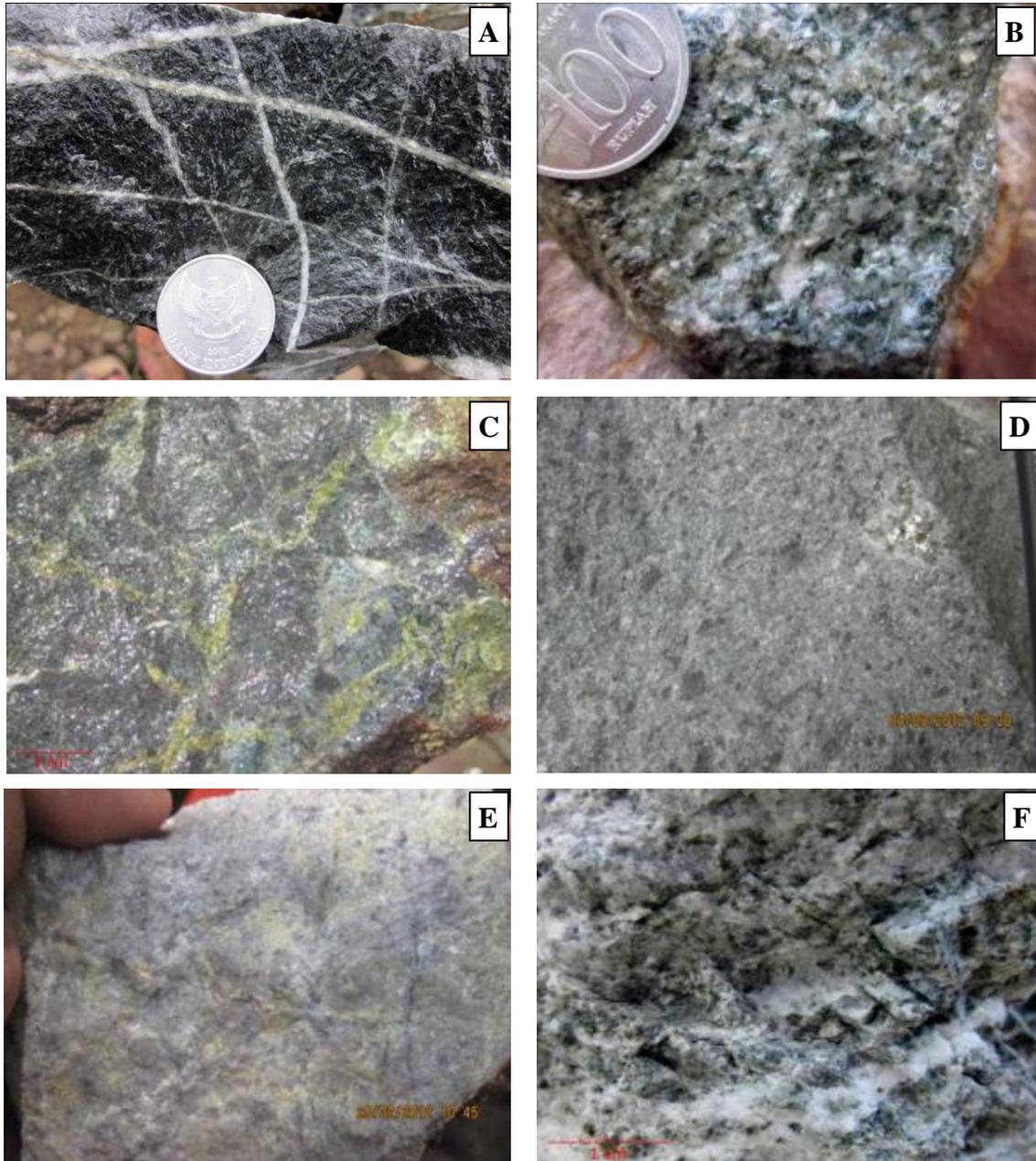
Analisis gabungan domain utara dan selatan urat kuarsa-magnetit-sulfida *stockwork* di Tayap menunjukkan arah utama N 340–360° E (arah utara-barat laut atau selatan-tenggara) sedangkan arah sekunder ke berbagai arah untuk domain utara dan N 300° E–N 310° E atau barat laut dan N 190° E–N 200° E atau utara timur laut untuk domain selatan.

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan selama penelitian, yaitu kajian literatur dengan membaca beberapa laporan dan buku ilmiah yang terkait dengan cakupan penelitian yang telah dipelajari dan difokuskan di wilayah Bolaang Mongondow dan sekitarnya. Langkah selanjutnya adalah melakukan survei geologi dengan lintasan pemetaan menggunakan GPS sepanjang 149,7 km dan pemetaan detail menggunakan metode tali dan kompas sepanjang 9,698 km. Observasi difokuskan di singkapan untuk mencatat informasi tentang litologi, alterasi, mineralisasi dan struktur. Setelah itu contoh batuan dianalisis petrografi dan mineragrafi di laboratorium sebanyak 15 sampel batuan yang diambil di daerah penelitian. Sampel tersebut di analisis di laboratorium Petrografi Jurusan Geologi, UPN “Veteran” Yogyakarta. Analisis Pima sebanyak 299 sampel batuan diambil di daerah penelitian di kantor PT. Oxindo Exploration, Jakarta. Analisis geokimia sebanyak 60 sampel batuan diambil di daerah penelitian dengan metode pengambilan batuan menerus setiap interval dua meter. Semua sampel dikirim ke Laboratorium Intertek untuk mengetahui kehadiran 36 unsur (Au, Ag, Al, As, Ba, Bi,

Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ga, K, La, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Nb, Ni, Pb, Sb, Sc, Se, Sn, Sr, Ta, Te, Ti, V, W, Y, Zn, and Zr) dengan

metode *fire assay* untuk Au dan *ICP* untuk multi unsur.



Gambar 2. (A) Foto ubahan biotit-klorit-magnetit±K-felspar (potasik) teramati di Sungai Kinomaligan. (B) Foto ubahan klorit-magnetit-aktinolit±epidot teramati di cabang kiri Sungai Tayap. (C) Foto ubahan klorit-epidot±magnetit teramati di cabang Sungai Kinomaligan. (D) Foto ubahan klorit-kalsit±epidot yang teramati di daerah Minanga Uuwan. (E) Foto ubahan silika-mineral lempung ±klorit ±magnetit yang teramati di punggungan antara Sungai Tayap dan Sungai Kinomaligan. (F) Foto alterasi argilik teramati di bagian bawah Sungai Tayap.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian menunjukkan suatu rangkaian tahapan kegiatan hidrotermal yang berulang kali yang menyebabkan hilangnya tekstur dan komposisi awal batuan. Setidaknya terdapat enam kumpulan alterasi yang diketahui di daerah penelitian dan mencerminkan dua fase alterasi, yaitu:

- a). Alterasi Hidrotermal Tahap Awal
 - Alterasi biotit-klorit-magnetit±K-felspar (Potasik/POT).
 - Alterasi klorit-magnetit-aktinolit±epidot (propilitik proksimal/PRP1).
 - Alterasi klorit-epidot±magnetit (propilitik distal/PRP2).
 - Alterasi klorit-kalsit±epidot (PRP3)
- b). Alterasi Hidrotermal Tahap Akhir
 - Alterasi silika-mineral lempung±klorit ±magnetit (SIL).
 - Alterasi mineral lempung±silika±klorit±serisit (argilik/ ARG).
 - Alterasi silika-alunit-pirofilit-dikit-kaolinit (argilik lanjut /AAG)

Alterasi Hidrotermal Tahap Awal

Ubahan hidrotermal tahap awal di daerah penelitian berhubungan dengan intrusi diorit plutonik yang menunjukkan ubahan bertahap dari potasik pusat hingga ke daerah propilitik proksimal dan propilitik distal.

Alterasi Biotit-Klorit-Magnetit±K-felspar (Potasik / POT)

Ubahan potasik merupakan pusat sistem endapan porfiri yang dicirikan oleh kehadiran magnetit yang berlimpah dan berasosiasi dengan biotit sekunder berukuran halus dipotong oleh urat *stockwork* kuarsa-magnetit-mineral sulfida dan urat magnetit. Seluruh mineral mafik digantikan oleh biotit sekunder dan magnetit yang berukuran halus. Di beberapa tempat, biotit sekunder

digantikan oleh klorit. K-felspar sekunder yang berukuran halus hadir menggantikan felspar primer. Kehadiran mineral sulfida pada batuan secara umum rendah, kurang dari 3%, yang terdiri dari kalkopirit, pirit, dan bornit yang berukuran halus, serta muncul sebagai pengisi rekahan dan tersebar dalam urat kuarsa dan di batuan induk yang teralterasi. Penyebaran ubahan potasik terpetakan di bagian tengah daerah penelitian sepanjang Sungai Tayap-Kinomaligan dan cabang-cabangnya. Umumnya ubahan potasik ini diketemukan pada diorit kuarsa muda (IQD2) dan andesit-batuan vulkaniklastik (VAN).

Alterasi Klorit-Magnetit-Aktinolit±Epidot (Propilitik Proksimal/PRP1)

Di daerah penelitian kehadiran aktinolit sekunder hasil ubahan hornblenda yang terbentuk ke arah luar dari bagian pusatnya potasik merupakan salah satu ciri dari alterasi tipe ini. Magnetit sekunder hasil ubahan mineral mafik sangat umum dan kehadiran epidot hanya ditemukan pada batas kontak terluar zona ini yang berdekatan dengan alterasi klorit-epidot±magnetit. Di beberapa tempat diamati sejumlah kecil urat magnetit dan urat kuarsa-magnetit-sulfida. Kandungan tembaga sulfida pada zona propilitik proksimal lebih rendah dibandingkan dengan zona potasik terutama kalkopirit±bornite yang kurang dari 0,1 % keterdapatannya sebagai pengisi rekahan dan sedikit tersebar pada batuan berukuran halus. Kehadiran pirit semakin bertambah secara setempat hingga 3 % ubahan mineral mafik. Alterasi ini terpetakan di bagian hulu Sungai Tayap dan Sungai Kinomaligan mengelilingi zona alterasi potasik dan umumnya dijumpai pada diorit kuarsa tua (IQD1) dan andesit-batuan vulkaniklastik (VAN).

Alterasi Klorit-Epidot±Magnetit (Propilitik Distal / PRP2)

Ciri utama tipe alterasi ini di daerah penelitian ditandai dengan berlimpahnya epidot hingga 10 % ubahan dari felspar dan mineral mafik dengan atau tanpa magnetit sekunder. Urat epidot juga hadir berasosiasi dengan urat kuarsa kalsit dan pirit. Pirit hadir hingga 2 % ubahan dari mineral mafik dan pengisi rekahan. Kalkopirit umumnya tidak hadir. Alterasi tipe ini tersebar secara luas di sekeliling zona klorit-magnetit-aktinolit±epidot di daerah Sungai Tayap dan Kinomaligan, di dalam sistem urat-logam dasar di bagian timur dari daerah Tonom, Nunuk, dan di bagian tengah daerah Tonom atau antara Tayap dan bagian timur Tonom. Alterasi ini umumnya ditemukan pada diorit kuarsa tua (IQD1), andesit-batuan vulkaniklastik (VAN), granodiorit (IGD), dasit (VDA), diorit (IDR), andesit (VAN *dyke*), diorit kuarsa hornblenda (IHD *dyke*), dan diorit kuarsa (IQD *dyke*).

Alterasi Klorit-Kalsit±Epidot (PRP3)

Tipe alterasi ini umumnya ditemukan pada andesit dan batuan vulkaniklastik (VAN) dan keterdapatannya di bagian selatan-tenggara-timur daerah penelitian. Kehadiran epidot jarang, klorit keterdapatannya sebagai pengganti mineral mafik sedangkan kalsit mengubah plagioklas. Pirit hadir setempat-setempat hingga 1 % ubahan dari mineral mafik.

Alterasi Hidrotermal Tahap Akhir

Tipe alterasi ini dicirikan oleh felspar bersifat destruksi yang menumpang tindih dengan semua tipe alterasi tahap awal, sebagian besar dikontrol oleh struktur. Ada dua tipe dari alterasi hidrotermal tahap akhir yang teridentifikasi di daerah penelitian.

Berikut adalah deskripsi singkat dari setiap tipe:

Alterasi Silika-Mineral lempung±Klorit ±Magnetit (SIL)

Di sepanjang Sungai Tayap dan Kinomaligan, atau bagian tengah dari daerah penelitian alterasi ini tumpang tindih dengan zona pusat potasik, setempat berasosiasi dengan noda malakit dengan tekstur sisa urat kuarsa-magnetit-kalkopirit berjajar/*stockwork* dan juga magnetit sekunder, keterdapatannya sebagai urat dan atau mengelompok. Walaupun demikian alterasi tipe awal di bagian hulu Sungai Kinomaligan di sebelah tenggara daerah penelitian susah untuk ditentukan. Zona alterasi ini berasosiasi dengan urat magnetit *stockwork* yang sangat intens atau pengisi rekahan dengan sedikit kalkopirit. Pirit berukuran halus hadir hingga 2 % dan tersebar dalam massa dasar batuan. Pada umumnya ditemukan pada diorit kuarsa muda (IQD2), diorit kuarsa tua (IQD1), dasit vulkanik (VDA), dan andesit-batuan vulkaniklastik (VAN).

Alterasi Mineral lempung±SilikaKlorit± Serisit (Argilik/ ARG)

Penyebaran yang tidak signifikan dari tipe alterasi ini telah berkembang di bagian tengah dari daerah penelitian di daerah Tayap sepanjang zona menyempit yang dikontrol oleh struktur yang menumpang tindih dengan kumpulan alterasi awal. Alterasi argilik merupakan suatu kejadian destruksinya tekstur awal batuan dan dicirikan oleh penggantian total dari felspar utamanya oleh monmorilonit, kaolinit, serisit, dan terkadang silika yang berasosiasi dengan pirit yang berlimpah. Urat limonit (FeOx) merepresentasikan tipe “D” yang umumnya

berasosisasi dengan alterasi tipe ini di zona oksidasi.

Alterasi Silika-Alunit-Pirofilit-Dikit-Kaolinit (Argilik Lanjut/AAG)

Alterasi tipe ini ditentukan berdasarkan data lapangan dan didukung pembacaan PIMA. Ini hanya ditemukan dan terpetakan di bagian barat daerah penelitian di daerah Toraut. Selama pemetaan telah terobservasi zona tersilisifikasi kaya pirit yang berasosisasi dengan breksi, mengindikasikan bahwa kumpulan mineral alterasi ini cenderung ke batas tepi dari sistem lingkungan asam. Pemetaan di daerah ini terbatas dan kemenerusan dari zona alterasinya tidak

sepenuhnya teridentifikasi karena pelapukan yang kuat dan sebagian besar tertutupi oleh tuf dasit vulkanik (VDT) yang tidak teralterasi. Tipe ini umumnya ditemukan di andesit-batuan vulkaniklastik (VAN) (Gambar 3).

Hasil Analisis PIMA

Sejumlah 299 sampel diambil di daerah penelitian dan setiap sampel sekurangnya dua kali pembacaan PIMA. Kesimpulan singkat hasil pembacaan PIMA yang digabung dengan data lapangan dan distribusi dari lokasi pengambilan sampel PIMA dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kesimpulan dari pembacaan PIMA.

Tipe Alterasi	Pembacaan PIMA	Interpretasi
Alterasi potassik (POT)	biotit, klorit	Temperatur sangat tinggi (>300 ⁰ C), pH netral.
Alterasi propilitik (PRP)	klorit, epidot, kalsit	Temperatur tinggi (<250 ⁰ C), pH netral.
Alterasi silika-lempung±klorit±magnetit (SIL)	muskovit, illit, paragonit, klorit, phengit	Temperatur sedang, (200 ⁰ –300 ⁰ C), pH asam.
Alterasi argilik (ARG)	illit, muskovit, halloysit, montmorilonit, siderit, paligorskit, nontronit	Temperatur rendah (<200 ⁰ C), pH netral-asam.
Alterasi argilik lanjut (AAG)	k-alunit, pirofilit, dickit, kaolinit	Temperatur sangat rendah –sedang (150 ⁰ –250 ⁰ C), pH asam <4.



Gambar 3. Peta alterasi daerah penelitian.

KESIMPULAN

Daerah penelitian Bolaang Mongondow terdapat suatu kompleks multi intrusi diorit. Komplek intrusi mengandung variasi komposisi berkisar dari diorit hingga granodiorit dengan tekstur berbutir seragam hingga porfiritik, dan berdimensi dari retas kecil hingga *stock*. Batuan intrusi dari tua ke muda, yaitu granodiorit (IGD), diorit (IDR), diorit kuarsa tua (IQD1), diorit kuarsa muda (IQD2), diorit hornblenda kuarsa (IHD), diorit (IDR *dyke*), riolitik (IFK), dan andesit (VAN *dyke*). Batuan intrusi tersebut menerobos andesit-batuan vulkaniklastik dan dasit vulkanik yang berumur lebih tua, batuan vulkanik, vulkaniklastik, dan intrusi tersebut di beberapa tempat tertutupi oleh satuan batuan dari Tuf Dasitik Vulkanik, Batupasir Vulkanik, dan Endapan Aluvium.

Batuan intrusi pembawa mineralisasi di daerah penelitian diperkirakan dikontrol dan berada di sepanjang pertemuan struktur berarah timur-barat dan timur laut-barat daya. Struktur-struktur ini diinterpretasikan sebagai jalur pengintrusian porfiri di daerah penelitian.

Alterasi hidrotermal tahap awal di daerah penelitian berhubungan dengan intrusi diorit kuarsa muda (IQD2) yang menunjukkan deretan alterasi dari pusatnya potasik ke propilitik terdekat hingga propilitik terjauh. Alterasi hidrotermal tahap akhir dari alterasi-alterasi silika-mineral lempung±magnetit±klorit, argilik menengah dan argilik menumpang tindih dengan alterasi tahap awal. Hasil signifikan dari mineralisasi Cu±Au±Ag di daerah Tayap-Kinomaligan berkaitan erat dengan diorit kuarsa muda (QD2) yang teralterasi potasik kuat dipotong oleh urat *stockwork* kuarsa-magnetit-kalkopirit±bornit dan kemungkinan

merupakan bagian atas dari sistem mineralisasi porfiri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada PT. Oxindo Exploration dan Pemerintah Daerah Kabupaten Bolaang Mongondow yang telah bekerja sama dalam penelitian sumber daya mineral di Desa Werdi Agung dan Desa Kinomaligan dan sekitarnya, Kecamatan Dumoga Barat, Kabupaten Bolaang Mongondow, Propinsi Sulawesi Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. M. Van Leeuwen and P. E. Pieters, "Mineral Deposits of Sulawesi," in *Sulawesi Mineral Resources 2011 Seminar*, 2011, no. November, pp. 1–10.
- [2] A. Sofyan, "Inventarisasi dan Evaluasi Mineral Logam di Kabupaten Bolaang Mongondow dan Kabupaten Minahasa Selatan, Provinsi Sulawesi Utara," in *Kolokium Direktorat Inventarisasi Sumber Daya Mineral Tahun 2005/Prosiding 2006*, 2005.
- [3] B. Budiman, I. Hardjana, and Hermadi, "The Discovery, Geology, and Exploration of the High Sulphidation Au-Mineralization System in the Bakan District, North Sulawesi," *Maj. Geol. Indones.*, vol. 27, no. 3, pp. 143–157, 2012.
- [4] A. Arifin, "Tipe Endapan Epitermal Daerah Prospek Bakan, Kecamatan Lolayan, Kabupaten Bolaang Mongondow, Propinsi Sulawesi Utara," *J. Ilm. MTG*, vol. 6, no. 1, 2013.
- [5] I. Nur dan A. Ilyas, "Studi Alterasi-Mineralisasi Hidrotermal berdasarkan Analisis Mikroskopis dan Kimia pada Prospek Emas di Daerah Daanaa, Limboto, Kabupaten Gorontalo," in *Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik Universitas Hasanudin*, 2014, pp. 1–10 (TG4).
- [6] S. J. Suprpto, "Geokimia Regional Sulawesi Bagian Utara Percontoh Endapan Sungai Aktif - 80 Mesh," *J. Geol. Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 73–82, 2006.
- [7] J. C. Carlile, S. Digidowirogo, and K. Darius, "Geologic Setting, Characteristics, and Regional Exploration for Gold in the Volcanic Arcs of North Sulawesi, Indonesia," *J. Geochem. Explor.*,

- vol. 35, pp. 105–140, 1990.
- [8] D. F. Pearson and N. M. Caira, “The Geology and Metallogeny of Central North Sulawesi,” in *Pacrim '99 Congress Proceedings*, 1999, pp. 311–326.
- [9] I. Kavalieris, T. M. van Leeuwen, and M. Wilson, “Geological Setting and Styles of Mineralization, North Arm of Sulawesi, Indonesia,” *J. Southeast Asian Earth Sci.*, vol. 7, no. 2–3, pp. 113–129, 1992.
- [10] T. Apandi dan S. Bachri, *Peta Geologi Lembar Kotamubagu Sulawesi*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1997.