

GEOLOGI DAN STUDI MINERALISASI DAERAH PASLATEN, KECAMATAN TATAPAAAN, KABUPATEN MINAHASA SELATAN, SULAWESI UTARA

Hari Wiki Utama, Suprpto, Sutanto
Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta
Jl. SWK 104, Condong Catur 55283, Yogyakarta, Indonesia
Fax/Phone: 0274-487816; 0274-486403

SARI – Daerah penelitian merupakan *volcanic terrain* yang dikontrol oleh kelurusan struktur-struktur berarah relatif NW-SE, SE-NW dan N-S. Stratigrafi daerah telitian disusun oleh satuan lava andesit terubah (Miosen Tengah), satuan lava andesit (Pliosen) dan satuan endapan alluvial (Holosen – Resen). Struktur geologi berupa kekar, sesar mendatar dan sesar turun. Sesar-sesar berkembang baik pada Satuan lava andesit terubah, yaitu sesar berarah : NE – SW, SE – NW dan sesar yang relatif berarah N – S, hal ini sebagai jalur bagi fluida hidrotermal naik ke permukaan sehingga mempengaruhi sebaran alterasi dan mineralisasi. Alterasi di daerah penelitian dibagi menjadi tiga zona, yaitu : zona kuarsa – serisit – pirit ± klorit (tipe filik), zona kaolinit –monmorilonit –klorit –kuarsa ± pirit (tipe argilik) dan zona klorit – kalsit ± epidot ± pirit (tipe propilitik). Mineralisasi daerah penelitian terjadi pada urat kuarsa (*vein hingga veinlet*), breksi hydrothermal dan *stockwork*. Terdapat tiga tekstur bijih mineralisasi, yaitu : tekstur pengisian (*crustiform-colloform, cockade, breccia, triangular, comb structure, sacharoidal drusy, vuggy quartz, massive silica/quartz/chalcedonic, crystal gradation*), tekstur pergantian (*cross cutting*) dan tekstur eksolusi (*inclusion*). Mineralisasi logam ditandai dengan keberadaan urat kuarsa yang mengandung mineral pembawa bijih logam Cu, Zn, Pb, Au dan Ag. Mineralisasi di daerah penelitian dibagi menjadi dua fase, fase hipogen dan fase pengkayaan supergen. Evaluasi berdasarkan karakteristik alterasi dan mineralisasi daerah penelitian merupakan tipe endapan epithermal sulfidasi rendah.

Kata-kata Kunci: Stratigrafi, Struktur Geologi, alterasi hidrothermal, dan mineralisasi.

PENDAHULUAN

Proses tektonik yang terjadi secara terus menerus menyebabkan terjadinya banyak perubahan pada kondisi geologi. Pembentukan gunungapi, intrusi, sesar dan pembentukan rekahan terjadi hampir di setiap daerah, terutama yang dekat dengan busur magmatik. Air meteorik (fluida hidrothermal) yang masuk melalui pori batuan, rekahan yang berada di sekitar sumber panas berupa intrusi, sesar, serta air magmatik yang bersentuhan dengan batuan adalah hal-hal menyebabkan pembentukan ubahan/alterasi hidrothermal. Emas merupakan salah satu logam mulia yang memiliki nilai komersil yang tinggi diantara bahan galian lainnya. Mineral bijih ini terbentuk pada lokasi-lokasi tertentu dalam bentuk urat-urat kuarsa (*quartzvein*) yang merupakan karakteristik mineralisasi di daerah Minahasa Selatan.

Adapun maksud penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi geologi, meliputi : geomorfologi, stratigrafi, struktur geologi dan aosisinya. Tujuan kegiatan penelitian ini difokuskan mengenai alterasi hidrothermal, karakteristik mineralisasi dan pola sebarannya.

Daerah penelitian terletak di Kecamatan Tatapaan, Kabupaten Minahasa Selatan, Provinsi Sulawesi Utara. Ibukota Provinsi kota Manado menuju lokasi penelitian dapat menggunakan jalur darat. Jarak Ibukota Kabupaten Minahasa Selatan sekitar 64 km dari Kota Manado dan dapat di tempuh dengan menggunakan kendaraan roda empat maupun roda dua selama ± 1-1,5 jam. Luas wilayah penelitian konsesi IUP Eksplorasi PT. Pantas Indomining ± 1988Ha, termasuk di Kecamatan Tatapaan, Kabupaten Minahasa Selatan, Provinsi Sulawesi Utara. Batas koordinat PT. Pantas Indomining. Luasan wilayah untuk dijadikan sebagai Tugas Akhir 2.000 Ha (5 x 4 km), dengan koordinat UTM Zona 51 North X = 675500 – 680500 dan Y = 141500 – 145500. Sedangkan secara geografis terletak pada 124° 34' 38.5" - 123° 37' 20.3" bujur timur dan 1° 16' 43.1" - 1° 18' 54.2" lintang utara.

METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam melakukan suatu penelitian ini dengan pengambilan data lapangan meliputi : data geologi, alterasi hidrothermal dan mineralisasi. Hasil pengumpulan dan analisa data lapangan maka didapatkan karakteristik mineralisasi.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Stratigrafi

Satuan Lava Andesit Terubah (TMV)

Singkatan satuan ini ditemukan dalam kondisi terubah/teralterasi dengan tingkat alterasi lemah-sangat kuat. Lapukan dari satuan ini memperlihatkan kloritisasi (pembentukan klorit) yang terbentuk akibat sirkulasi oleh fluida permukaan/*meteorik*

fluids dimana pH dari fluida ini mendekati netral (Corbett dan Leach, 1993, White dan Hedenquist, 1995). Satuan ini memiliki karakteristik litologi yang hampir sama. Struktur batuan beku yang terekam di lapangan yaitu *vesikuler*, *amigdaloidal*, *joint-columnar joint* (kekar-kekar kolom). Pengamatan dan pemerian megaskopis umumnya batuan intermediet vulkanik, berwarna coklat keabu-abuan-kehijauan, struktur *vesikuler-amigdaloidal*, hipokristalin, afanitik-fanerik sedang (0,5–1mm), subhedral-anhedral, inequigranular vitroverik, plagioklas sebagai mineral primer, klorit, kalsit, kuarsa, serisit dan mineral opak sebagai mineral ubahan/sekunder (**Gambar 1**). Nama batuan : Andesit propilitik (Streckeisen, 1967). Pengamatan mikroskopis memperlihatkan bahwa batuan beku intermediet vulkanik, berwarna abu-abukehijauan; *vesikuler-amigdaloidal*; kristalinitas hipokristalin; granularitas fanerik halus – sedang (<0,1 – 5 mm); bentuk kristal anhedral–subhedral; ukuran kristal <0,01 – 2,2 mm; relasi inequigranular vitroverik; disusun oleh plagioklas sebagai mineral primer, klorit, kalsit, kuarsa, serisit dan mineral opak hadir sebagai mineral ubahan/sekunder. Nama batuan : Andesit propilitik (Streckeisen, 1967), porfiri andesit (Travis : 1962), andesit (William : 1954, I.U.G.S : 2000). Kondisi singkapan satuan ini telah mengalami ubahan/alterasi, dengan tingkat alterasi sangat kuat. Pada umumnya mineral plagioklas dan masa dasar gelas yang dijumpai telah berubah menjadi klorit, serta ditemukan juga kuarsa sekunder menggantikan masa gelas, kalsit menggantikan beberapa mineral plagioklas, serisit yang merupakan ubahan dari kalium feldspar. Pelapukan batuan pada litodem ini membentuk klorit–klorit akibat pengaruh dari fluida permukaan ataupun fluida formasi. Penyebaran batuan ini membentang dari bagian timur, tengah dan utara daerah penelitian dengan penyebaran $\pm 55\%$. Litodem ini menempati satuan geomorfik bukit dan perbukitan sisa gunungapi, punggung aliran lavadan lembah struktural. Satuan ini dapat teramati dengan baik di sungai Ma'asin dan hutan Manembo Nembo. Satuan ini terdapat di beberapa daerah penelitian, diantaranya : desa Sulu, Paslaten, Paslaten Satu dan perbatasan Wawona. Berdasarkan pengamatan lapangan dan peta geologi daerah penelitian, penulis menginterpretasikan bahwa pusat erupsi gunungapi ini berada dibagian utara - timurlaut daerah penelitian, dikarenakan penyebaran lava ini akan semakin habis dibagian tengah, timur, dan barat daerah penelitian. Alterasi yang terjadi pada litodem ini meliputi sekitar 60 % - 70 % dari luasan litodem ini.



Gambar 1. Kondisi singkapan dari satuan lava andesit terubah yang mengalami alterasi propilitik dengan koordinat X : 679112 dan Y : 143036, azimuth fotoN 316°E (A), parameter singkapan (B), *rock chip* dari singkapan batuan (C) dan *photomicrographs* andesit propilitik pada nikol silang (D)

Satuan ini merupakan satuan batuan yang tertua didaerah penelitian dan termasuk kedalam Formasi Batuan Gunungapi. Penentuan umur satuan ini berdasarkan stratigrafi regional daerah telitian yaitu stratigrafi lembar Manado, dimana satuan lava andesit terubah ini berumur Miosen Tengah. Penentuan umur ini berdasarkan data sekunder dari penelitian terdahulu, yaitu berdasarkan fosil foraminifera plankton, yaitu : *Globorotalia peripherea*, *Globorotalia mayeri*, *Globorotalia praemenardi* (dalam Peta Geologi Lembar Manado, A.C. Efendi dan S.S. Bawono, 1997), tetapi fosil foraminifera plankton ini tidak ditemukan didaerah penelitian. Berdasarkan hasil analisis data dilapangan, bahwa kontak antara satuan lava andesit terubah dengan satuan andesit memperlihatkan kontak erosional/ketidakselarasan. Secara posisi stratigrafi litodem lava andesit hornblende porfiri ini termasuk kedalam Formasi Batuan Gunungapi yang merupakan litodem/satuan batuan tertua didaerah penelitian. Kontak ketidakselarasan dari kedua satuan ini yang terdapat dilapangan dicirikan dengan ditemukannya: adanya bidang erosi, satuan batuan yang terpacung, warna oksidasi, gap waktu/*paleontological gap*. Keempat bukti ini memperkuat bahwa hubungan stratigrafi antara kedua satuan ini adalah ketidakselarasan. Kontak dari kedua litodem ini terdapat pada beberapa lokasi pengamatan yang merupakan kontak tegas dan kontak yang diperkirakan. Kontak diperkirakan ini dibedakan atas karakteristik fisik lava yang sangat berbeda, meliputi : struktur, tekstur dan komposisi mineral (**Gambar 2**).



Gambar 2. Kontak satuan lava andesit (A) terhadap litodem lava dengan andesit hornblende porfiri (B) dengan koordinat X : 678138 dan Y : 143218, azimuth foto N 038⁰E

Satuan Lava Andesit (Qtvl)

Satuan ini merupakan lava andesit masif yang terdapat pada morfologi dataran aliran lava dan lembah struktural. Hasil pengamatan lapangan pada batuan yang segar/fresh dan pemerian megaskopis singkapan batuan beku intermediet vulkanik, berwarna abu-abu kecokelatan, struktur masif, hipokristalin, fanerik halus - mikrokristalin (< 1 mm), subhedral-anhedral, inequigranular vitroverik, plagioklas, kalium feldspar, kuarsa, piroksen, hornblende, masa dasar gelas dan mineral opak (**Gambar 3**). Nama batuan : Andesit (Travis, 1962 ; Williams, 1954; I.U.G.S, 2000). Hasil pengamatan mikroskopis memperlihatkan bahwa batuan beku intermediet vulkanik, berwarna abu-abu kecokelatan; masif; kristalinitas hipokristalin; granularitas fanerik halus - afanitik (< 1 mm); bentuk kristal anhedral-subhedral; ukuran kristal <0,01 – 3 mm; relasi inequigranular vitroverik; disusun oleh plagioklas, sedikit kalium feldspar dan kuarsa, hornblende, masa dasar gelas dan mineral opak. Nama batuan : andesit (Travis : 1962, William : 1954, I.U.G.S : 2000).

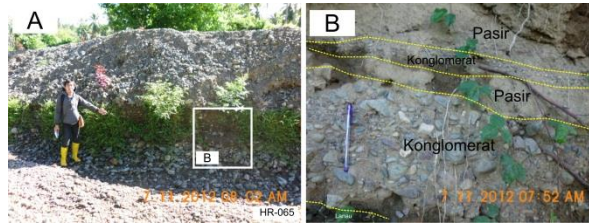


Gambar 3. Singkapan satuan lava andesit masif dengan koordinat X : 675938 dan Y : 142878, azimuth foto N 068⁰E (A), close up (B), Rock chip singkapan (C), photomicrographs nikol silang (D)

Penyebaran batuan ini membentang dari bagian tenggara sampai ke baratdaya daerah penelitian dengan penyebaran ± 22%. Litodem ini menempati satuan geomorfik dataran aliran lava dan tubuh sungai. Litodem ini dapat teramati dengan baik di desa Sulu, Paslaten, Paslaten Satu dan perbatasan Popareng. Litodem lava andesit masif ini tersingkap di beberapa lokasi pengamatan, dari beberapa lokasi pengamatan ini karakteristik dari lava ini menunjukkan karakteristik yang hampir sama, meliputi: struktur, tekstur dan komposisi mineral, hal ini dikarenakan pola sebaran aliran lava ini dimungkinkan terjadi pada satu fase pengendapan saja. Satuan lava andesit ini secara posisi stratigrafi dilapangan memperlihatkan kontak tidak selaras terhadap litodem lava andesit hornblende porfiri yang lebih tua dan kontak tidak selaras terhadap batuan yang lebih muda endapan alluvial. Kontak ketidakselaras terhadap satuan yang lebih tua dicirikan dengan ditemukannya: adanya bidang erosi, satuan batuan yang terpacung, warna oksidasi, gap waktu/paleontological gap. Sedangkan kontak stratigrafi litodem ini terhadap endapan alluvial merupakan kontak batuan yang tertimbun.

Satuan Endapan Alluvial (Qa)

Endapan aluvial terdiri dari material lepas dan berupa endapan yang belum mengalami konsolidasi, didominasi oleh material klastika sedimen dengan berukuran lumpur/lempung, lanau dan pasir. Jenis material tersebut dari berbagai macam litologi diantaranya dari batuan beku dan batuan sedimen yang berasal dari rombakan material dari batuan yang lebih tua. Endapan ini berumur Holosen hingga Resen (**Gambar 4**).



Gambar 4. Singkapan endapan alluvial memperlihatkan material lepas yang memiliki variasi ukuran butir dengan koordinat X : 677398 dan Y : 1142216, azimuth foto N 038⁰E (A), close up perselingan ukuran butir dari lanau, pasir, kerakal-kerikil/konglomerat (B)

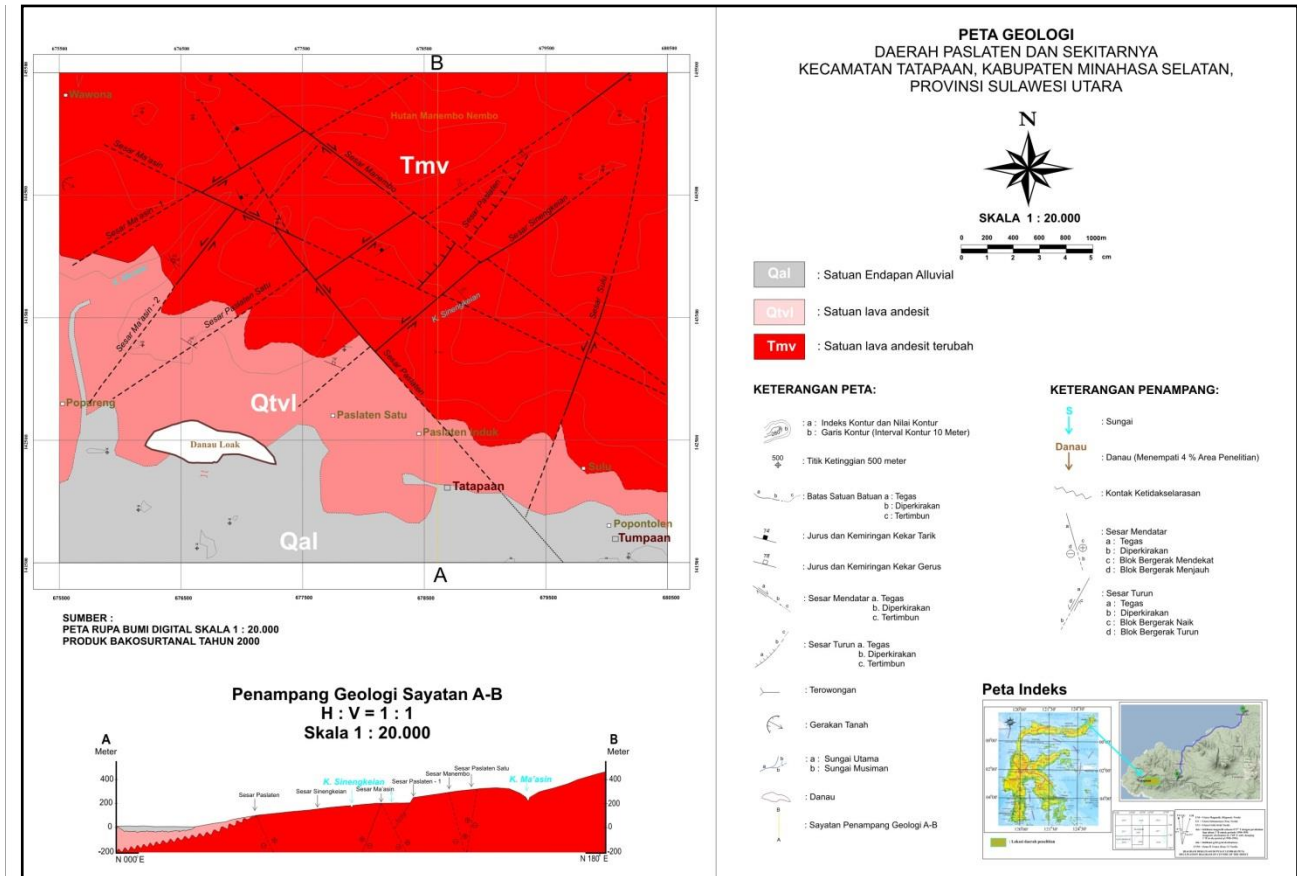
Struktur Geologi

Struktur geologi yang terdapat pada daerah telitian berupa kekar dan sesar mendatar dan sesar turun. Sesar-sesar berkembang baik pada litodem lava andesit hornblende profiri, yaitu : Sesar berarah NE – SW seperti : Sesar Mendatar Ma’asin–1, Sesar Mendatar Ma’asin–2, Sesar Mendatar Paslaten Satu, Sesar Mendatar Sinengkeian dan Sesar Turun Paslaten-1. Sesar berarah SE – NW seperti : Sesar Mendatar Manembo, Sesar Mendatar Ma’asin dan Sesar Mendatar Paslaten dan sesar yang relatif berarah N – S Sesar Mendatar Sulu.

Kolom stratigrafi daerah telitian dapat dilihat pada Gambar 5 dan peta geologi dapat dilihat di Gambar 6, di bawah ini.

UMUR AGE		BATUAN SEDIMEN DAN ENDAPAN PERMUKAAN SEDIMENT AND SURFICIAL DEPOSITS	BATUAN GUNUNGAPI (LITODEMIK) VOLCANIC ROCKS	DESKRIPSI DESCRIPTION		
HOLOSEN HOLOCENE	KUARTE QUATERNARY	Qal	Ketidakselarasan (Nonconformity)	<p>Qal (Satuan Endapan Alluvial) : Menempati 19 % daerah penelitian. Tersusun oleh material lepas berukuran bongkah, kerakal, kerikil, pasir dan lumpur. Endapan ini berasal dari rombakan batuan yang lebih tua, batuan ini tererosi, transportasi oleh suatu media (angin dan air), tetapi belum terkonsolidasi atau terlitifikasi.</p>		
PLISTOSEN PLEISTOCENE						
PLIOSEN PLIOCENE	TERSIER TERTIARY		Ketidakselarasan	<p>Qtvl (Satuan lava andesit) : Menempati 22 % daerah penelitian. Lava andesit, batuan intermediet vulkanik, berwarna putih kecokelatan, struktur masif serta memperlihatkan vesikuler, kekar/joint, tekstur : hipokristalin, fanerik halus-mikrokristalin, subhedral-anhedral, inequigranular vitroverik, komposisi mineral : plagioklas, sedikit kalium feldspar dan kuarsa, hornblende, piroksen, masa gelas dan mineral opak. Tekstur khusus pilotaksitik dan hialopilitik.</p>		
MIOSEN MIOCENE					AKHIR LATE	Tmv
					TENGAH MIDDLE	
					AWAL EARLY	
OLIGOSEN OLIGOCENE				<p>Tmv (Satuan lava andesit terubah) : Menempati 55 % daerah penelitian. Tersusun oleh lava andesit terubah dan batuan beku terubah (filik, argilik, propilitik). Lava andesit terubah, batuan beku intermediet vulkanik, berwarna putih kecokelatan sampai kehijauan, struktur vesikuler, amigdaloidal, kekar/joint-columnar joint, tekstur : hipokristalin, fanerik sedang-afanitik, subhedral-anhedral, inequigranular vitroverik, komposisi mineral : plagioklas, sedikit kalium feldspar dan kuarsa, hornblende, piroksen dan masa gelas dan mineral opak. Hadirnya mineral ubahan/alterasi seperti : klorit, epidot, kalsit, kuarsa sekunder, serisit, mineral lempung dan mineral opak. Mineral opak yang hadir seperti : pirit, kalkopirit, bornit, kovelit dan kalaverit. Tekstur khusus pilotaksitik. Sebagian dari satuan ini telah terkekarkan dan mengalami ubahan/alterasi hidrothermal. Tipe alterasi yang terdapat pada satuan ini terdiri dari himpunan mineral : kuarsa-serisit-pirit (Tipe Filik), mineral lempung/momorilonit-illite-kuarsa (Tipe Argilik), klorit-epidot-kalsit (Tipe Propilitik). Pada tipe alterasi ini, mineralisasi terjadi pada batas urat kuarsa/tipe filik.</p>		
EOSEN EOCENE						

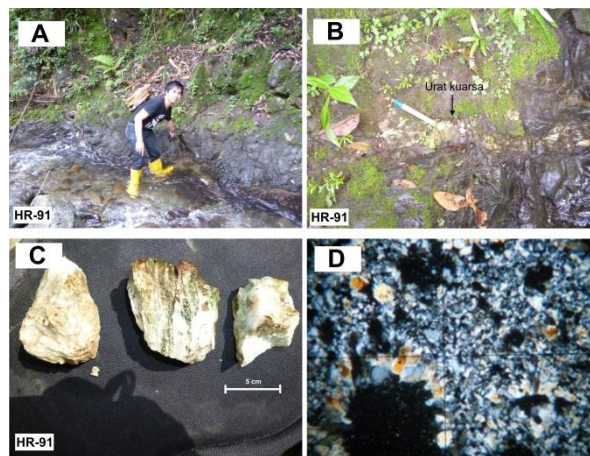
Gambar 5. Kolom Stratigrafi



Gambar 6. Peta Geologi Daerah Paslaten

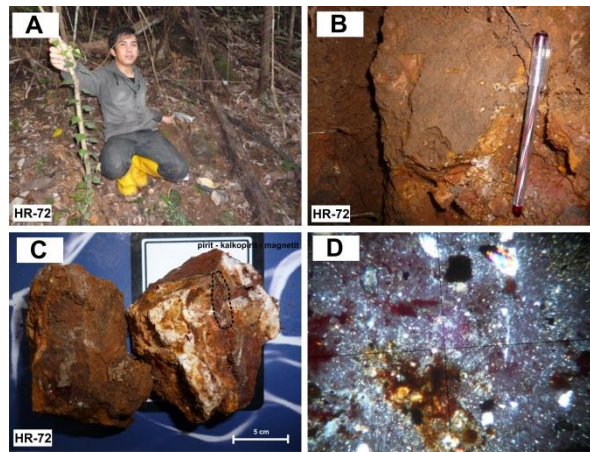
Alterasi Hidrothermal

Pada umumnya urutan-zona ubahan dari batuan asal/*bed rock* dimulai dari zona yang paling dalam berdasarkan tipe endapan. Pada zona alterasi daerah penelitian dimulai zona yang paling dalam dimulai dari zona filik (**Gambar 7**) yang dicirikan oleh hadirnya mineral kuarsa, serisit dan pirit yang ditemukan dibatas urat kuarsa. Zona yang kedua hadirnya mineral kuarsa-mineral lempung (kaolinit-monmorilonit), klorit dan pirit yang merupakan zona argilik (**Gambar 8**). Pada zona argilik terjadinya pengkayaan Al, dimana plagioklas dalam kondisi jenuh H₂O dan akan berubah menjadi kaolinit. Zona yang memiliki distribusi luas, zona ini terjadinya mobilitas unsur pengkayaan Ca plagioklas, piroksen, hornblende dan masa gelas yang berubah membentuk klorit, kalsit dan epidot, yaitu pada zona propilitik (**Gambar 9**). Hasil analisa petrografi pada beberapa sampel contoh batuan yang berubah disajikan pada **Tabel 1**.

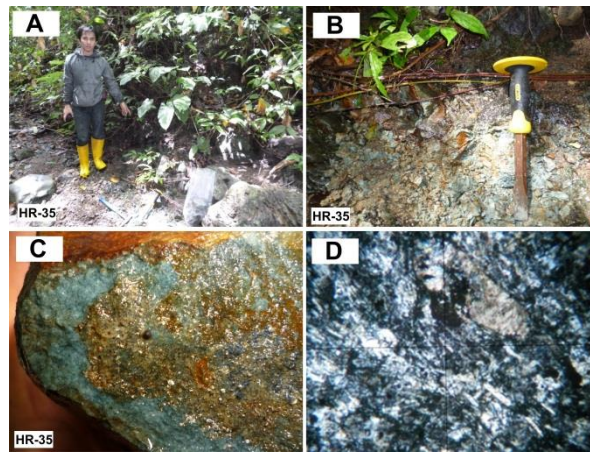


Gambar 7. Singkapan alterasi filik dengan koordinat X : 677076 dan Y: 144739 (A), *close up* (B), *rock chip* (C) dan *photomicrographs* nikol silang (D)

Alterasi didaerah penelitian dibagi menjadi tiga zona, yaitu : zona kuarsa – serisit – pirit ± klorit (tipe filik), zona kaolinit – monmorilonit– klorit –kuarsa ± pirit (tipe argilik) dan zona klorit – kalsit ± epidot ± pirit (tipe propilitik).



Gambar 8. Singkapan alterasi argilik dengan koordinat X : 678560 dan Y: 143785 (A), close up (B), rock chip (C) dan photomicrographs nikol silang (D)



Gambar 9. Singkapan alterasi propilitik dengan koordinat X : 677831 dan Y: 143932 (A), close up (B), rock chip (C) dan photomicrographs nikol silang (D)

Tabel 1. Hasil analisa petrografi pada sembilan belas conto batuan terubah

No. Conto batuan	Mineral ubahan	Tipe ubahan
HR-25	Kuarsa – serisit – *pirit ± klorit	Filik
HR-32	Kuarsa – serisit – *pirit *kalkopirit ± klorit	Filik
HR-91	Kuarsa – serisit – *pirit	Filik
HR-53	Kuarsa – serisit – *pirit ± klorit	Filik
HR-81	Kuarsa – serisit – *pirit ± klorit	Filik
HR-35	Klorit – kalsit – kuarsa – *pirit ± serisit	Propilitik
HR-79	Klorit – kalsit – epidot *pirit ± #monmorilonit	Propilitik
HR-94	#Kaolinit – #monmorilonit – kuarsa ± klorit ± *pirit	Argilik
HR-72	#Kaolinit – kuarsa ± klorit ± epidot *pirit	Argilik
HR-34	#Monmorilonit – #illit – kuarsa ± klorit *pirit	Argilik
HR-45	Klorit – epidot – kuarsa *pirit ± #monmorilonit	Propilitik
HR-51	#Kaolinit – kuarsa ± epidot *pirit	Argilik
HR-38	Kuarsa – serisit – *pirit *kalkopirit	Filik
HR-52	Kuarsa – serisit – *pirit *kalkopirit *bornit	Filik

HR-92	Kuarsa – serisit – *pirit * kalkopirit *bornit *kalaverit ± kalsit	Filik
HR-68A	Klorit – epidot ±*pirit	Propilitik
HR-121A	Klorit – epidot – kuarsa ± *pirit	Propilitik
HR-98	Klorit ±*pirit	Propilitik
HR-72	Kuarsa – serisit – *pirit ± kalkopirit	Filik

Keterangan :(*) : Diperoleh dengan pengamatan megaskopis menggunakan alat bantu *loupe*

(#) : Diperoleh dengan menggunakan test uji mineral lempung menggunakan alat bantu fluida/air

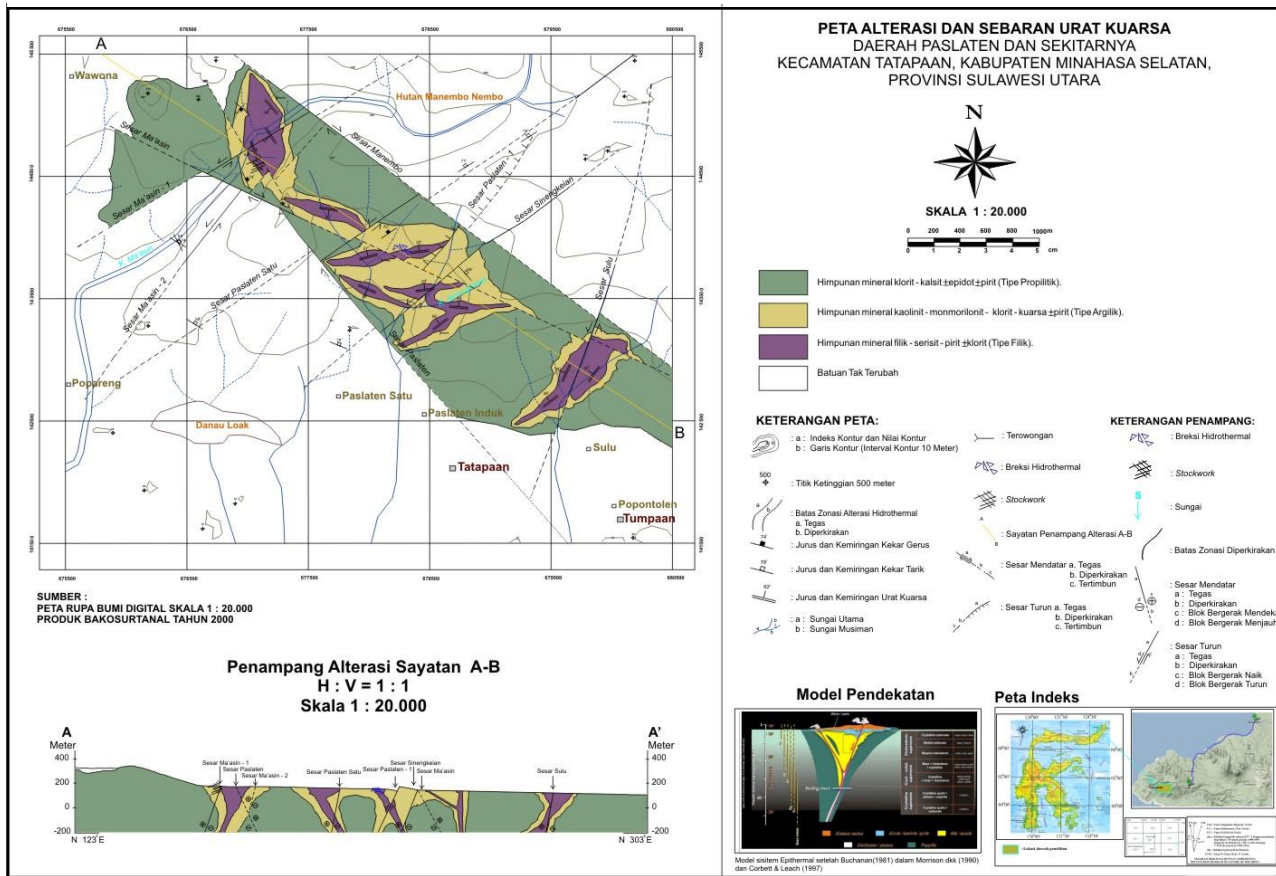
Mineralisasi

Mineralisasi pada daerah penelitian terjadi pada urat kuarsa (*vein/veinlet*), breksi hidrothermal, *stockwork* dan batuan dinding. Emas biasanya ditemukan dalam urat kuarsa dalam bentuk kalaverit dan jarang ditemukan dalam *native gold*. Mineral bijih penyertanya adalah pirit, kalkopirit, sfalerit, galena, bornit, kovelit dan kalkosit (mineral sulfida) dan hematit, limonit (mineral oksida). Mineral yang dapat dilihat dalam pengamatan megaskopis ialah mineral-mineral sulfida yang kehadirannya terhitung banyak pada lokasi pengamatan pada batuan yang termineralisasi. Mineral sulfida tersebut antara lain : pirit, kalkopirit, sfalerit, galena dll, selain hadirnya mineral sulfida juga ditemukan adanya mineral oksida yang hanya ditemukan pada batuan di sekitar urat kuarsa/batuan dinding. Terdapat tiga tekstur bijih mineralisasi, yaitu : tekstur pengisian (*crustiform-colloform, cockade, breccia, triangular, comb structure, sacharoidal drusy, vuggy quartz, massive silica/quartz/chalcedonic, crystal gradation*), tekstur pergantian (*cross cutting*) dan tekstur eksolusi (*inclusion*). Mineralisasi logam ditandai dengan keberadaan urat kuarsa yang mengandung mineral pembawa bijih logam Cu, Zn, Pb, Au dan Ag asosiasi mineral bijih yang ditemukan berupa pirit (FeS_2), kalkopirit (CuFeS_2), bornit (Cu_5FeS_4), kovelit (CuS), sfalerit (ZnS), galena (PbS), kalkosit (Cu_2S) yang merupakan kelompok mineral sulfida, magnetit (Fe_3O_4), limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$), kalaverit (AuTe_2) dan *native gold/emas* (Au). Mineral yang dapat dilihat dalam pengamatan megaskopis ialah mineral-mineral sulfida yang kehadirannya terhitung banyak pada lokasi pengamatan pada batuan yang termineralisasi. Mineral sulfida tersebut antara lain : pirit, kalkopirit, sfalerit, galena dll, selain hadirnya mineral sulfida juga ditemukan adanya mineral oksida yang hanya ditemukan pada batuan disekitar urat kuarsa/batuan dinding. Hasil analisa AAS pada beberapa conto batuan tersaji di **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil Analisa Geokimia AAS (*Atomic Absorbtion Spectrophotometric*) pada urat kuarsa, breksi hidrothermal dan batuan terubah

No	Lokasi pengamatan / No. Conto batuan	Au1	Au2	Au3	Au4	Cu	Pb	Zn	Ag
1	HR-32	0.3	0.31			1200	62	283	12
2	HR-52	0.05	0,07			118	19	217	3
3	HR-70	0.05				118	714	120	3
4	HR-71	0.01			0.01	902	22	9180	3
5	HR-81	0.21	0.23			86	<4	19	<1
6	HR-92	0,785							
7	HR-53	<0.01				230	12	2190	<1
8	HR-72	<0.01				4	5	114	<1
9	HR-25	0.01				902	22	9180	3
10	*HR-34	<0.01				9	<4	87	<1
11	*HR-73	<0.01				35	<4	113	<1

Keterangan : * Pada batuan terubah



Gambar 10. Peta Alterasi Hidrotermal dan Sebaran Urat Kuarsa

Terdapat tiga tekstur bijih mineralisasi, yaitu : tekstur pengisian (*crustiform-colloform, cockade, breccia, triangular, comb structure, sacharoidal drusy, vuggy quartz, massive silica/quartz/chalcedonic, crystal gradation*), tekstur pergantian (*cross cutting*) dan tekstur eksolusi (*inclusion*). Mineralisasi logam ditandai dengan keberadaan urat kuarsa yang mengandung mineral pembawa bijih logam Cu, Zn, Pb, Au dan Ag asosiasi mineral bijih yang ditemukan berupa pirit (FeS_2), kalkopirit ($CuFeS_2$), bornit (Cu_5FeS_4), kovelit (CuS), sfalerit (ZnS), galena (PbS), kalkosit (Cu_2S) yang merupakan kelompok mineral sulfida, magnetit (Fe_3O_4), limonit ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), kalaverit ($AuTe_2$) dan *native gold*/emas (Au).

Paragenesa

Paragenesa mineral merupakan mineral bijih yang terbentuk pada kesetimbangan tertentu (Guilbert dan Park, 1986). Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa mineralisasi terjadi pada urat/*vein/veinlet*, breksi hidrotermal, *stockwork* dan batas urat, penulis menginterpretasikan bahwa terjadinya ± dua fase pembentukan mineralisasi daerah penelitian yang berdasarkan data-data lapangan, analisis data dan interpretatif data. Kehadiran tekstur pengisian/*infilling*, penggantian/*replacement* dan eksolusi/*exolution* menjelaskan lebih dari satu fase fluida hidrotermal mencapai permukaan dan mengisi rekahan atau urat, dari pengamatan lapangan (Foto 8), analisis data dan interpretatif data yang ada fase awal pembentukan mineralisasi terjadi pada fase hipogen dan fase kedua merupakan pengkayaan unsur/supergen. Pada zona hipogen ini fluida hidrotermal bereaksi terhadap batuan dibawah zona oksidasi dan mengendap (pengendapan fluida hidrotermal ini lebih dari satu kali, hal ini dibuktikan dengan fakta lapangan berupa tekstur pengisian/*infilling*) pada rekahan dalam bentuk urat yang menyebabkan terjadinya mineralisasi pada fase awal didaerah penelitian yang didukung oleh banyak ditemukannya mineral-mineral pembawa bijih didalam urat kuarsa, seperti mineral magnetit dan mineralisasi sulfida kalkopirit, sfalerit, dan bornit sebagai pembawa bijih Cu, dimana pada fase/zona ini merupakan mineralisasi primer yang dibuktikan dengan pengkayaan unsur tembaga (Cu) mengacu pada (Sawkind, 1976). Karakteristik urat kuarsa daerah penelitian disajikan pada **Tabel 3**. Mineral pembawa bijih ini memiliki kisaran temperatur pembentukan $> 280^{\circ}C$ dan pada temperatur ini mineral oksida belum terbentuk (limonit ($2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$) memiliki temperatur pembentukan $< 125^{\circ}C$), hal ini sebagai data pendukung bahwa kondisi ini terbentuk dibawah zona oksidasi/zona pembentukan mineralisasi primer mengacu pada kisaran temperatur pembentukan mineral sulfida menurut Kingston Morrison, 1995 dan Reyes, 1990.

Tabel 3. Karakteristik urat kuarsa daerah penelitian

Lokasi pengamatan / No. conto batuan	Kedudukan urat kuarsa	Lebar urat kuarsa	Tekstur pada urat kuarsa
HR-25	N 215 ⁰ E/42 ⁰	± 8 cm	<i>Crystalline gradation</i>
HR-32	N 233 ⁰ E/26 ⁰	± 25 cm	<i>Crustiform-colloform</i>
HR-33	N 205 ⁰ E/36 ⁰	± 5 cm	<i>Vug and massive quartz</i>
HR-38	N 225 ⁰ E/56 ⁰	± 5 cm	<i>Crustiform-colloform</i>
HR-39	N 274 ⁰ E/89 ⁰	± 100 cm	<i>Cockade</i>
HR-52	N 263 ⁰ E/33 ⁰	± 5 cm	<i>Breccia</i>
HR-53	N 263 ⁰ E/50 ⁰	± 4 cm	<i>Vug and massive quartz</i>
HR-70	N 116 ⁰ E/79 ⁰	± 6 cm	<i>Massive chalcedonic</i>
HR-71	N 255 ⁰ E/57 ⁰	± 2 cm	<i>Comb structure</i>
HR-81	N 095 ⁰ E/55 ⁰	± 3 cm	<i>Sacharoidal drusy</i>
HR-90	N 160 ⁰ E/82 ⁰	± 5 cm	<i>Comb structure</i>
HR-91	N 145 ⁰ E/76 ⁰	± 6 cm	<i>Comb structure</i>
HR-92	N 136 ⁰ E/76 ⁰	± 7 cm	<i>Cockade - breccia</i>

Pada saat temperatur turun maka mineral magnetit tidak lagi terbentuk, tetapi mineralisasi sulfida masih terus berlangsung ditandai oleh mineralisasi bornit yang masih terus berlangsung dan kovelit menggantikan/*replacement* sebagian besar mineral pirit, kalkopirit, sfalerit, kemungkinan sebagian dari mineral tergantikan membentuk mineral bornit. Pirit yang belum mengalami pergantian unsur mineral/*replacement* sangat berperan penting sebagai agen pelarut (Jensen dan Bateman, 1981). Pirit (FeS_2) sebagai agen pelarut *ferric sulfate* (FeSO_4) yang kemudian bereaksi dengan sulfida primer dan uap air (OH) disekitarnya maka akan membentuk mineral limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) sebagai penciri zona oksidasi (Jensen dan Bateman, 1981), disamping terbentuknya limonit pada zona ini juga memungkinkan terbentuknya mineral kalkosit ketika dibawah muka air/*water table* sulfida primer bereaksi dengan unsur Cu_2SO_4 maka akan membentuk sulfida supergen (Jensen dan Bateman, 1981), dari reaksi kimia ini maka terbentuk mineral kalkosit (Cu_2S). Pada kondisi temperatur yang semakin turun sangat memungkinkan mineral mencari kestabilannya, kalkopirit (CuFeS_2) ini ketika bereaksi dengan unsur Cu_2SO_4 maka akan membentuk mineral kovelit (CuS) supergen (Jensen dan Bateman, 1981). Limonit ini umumnya terdapat pada rekahan batuan terubah, berdasarkan kehadiran mineral tersebut maka temperatur pembentukan mineral ini $\pm < 130^\circ\text{C} - 80^\circ\text{C}$ mengacu pada kisaran temperatur pembentukan mineral sulfida dan oksida menurut Kingston Morrison, 1995. Hasil dari pengamatan mineragrafi poles memperlihatkan adanya eksolusi/exolution mineral kalkopirit pada tubuh sfalerit membentuk inklusi-inklusi. Mineralisasi didaerah penelitian terjadi pada urat kuarsa/*vein/veinlet*, breksi hidrothermal dan batuan dinding/batuan terubah. Penyebaran mineralisasi ini mengikuti kemenerusan urat kuarsa dan mengikuti pola struktur sesar yang berasosiasi dengan urat kuarsa. Struktur sesar yang berasosiasi dengan mineralisasi atau keberadaan urat kuarsa, seperti : Sesar Ma'asin, Sesar Ma'asin - 1, Sesar Paslaten, Sesar Sinengkeian dan Sesar Sulu. Mineralisasi didaerah penelitian terdapat di desa Sulu, sungai Sinengkeian desa Paslaten dan sungai Ma'asin desa Paslaten Satu.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dilapangan serta pembahasan pada isi dari penelitian ini maka pada derah telitian, penulis menyimpulkan sebagai berikut :

1. Berdasarkan aspek-aspek geomorfologi meliputi karakteristik morfologi, struktur geologi, dan tingkat pengerosian/stadia geomorfik daerah penelitian, dapat dibagi menjadi menjadi tiga bentukan asal, yaitu : Vulkanik, Struktural dan Fluvial.
2. Berdasarkan ciri khas litologi, komposisi material penyusun serta umur, maka stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi tiga satuan batuan dengan urutan dari tua ke muda : satuan lava andesit terubah berumur (Miosen Tengah), satuan lava andesit berumur (Pliosen) dan satuan endapan alluvial (Holosen – Resen).
3. Struktur geologi yang berkembang didaerah penelitian terdiri dari kekar kekar berarah tenggara - baratlaut dan timurlaut – baratdaya, sesar-sesar mendarat memiliki tiga arah umum : sesar mendarat dan sesar turun yang berarahkan tenggara – baratlaut atau NE – SW seperti : Sesar Mendarat Ma'asin – 1, Sesar Mendarat Ma'asin – 2, Sesar Mendarat Paslaten Satu, Sesar Mendarat Sinengkeian dan Sesar Turun Paslaten , sesar mendarat yang berarahkan timurlaut – baratdaya atau SE –NW seperti : Sesar Mendarat Manembo, Sesar Mendarat Ma'asin dan Sesar Mendarat Paslaten dan sesar yang relatif berarah utara – selatan N – S Sesar Mendarat Sulu. Struktur ini terbentuk akibat deformasi tektonik yang berlangsung pada akhir kala Miosen Tengah.

4. Alterasi yang terjadi didaerah penelitian dibagi menjadi empat zonasi alterasi, yaitu : zona kuarsa – serisit – pirit ± klorit (tipe filik), zona monmorilonit – illit – klorit – kuarsa ± pirit (tipe argilik) dan zona klorit – kalsit ± epidot ± pirit (tipe propilitik).
5. Mineralisasi bijih didaerah telitian terdapat pada urat kuarsa/*vein/veinlet*, breksi hidrothermal *stockwork* dan batas urat.
6. Mineralisasi didaerah penelitian dibagi menjadi dua fase, yang pertama merupakan fase hipogen yang dicirikan oleh mineral sulfida dan oksida terbentuk pada temperatur tinggi, pada zona hipogen ini terjadinya pengkayaan unsur tembaga (Cu, Au) dan fase kedua merupakan fase pengkayaan supergen temperatur mulai turun, mineral yang terbentuk pada suhu tinggi digantikan oleh mineral-mineral sulfida dan oksida yang bertemperatur rendah.
7. Mineralisasi bijih pada daerah penelitian, seperti : pirit (FeS₂), kalkopirit (CuFeS₂), bornit (Cu₅FeS₄), kovelit (CuS), sfalerit (ZnS), galena (PbS), kalkosit (Cu₂S) yang merupakan kelompok mineral sulfida, magnetit (Fe₃O₄), limonit (2Fe₂O₃)3H₂O, kalaverit (AuTe₂) dan *native gold/emas* (Au).
8. Mineralisasi pada daerah penelitian memiliki tekstur dan struktur yang khas sebagai indikasi paragenesanya, seperti: *crustiform-colloform, cockade, breccia, triangular, comb structure, sacharoidal drusy, vuggy quartz, massive silica/quartz/chalcedonic, crystal gradation* yang merupakan tekstur pengisian/*infilling*, proses pergantian/*replacement* mineral sulfida pirit dan kalkopirit membentuk kovelit dan proses melarutnya mineral pada temperatur tinggi pada kondisi penurunan temperatur yaitu adanya inklusi-inklusi mineral kalkopirit pada tubuh sfalerit yang dikenal dengan eksolusi/*exolution*.
9. Berdasarkan karakteristik intrusi, *host rock*, tipe ubahan, mineral ubahan, mineral bijih utama, komoditi logam, tekstur utama dan asosiasi, maka dapat disimpulkan tipe endapan daerah penelitian adalah epithermal sulfidasi rendah/*epithermal low sulphidation type*.
10. Potensi positif didaerah penelitian, seperti : adanya mineralisasi yang terdapat di desa Sulu, Paslaten dan Paslaten Satu, pasir batu yang terdapat dibantaran sungai Ma'sin desa Paslaten Satu, wisata danau serta dimanfaatkan sebagai tempat pemancingan terdapat di desa Paslaten Satu, sedangkan potensi negatif daerah penelitian terdapat adanya longsoran batuan/*landslide/rock fall* dibagian barat laut daerah penelitian di desa Paslaten Satu.

DAFTAR PUSTAKA

- A.C. Effendi dan S.S. Bawono, 1997. *Peta Geologi Lembar Manado, Sulawesi*. P3G. Bandung.
- Browne, P.R.L., 1991. *Hydrothermal Alteration and Geothermal Systems*, The University of Auckland, Auckland.
- Carlile, J.C. dan Mitchell, A.H.G., 1994, Magmatic Arcs and associated gold and copper mineralisation in Indonesia: *Journal of Geochemical Exploration, Elsevier Science*, Amsterdam, vol. 50, hal. 92 – 142.
- Cooke, D. R. dan Simmons, S. F., 2000. Characteristics and genesis of epithermal gold deposits: *Reviews in Economic Geology*, vol. 13, hal. 221-244.
- Corbett, G.J. dan Leach, T.M., 1996. *Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization*: SEG Special Publication No. 6.
- Corbett, G.J., 2002. Epitermal Gold for Explorationist: *AIG Journal - Applied geoscientific practice and research in Australia*, Australia, vol. 2002-01 hal. 1-15.
- Giggenbach, W.F., 1992. Magma degassing and mineral deposition in hydrothermal systems along convergent plate boundaries: *Economic Geology*, vol. 87, hal. 1927-1944.
- Guilbert, G.M., dan Park, C.F., 1986. *The Geology of ore deposit*: freeman and company, New York, 985 hal.
- Hedenquist, J.W, 1987. *Mineralization Associated with Volcanic Related Hydrothermal System in The Circum Pacific Basin*. Hal 515. In : M.K. Horn, Trans. Fourt Circum – Pasific Energy and Mineral Resources.
- Lawless, J. V., White, P. J., Bogie, I., Paterson, L., A., Cartwright, A., J., 1998. *Hydrothermal Mineral Deposit in the Arc Setting Exploration Based on Mineralization Models*: Kingston Morrison Ltd.