

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN PROMOTOR .....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
LEMBAR PERSEMBAHAN .....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR .....	x
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN .....	xxv
ABSTRAK.....	xxvi
ABSTRACT.....	xxviii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Lokasi Penelitian.....	2
1.3. Perumusan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Batasan Penelitian.....	4
1.6. Peneliti Terdahulu dan Keaslian Penelitian .....	4
BAB II. GEOLOGI DAN MINERALISASI REGIONAL.....	7
2.1. Geologi Regional .....	7
2.1.1. Sabuk Magmatisme Sunda - Banda .....	7
2.1.2. Geologi Pulau Sumbawa.....	8
2.2. Mineralisasi Regional.....	10
2.2.1. Distrik Mineralisasi Porfiri Sabuk Sunda Bagian Timur .....	10
2.2.2. Karakteristik Batuan Intrusi .....	11
2.2.3. Model Geologi Mineralisasi Porfiri di Sunda bagian Timur .....	13
2.3. Geologi dan Mineralisasi Porfiri pada Kompleks Hu'u. ....	15
BAB III. DASAR TEORI.....	19
3.1. Tatanan Tektonik .....	19
3.2. Vulkanisme .....	19
3.3. Proses Hidrotermal.....	21
3.4. Magma dan Batuan Beku.....	22
3.5. Endapan Porfiri Cu-Au .....	23
3.6. Fluida Hidrotermal.....	32
BAB IV. METODE DAN TAHAPAN PENELITIAN .....	37
4.1. Metode Penelitian .....	37
4.2. Tahapan Penelitian.....	37
4.2.1. <i>Desktop Study</i> .....	39
4.2.2. Pekerjaan Lapangan .....	39
4.2.3. Analisis Laboratorium .....	41
4.2.3.1. Petrologi dan Mineralogi .....	43

4.2.3.2. Kimia Mineral.....	44
4.2.3.3. Geokimia Batuan dan Bijih.....	44
4.2.3.4. Inklusi Fluida .....	45
4.2.3.5. Isotop.....	46
4.3. Analisis Data.....	46
<b>BAB V. GEOLOGI DISTRIK DAN LOKAL.....</b>	<b>48</b>
5.1. Pendahuluan.....	48
5.2. Geologi Distrik.....	48
5.2.1. Geomorfologi.....	48
5.2.2. Litologi.....	51
5.2.3. Struktur Geologi.....	51
5.3. Geologi Lokal Humpa Leu East .....	53
5.3.1. Morfologi .....	53
5.3.2. Litologi.....	53
5.3.3. Struktur geologi .....	61
5.4. Ringkasan dan Diskusi.....	63
<b>BAB VI. ALTERASI DAN MINERALISASI.....</b>	<b>65</b>
6.1. Pendahuluan.....	65
6.2. Aterasi Hidrotermal Distrik Hu'u .....	65
6.2.1. Tipe dan Karakteristik Alterasi Hidrotermal .....	65
6.2.2. Tipe Mineralisasi .....	67
6.3. Alterasi dan Mineralisasi Prospek Humpa Leu East.....	67
6.3.1. Alterasi Hidrotermal Permukaan .....	67
6.3.2. Alterasi Hidrotermal Bawah Permukaan .....	70
6.3.2.1. Alterasi Potasik .....	70
6.3.2.2. Alterasi Propilitik.....	75
6.3.2.3. Alterasi Serisitik.....	79
6.3.2.3. Alterasi Argilik dan Argilik Lanjut.....	80
6.3.3. Mineralisasi dan Sistem Urat .....	83
6.3.3.1. Urat Kuarsa .....	85
6.3.3.2. Urat Epitermal.....	93
6.3.3.3. Urat Anhidrit.....	94
6.3.3.4. Breksi hidrotermal .....	95
6.3.4. Paragenesa Mineralisasi.....	98
<b>BAB VII. GEOKIMIA BATUAN .....</b>	<b>105</b>
7.1. Pendahuluan.....	105
7.2. Geokimia Batuan Beku .....	105
7.3. Geokimia Alterasi Hidrotermal.....	111
<b>BAB VIII. KIMIA MINERAL .....</b>	<b>118</b>
8.1. Pendahuluan.....	118
8.2. Mineral Non Logam.....	118
8.2.1. Feldspar.....	118
8.2.2. Kuarsa .....	124
8.2.3. Biotit .....	126

8.2.4. Epidot – Klorit .....	128
8.2.5. Anhidrit .....	131
8.2.6. Karbonat .....	134
8.3. Mineral Logam .....	135
8.3.1. Magnetit - hematit .....	135
8.3.2. Bornit – kovelit .....	137
8.3.3. Kalkopirit .....	137
8.3.4. Pirit .....	140
8.3.5. Emas .....	141
8.3.6. Sflerit .....	141
<b>BAB IX. KARAKTERISTIK FLUIDA HIDROTHERMAL .....</b>	<b>144</b>
9.1. Pendahuluan .....	144
9.2. Petrografi Inklusi Fluida .....	144
9.2.1. Tipe dan Karakter Inklusi .....	145
9.2.2. Tipe Inklusi .....	146
9.3. Mikrotermometri Inklusi Fluida .....	149
9.3.1. Monofase .....	150
9.3.2. Bifase .....	151
9.3.3. Multifase .....	152
9.4. Karakter Fluida Tiap Mineralisasi .....	154
9.4.1. Tahap Awal Porfiri ( <i>Early Stage</i> ) .....	156
9.5. Evolusi Fluida .....	161
<b>BAB X. ISOTOP MINERAL SULFIDA .....</b>	<b>163</b>
10.1. Pendahuluan .....	163
10.2. Hasil pengukuran .....	164
10.3. Ringkasan dan diskusi .....	166
<b>BAB XI. DISKUSI .....</b>	<b>168</b>
11.1. Pendahuluan .....	168
11.2. Model Geologi dan Evolusi Fluida Hidrotermal .....	168
11.3. Sistem Urat dan Distribusi Mineralisasi .....	172
11.4. Fluida Hidrotermal dan Mineral Sulfida .....	174
11.5. Sistem Porfiri HLE dan Distriknya .....	175
11.6. Implikasi untuk Eksplorasi .....	175
<b>BAB XII. KESIMPULAN .....</b>	<b>177</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>180</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>187</b>
1. Data Sampel Batuan pada Intibor Prospek HLE .....	189
2. Analisis Kimia Batuan (XRF, ICP-OES) .....	198
3. Analisis Petrografi dan Mikroskopi Biji .....	210
4. Analisis XRD .....	239
5. Analisis Inklusi Fluida .....	243
6. Analisis Isotop .....	249
7. Analisa Kimia Mineral Terpilih dengan SEM-EDS dan Mikro-XRF .....	251
8. Analisis <i>Elemental-mapping</i> mikro-XRF .....	260

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Peta lokasi penelitian pada prospek Humpa Leu East (HLE), pada lokasi IUP PT. Sumbawa Timur Mining, Hu'u, Kabupaten Dompu, Nusa Tenggara Barat.....	3
Gambar 2.1.	Peta sebaran deposit porfiri dan asosiasinya di sabuk Sunda bagian timur (penggambaran ulang dari Maryono <i>et al.</i> , 2018). ....	7
Gambar 2.2.	Geologi regional pulau Sumbawa dan kehadiran deposit porfiri dengan umur Miosen – Pleistosen (Garwin, 2002; Burrows <i>et al.</i> , 2020; Maryono <i>et al.</i> , 2018). Lokasi penelitian, Humpa Leu East berada pada blok/distrik Hu'u. ....	9
Gambar 2.3.	Perbandingan jenis dan ukuran litologi deposit porfiri Cu-Au di Sunda bagian timur. Model geologi disederhanakan dari porfiri Tumpang Pitu (Harrison <i>et al.</i> , 2018), Brambang, Lombok (Ubaidillah <i>et al.</i> , 2019), Batu Hijau (Idrus <i>et al.</i> , 2007), dan Selogiri (Sutarto <i>et al.</i> , 2016).....	10
Gambar 2.4.	Model geologi endapan porfiri Sunda bagian timur, yang memperlihatkan jenis litologi, alterasi dan mineralisasi yang terbentuk (Maryono <i>et al.</i> , 2018). ....	14
Gambar 2.5.	Peta geologi kegunungapian daerah Hu'u (Sundhoro <i>et al.</i> , 2005). ....	16
Gambar 2.6.	Peta geologi distrik Hu'u dan posisi prospek mineralisasi (PT. Sumbawa Timur Mining, 2019).....	16
Gambar 2.7.	Peta sebaran litologi permukaan prospek porfiri HLE dan lokasi pemboran inti (PT. Sumbawa Timur Mining, 2019).....	17
Gambar 3.1.	Fasies gunung api tipe komposit, yang terbagi menjadi proksimal ( <i>vent</i> ), proksimal, medial, dan distal (Bogie & Mackenzie, 1998). Teks berwarna biru adalah pembagian menurut McPhie & Cas (2015) .....	21
Gambar 3.2.	Evolusi alterasi hidrotermal pada fase awal ( <i>prograde</i> ) dan juga pada fase akhir yang bertemu dengan sistem epitermal (Corbett & Leach, 1998). ....	24
Gambar 3.3.	Tipe urat pada porfiri jalur Sunda bagian timur, umumnya terbentuk 3 tahapan utama.....	31
Gambar 3.4.	(a) Tipe inklusi berdasarkan posisi terhadap kristal (Pirajno, 2009), dan (b) sampel inklusi fluida pada porfiri berupa fluida jenuh halit dari endapan porfiri San Pedro, New Mexico (Wilkinson, 2001).....	33
Gambar 3.5.	Tipe-tipe inklusi fluida pada porfiri (Nash, 1976). (a) Sketsa tipe fluida inklusi pada porfiri yang terbagi menjadi 4 tipe, yaitu tipe I (a-I), tipe II (a-II), tipe III (a-III), dan tipe IV (a-IV). (b) Sampel inklusi tipe I ( <i>moderate salinity</i> ), (c) sampel inklusi tipe II ( <i>Gas-rich</i> ), (d) sampel inklusi tipe III ( <i>Halite-bearing</i> ). ....	35
Gambar 3.6.	Pembagian tipe inklusi fluida menurut Sheperd, <i>et al.</i> , (1985).....	36
Gambar 4.1.	Diagram alir tahapan penelitian .....	37

Gambar 4.2.	Target dan jenis data yang diperoleh. ....	40
Gambar 4.3.	Skema jenis objek pengamatan dan tipe sampel yang dipakai dalam penentuan kimia mineral dan fluida. Kimia mineral menggunakan mikro-XRF/SEM-EDS sedangkan karakteristik fluida menggunakan F&H <i>stage FI</i> .....	41
Gambar 5.1.	Relief daerah Hu'u dan sekitarnya. (a) Tampilan 3 dimensi topografi daerah Hu'u, yang menunjukkan morfologi sisa gunung api di daerah Hu'u. (b) Sebaran sudut kelerengan ( <i>slope</i> ) pada pegunungan daerah Hu'u. Peta hasil pengolahan dari data DEMNAS (Badan Informasi Geospasial, 2018).....	49
Gambar 5.2.	Foto bentang alam pegunungan daerah Hu'u dan sekitarnya, (a). pada sisi utara, terlihat peralihan morfologi perbukitan menuju dataran aluvium pada kota kecamatan Hu'u, (b). pada sisi selatan bregada Hu'u, tampak morfologi perbukitan bentukan vulkanik seperti kubah atau <i>plug</i> pada Gn. Puma atau Kajuji, (c-d). morfologi relief kuat pada bagian tengah.....	50
Gambar 5.3.	Pola kelurusan dan densitas kelurusan pada daerah Huu dan sekitarnya. Diagram <i>rose</i> menunjukkan arah relatif kelurusan. a-c, sebagaimana posisi di peta, c adalah arah umum Huu, dan d adalah arah umum keseluruhan peta.....	52
Gambar 5.4.	Penampakan morfologi daerah Humpa Leu East, (a) lembah-lembah terjal berarah utara-selatan pada bagian utara prospek HLE, foto mengarah ke selatan. (b). Sungai Iswan pada prospek Humpa Leu East dengan lembah terjal dan diikuti endapan bongkah yang dominan.....	53
Gambar 5.5.	Peta geologi prospek Humpa Leu East (HLE) dengan modifikasi ringan dari PT. Sumbawa Timur Mining (2019) dan interpretasi geologi bawah permukaan penampang barat-timur oleh peneliti. ....	55
Gambar 5.6.	Sampel batuan andesit pada prospek HLE. (a) sampel pemboran inti VHD001 di kedalaman 10,6 m, yang menunjukkan batuan tersilisifikasi kuat namun masih memperlihatkan tekstur aliran dan vesikuler. (b-c) Bekas mineral primer yang terlihat berupa plagioklas terubah silika halus.....	56
Gambar 5.7.	Batuan diorit pada prospek HLE. (a-b) sampel diorit di permukaan yang umumnya telah mengalami alterasi dan pelapukan. (c) Diorit kuarsa porfiri pada kedalaman 46m (d) Diorit hornblenda pada kedalaman 227 m. ....	58
Gambar 5.8.	Batuan diorit kuarsa porfiri teralterasi kuat pada prospek HLE dari kedalaman 340 – 717 m dari permukaan.. ....	59
Gambar 5.9.	Batuan mikrodiorit pada prospek HLE, (a) pada bor VHD023 kedalaman 273 m, mikrodiorit tekstur fanerikgranular ukuran halus, (b) pada bor VHD013 kedalaman 1000 m, memperlihatkan ukuran butir sangat halus dan terlihat kontak dengan diorit kuarsa porfiri. ....	60

Gambar 5.10. Breksi freatomagmatik yang memiliki tekstur polimiktik, <i>milled</i> , yang umumnya juga mengalami alterasi propilitik – argilik. ....	61
Gambar 5.11. Petrografi sampel breksi freatomagmatik dengan fragmen litik, kuarsa, mineral mafik pada matriks mineral lempung dan kuarsa halus. ....	61
Gambar 5.12. Sebaran titik dijumpai indikasi struktur geologi berupa sesar dan interpretasi pola sebaran bawah permukaannya.....	62
Gambar 5.13. Bentuk struktur geologi bawah permukaan yang dijumpai di HLE, (a) zona <i>gauge</i> yang teralterasi argilik lanjut, (b) zona paralel urat, sebagai struktur yang terisi mineralisasi porfiri, (c) zona retakan kuat dan <i>gauge</i> , (d) zona hancuran yang terisi karbonat-kuarsa.....	62
Gambar 5.14. Perbandingan model geologi Humpa Leu East terhadap beberapa deposit porfiri tembaga-emas di Sunda bagian Timur yang disederhanakan sebagai sampel Tumpang Pitu di Jawa Timur (Hellman, 2011), Batu Hijau di Sumbawa (Idrus <i>et al.</i> , 2009), Brambang di Lombok (Ubaidillah <i>et al.</i> , 2019), Selogiri di Jawa Tengah (Sutarto <i>et al.</i> , 2016), dan Wadubura – Onto di Hu'u (Burrows <i>et al.</i> , 2020; PT. Sumbawa Timur Mining, 2019).....	64
Gambar 6.1. Peta alterasi hidrotermal dan posisi beberapa prospek mineralisasi pada distrik Hu'u. (penggambaran ulang dari PT. Sumbawa Timur Mining, 2019).....	66
Gambar 6.2. Penampang geologi dan alterasi barat-timur disederhanakan pada prospek Wadubura-onto (PT.STM, 2019) dan Humpa Leu East.....	66
Gambar 6.3. Peta alterasi hidrotermal permukaan prospek Humpa Leu East (HLE) dan lokasi titik bor serta lokasi pengambilan sampel batuan.....	69
Gambar 6.4. Singkapan batuan teralterasi klorit-biotit-magnetit yang terlapukan menjadi kaolinit-serisit dengan mineralisasi berupa urat kuarsa kaya magnetit dan mineral pembawa tembaga.....	68
Gambar 6.5. Profil alterasi bawah permukaan prospek porfiri HLE.....	69
Gambar 6.6. Sebaran mineral alterasi pada diorit kuarsa porfiri teralterasi potasik (a-b) Mikrofotograf hasil petrografi sampel VHD021/523 yang memperlihatkan sebaran kuarsa-feldspar-biotit-serisit-anhidrit, (c-d) pemetaan unsur dan mineral kualitatif plagioklas-feldspar (warna biru) pada analisis mikro-XRF.....	72
Gambar 6.7. Pengamatan SEM-EDS untuk melihat asosiasi mineral pada alterasi potasik .....	74
Gambar 6.8. Analisis mineralogi kuantitatif dari data mikro-XRF pada batuan teralterasi potasik (a) pada sampel VHD001/334 yang memperlihatkan sebaran biotit-feldspar yang juga terpotong sistem anhidrit-gypsum. Mineralisasi berasosiasi dengan urat kuarsa tipe A dan EDM .....	75



- Gambar 6.9. Analisis mineralogi kuantitatif dari data mikro-XRF pada sampel VHD009A/518,8, sebaran klorit diantara biotit serta memperlihatkan adanya sebaran mineral alterasi dan mineral logam yang berhubungan dengan 2 tipe urat yaitu tipe M dan tipe A. .... 76
- Gambar 6.10. Batuan diorit teralterasi propilitik dalam, dan transisinya. (a) alterasi propilitik transisi dengan serisitik, terlihat mineral klorit-epidot berasosiasi dengan serisit serta terpotong urat anhidrit kuarsa, (b) sebaran epidot-klorit-aktinolit-kuarsa menggantikan mineral primer secara kuat. Terlihat urat kuarsa-plagioklas-anhidrit-epidot dan diikuti mineral opak. .... 76
- Gambar 6.14. Diorit teralterasi propilitik dalam dengan mineral klorit-epidot-serisit-aktinolit dan sedikit muskovit. Sampel VHD 013/1000,5 merupakan sampel propilitik pada posisi relatif di bawah sistem porfiri..... 78
- Gambar 6.15. Batuan diorit teralterasi propilitik luar pada diorit, (a-b) megaskopik batuan teralterasi propilitik luar yang masih memperlihatkan tekstur porfiritiknya, (c) petrografi sampel VHD001/284,7 yang memperlihatkan penggantian sebagian pada fenokris plagioklas dan hornblenda menjadi klorit-smektit-karbonat serta diikuti mikrokristalin silika. (d) petrografi sampel VHD021/068 dengan mineral asosiasi klorit -smektit-serisit-ilit..... 78
- Gambar 6.16. Sampel batuan teralterasi serisitik yang memperlihatkan warna cerah sebagai indikasi banyaknya mineral serisit dan illit serta beberapa mineral lempung..... 79
- Gambar 6.17. Grafik hasil analisa XRD sampel VHD023/206,2 yang menunjukkan kumpulan mineral kuarsa-illit-epidot-muskovit (serisit). .... 79
- Gambar 6.18. Sampel batuan teralterasi argilik, yang berkembang baik pada dekat permukaan bahkan sampai kedalaman 200 m. (a-d) alterasi argilik yang terbentuk dari kumpulan mineral kaolinit-smektit-illit, (e-f) alterasi argilik lanjut, yang umumnya dicirikan dengan kehadiran kuarsa (urat) dengan tekstur *vuggy* baik secara masif maupun fragmental. .... 81
- Gambar 6.19. Petrografi batuan teralterasi argilik, dengan mineralogi teramati kuarsa-kaolinit-illit. .... 81
- Gambar 6.20. Analisis XRD pada batuan teralterasi argilik-argilik lanjut, (a) menunjukkan asosiasi mineral pada argilik lanjut berupa kuarsa-dikit-pirofilit-alunit-pirit, (b) menunjukkan asosiasi mineral pada argilik berupa dikit - kuarsa. .... 82
- Gambar 6.21. Sebaran batas kadar tembaga (Cu) dan emas (Au) pada penampang litologi prospek porfiri Humpa Leu East (HLE) yang terlihat berhubungan dengan intrusi diorit kuarsa porfiri dan mineralisasi yang terbentuk dalam tubuh intrusi. Data grafik bar dari PT. Sumbawa Timur Mining (2019)..... 84
- Gambar 6.22. Tipe-tipe urat kuarsa pada fase awal porfiri Humpa Leu East. .... 86

- Gambar 6.23. Mikrofotografi urat A pada sampel VHD009A/518,8 yang memperlihatkan komposisi urat berupa kuarsa-biotit-plagioklas-anhidrit dengan mineral opak berupa magnetit-kalkopirit-pirit-bornit. .... 88
- Gambar 6.24. Tekstur dan kelompok mineral pada urat tipe A<sub>3</sub>. (a) sampel batuan VHD013/801,4 menunjukkan *centerline* semu. (b-c) tekstur kuarsa granular, diikuti anhidrit dan mineral opak, (d-f) Data analisis sebaran unsur dari mikro-XRF menunjukkan kehadiran kalkopirit (ccp) – bornit (bn) – molibdenit (mo) and anhidrit (anh). (g-i) mineral bijih yang terbentuk secara bersamaan yaitu kalkopirit-bornit, serta setempat terlihat sfalerit (sph). .... 88
- Gambar 6.25. Sebaran unsur pada urat pada sampel VHD009A/717 yang menunjukkan perulangan 3 fase yaitu urat A<sub>psb</sub> – EDM, terpotong urat A<sub>2</sub> dan terakhir terpotong urat gipsum-karbonat. Urat A<sub>2</sub> menunjukkan mineralisasi yang tersebar pada sisi urat, berupa kalkopirit dengan ukuran halus. .... 89
- Gambar 6.26. Urat tipe M2 memotong EDM dan distribusi mineral dan unsurnya, pada sampel batuan VHD009A/518,8. (a-b) Megaskopik sampel batuan, (b) sketsa urat M2 yang menunjukkan asosiasi paralel dengan A<sub>2</sub> dan tegak lurus dengan EDM, (c) Distribusi Cu- S dan silika yang menunjukkan kontrol distribusinya, (d-f) Magnetit sebagai mineral awal pada urat M2 yang terbungkus oleh kalkopirit dan pirit, (g) kalkopirit-magnetit pada urat, (h) magnetit – kalkopirit dan pirit, (i) asosiasi kuarsa – anhidrit dan magnetit. .... 90
- Gambar 6.27. Fotomikrografi urat kuarsa tipe B. (a) Posisi XPL, pada sampel batuan VHD009A/341,3 menunjukkan kuarsa-anhidrit-klorit-karbonat-opak, (b-c) Posisi XPL, pada sampel batuan VHD009A/417,5 yang menunjukkan sebaran mineral opak, (d-f) mikrokopi bijih pada urat tipe B, menunjukkan mineral sulfida dalam urat yang membentuk orientasi searah, yang tersusun atas kalkopirit (ccp) dan bornit (bn). Terlihat adanya inklusi emas pada bornit. .... 91
- Gambar 6.28. Fotomikrografi yang menunjukkan tekstur, mineralogi pada urat tipe C, kasus sampel batuan VHD009A/409,8, (a) kenampakan megaskopik pada preparasi poles yang memperlihatkan adanya garis sulfida yang memotong batuan teralterasi potasik, (b-c) analisis mikro-XRF yang menunjukkan distribusi unsur pada urat dan sekitarnya, terlihat Cu-S konsisten berada pada urat tipe B dan diikuti sebaran pada batuan samping, (d-f) mikroskopi bijih pada urat C. .... 92
- Gambar 6.29. Karakteristik urat tipe D dalam sampel batuan VHD005/475,5. (a) bentuk urat D dengan komposisi pirit, serisit dan lempung, (b-c) analisis mikroskopi bijih urat tipe D dengan komposisi pirit masif. .... 93



- Gambar 6.30. Urat epitermal pada HLE (a) *vuggy quartz* diantara alterasi argilik lanjut dan silisifikasi pada kedalaman 530 m. (b) urat kuarsa-*bladed calcite* sebagai bukti kehadiran epitermal sulfidasi rendah pada kedalaman 720 m. .... 93
- Gambar 6.31. Mineral sulfida yang terbentuk pada urat epitermal, (a) pirit pada *vuggy quartz*, (b) diseminasi pirit dan kalkopirit pada daerah sekitar urat kuarsa epitermal ..... 94
- Gambar 6.32. Urat anhidrit yang terbentuk pada sistem porfiri HLE, (a) urat anhidrit masif dan tebal pada VHD099A kedalaman 439-441,5 m yang memotong sistem urat A, M, A family pada diorit. (b) urat anhidrit dan kuarsa yang memotong sistem urat EDM dan M, terlihat arah urat yang paralel. (c) Urat anhidrit -kuarsa pada zona breksi hidrotermal. .... 94
- Gambar 6.33. Mineralogi kuantitatif sampel VHD001/417,5 dari data  $\mu$ -XRF, memperlihatkan urat anhidrit yang berasosiasi dengan gipsium-barit-kuarsa yang juga membawa mineralisasi berupa kalkopirit dan sfalerit..... 95
- Gambar 6.34. Breksi hidrotermal pada sistem HLE,, (a-b) breksi hidrotermal kaya magnetit, (c-d) breksi hidrotermal anhidrit – kuarsa yang membungkus fragmen diorit kuarsa porfiri membentuk tekstur *pseudobands*. .... 96
- Gambar 6.35. Analisis mineralogi pada semen hidrotermal, sampel batuan VHD021/523. (a) Mineralogi kuantitatif dengan AMICS, berdasarkan data mikro-XRF, (b-c) analisis petrografi mineral penyusun semen, yang terdiri dari kuarsa (qz), K Feldspar (kfs), plagioklas (pl), serisit (ser), anhidrit (anh), epidot (ep), karbonat (cb), klorit (chl), mineral lempung (cl), opak (op). .... 97
- Gambar 6.36. Hasil analisis XRD pada sampel VHD006/618,6 yang merupakan breksi hidrotermal yang mengandung anhidrit-kuarsa-serisit (muskovit)-klorit-biotit. .... 98
- Gambar 6.37. Mineral logam pada tahapan magmatik akhir sampai porfiri awal (*late magmatic-pre porphyry stage*). Singkatan : mag (magnetit), bt (biotit), crn (korundum), hbl (hornblenda), ccp (kalkopirit), rt (rutil), qz (kuarsa), bn (bornit) ..... 101
- Gambar 6.38. Mineral logam pada tahapan tengah-porfiri sampai akhir-porfiri (*mid-porphyry - late-porphyry stage*), dan breksi hidrotermal. .... 102
- Gambar 6.39. Mineral logam pada tahapan epitermal (*epithermal stage*)..... 103
- Gambar 7.1. Diagram Harker antara SiO<sub>2</sub> dengan unsur oksida utama lainnya. Garis X adalah SiO<sub>2</sub>, dan titik simbil adalah litologi yang terbagi menjadi andesit (x), diorit (o), dan diorit kuarsa porfiri (+)..... 106
- Gambar 7.2. Tipe batuan beku pada prospek porfiri HLE berdasarkan data oksida utama, (a) Pada diagram TAS plutonik oleh Cox *et al.*, (1979 dalam Wilson, 1989), (b) pada diagram SiO<sub>2</sub>-Ca-K oleh Enrique & Esteve (2020). .... 109

- Gambar 7.3. Tatanan tektonik batuan beku HLE, (a) Pada diagram  $Zr/Al_2O_3$  vs  $TiO_2 / Al_2O_3$  (b) diagram  $Zr/Al_2O_3$  vs  $P_2O / Al_2O_3$  (Muller et al., 1992). (c) Diagram ternari batuan beku pada sistem porfiri HLE pada batuan teralterasi potasik dan propilitik dari data primer penelitian (Irvine & Baragar, 1971; Kuno, 1968 dalam Rollinson, 1993), (d) Diagram diskriminan Nb-Zr-Y-Ti pada batuan vulkanik (Pearce, 1996), yang menunjukkan batuan beku masuk dalam subalkalin dengan jenis basaltik dan andesitik. .... 110
- Gambar 7.4. Karakter magma HLE berdasarkan nilai Sr-Y, (a) sebagian besar termasuk dalam *adakite-like rocks*, plot pada diagram Sr/Y-Y (Richards, et al, 2012), (b) merupakan kelompok batuan beku pembentuk mineralisasi, plot pada diagram Sr/Y-SiO<sub>2</sub> (Cohen et al, 2010) ..... 110
- Gambar 7.5. Diagram *Harker* yang menunjukkan hubungan beberapa indeks alterasi hidrotermal. *Chlorite Carbonate Pyrite Index (CCPI)*, *Muscovite Saturation Index (MSI)*, *Potassic Alteration Index (EPAI)*, *Sericite Index (ISER)*, *Sodium-Sulphide Index (SSI)*, *Plagioclase Index of Alteration (PIA)*. .... 113
- Gambar 7.6. (a) Grafik evaluasi alterasi K-Ca-Na oleh Warren et al (2007) dan (b) hubungan indeks alterasi oleh William & Davidson (2004) ..... 114
- Gambar 7.7. Grafik isocon pada batuan diorit kuarsa porfiri untuk memperlihatkan perubahan unsur pada palterasi potasik terhadap propilitik, (a). perubahan unsur oksida utama, (b) perubahan unsur logam dan unsur jarang. .... 115
- Gambar 8.1. Tipe plagioklas yang berada pada sistem porfiri HLE berdasarkan analisis petrografi pada mineral plagioklas pada diagram penentuan tipe plagioklas oleh Michel Lévy (1894), Glazner (1980), Rittmann (1929) (dalam Raith *et al.*, 2012). tipe magmatik dan hidrotermal yang menunjukkan jenis plagioklas dominan adalah oligoklas – andesin, sedangkan pada tipe hidrotermal umumnya berupa oligoklas-albit. .... 119
- Gambar 8.2. Karakter mineral plagioklas primer pada batuan beku diorit kuarsa porfiri prospek HLE, (a) Oligoklas sebagai kristal *interlocking* bersama kuarsa dan hornblenda, (b) feldspar teralterasi total menjadi serisit, (c) albit – oligoklas sebagai pengisi urat bersama kuarsa dan biotit, (d) plagioklas yg teralterasi pada sebagian bidang kristal menjadi serisit – ilit – karbonat. .... 119
- Gambar 8.3. Diagram ternari (n=29) perbandingan unsur kimia pembentuk feldspar, dan tetap memperlihatkan jenis oligoklas – andesin sebagai tipe yang dominan. Data kimia berdasarkan data kuantitatif menggunakan mikro-XRF dan SEM-EDS pada mineral terpilih. .... 121

- Gambar 8.4. Karakter mineral plagioklas pada batuan diorit kuarsa porfiri di Humpa Leu East, (a) kristal tunggal pada SEM-EDS yang menunjukkan rumus  $\text{Ca}_{0-0,13}\text{Na}_{0,6-1,0}\text{AlSi}_{3,1}\text{O}_{8-12} \pm (\text{H}_2\text{O})_x$ , dengan permukaan rata yang terbungkus mineral sekunder berupa illit-klorit dengan bentuk berserabut atau lembaran halus, (b) pemetaan unsur Al-K-Ca pada sampel VHD001/090. .... 123
- Gambar 8.5. Karakter perubahan tipe mineral plagioklas dan asosiasi mineral lainnya yang terbentuk pada batuan diorit kuarsa porfiri di Humpa Leu East, pada sampel diorit kuarsa porfiri dengan alterasi ringan-menengah pada sampel VHD001/235..... 123
- Gambar 8.6. Karakter sebaran kuarsa pada sampel VHD001/235 propek HLE, (a) *elemental mapping* dari mikro-XRF untuk sebaran Si, menunjukkan silika mengisi diantara butiran mineral lainnya, (b) pengamatan petrografi pada XPL, menunjukkan tipe kuarsa sebagai diseminasi diantara feldspar dan sebagai urat, (c) petrografi pada posisi XPL-Gypsum, untuk memperjelas warna interferensi dari kuarsa. .... 125
- Gambar 8.7. Bentuk morfologi kuarsa pada pengamatan SEM-EDS, (a) sampel VHD009A/341,3. kristal kuarsa (qz) bersama dengan magnetit (mag) sebagai pengisi urat halus dan diseminasi pada batuan sampling, (b) pada sampel VHD009A/518,8. Terlihat kuarsa sebagai komponen mineral dalam urat. *kuarsa (qz), magnetit (mag)*. .... 125
- Gambar 8.8. Bentuk kristalografi kuarsa berdasarkan analisis XRD dan interpretasi dengan menggunakan *peak* dan interpretasi berdasarkan referensi *Crystallography Open Database* (Vaitkus *et al.*, 2021; Gražulis *et al.*, 2012). .... 126
- Gambar 8.9. Fotomikrograf mineral biotit pada sampel VHD009A/518,8, yang merupakan batuan teralterasi potasik. (a) pengamatan petrografi pada PPL, mineral biotit berbentuk tabular yang teralterasi menjadi klorit dan serisit, (b) pengamatan petrografi pada PPL, kristal biotit euhedra pada posisi tegaklurus basal [001], dengan karakteristik berwarna hijau kecoklatan, (c) pengamatan petrografi pada XPL, biotit sekunder yang berasosiasi dengan kuarsa, plagioklas dan mineral logam..... 127
- Gambar 8.10. Analisis SEM-EDS pada sampel VHD021/452, yang menunjukkan karakteristik morfologi dan kimia biotit pada batuan diorit kuarsa porfiri teralterasi potasik, (a) Biotit (bt) primer (magmatik) dengan bentuk tabular-berlembar jelas, (b) Biotit teralterasi menjadi biotit sekunder dengan bentuk berlembar dan serabut halus, (c) biotit dan hidrous-biotit yang bersama dengan mineral alterasi hematit (hem) dan smektit-ilit (sm-il)..... 128
- Gambar 8.11. Fotomikrograf pada mineral epidot dan klorit dalam batuan. .... 129

- Gambar 8.12. Pengamatan dan analisis unsur pada mineral epidot pada sampel VHD009A/571,5. (a-b) sebaran mineral epidot-klorit pada fragmen batuan di urat kuarsa, (c) fragmen batuan dengan komposisi epidot dominan, (d) sebaran unsur Ca-Fe-Al pada sampel batuan. .... 130
- Gambar 8.13. Kehadiran anhidrit dan gipsum pada batuan, (a-b) Pengamatan petrografi posisi XPL pada sampel VHD009A/518,8. Terlihat anhidrit berukuran 10 -100  $\mu\text{m}$  diantara kristal kuarsa dalam urat tipe A, (c-d) petrografi posisi XPL pada sampel VHD013/643,8, menunjukkan sebaran anhidrit dengan bentuk prismatic dan gipsum dengan bentuk serabut yang menggantikan anhidrit. .... 132
- Gambar 8.14. Sebaran unsur kalsium (Ca) pembentuk mineral anhidrit dan gipsum pada urat dan, (a) sebaran Ca-S pada urat A dan diseminasi batuan, (b) anhidrit sebagai urat transisi anhidrit-gipsum-karbonat serta diseminasi di batuan samping, pada VHD009A/717, (c) urat anhidrit-gipsum dan asosiasi dengan mineralisasi Cu, pada VHD013/1000,5. 132
- Gambar 8.15. Mineral anhidrit dan gipsum pada analisis SEM-EDS pada sampel VHD013/643,8, (a) pengamatan pada batuan samping, sebaran anhidrit (anh) dan gipsum (gp); total Si-Al 1,1 wt%. Terdapat juga mineral jarang seperti zirkon (zr) dan kelompok fosfat (p), (b) pengamatan pada urat masif anhidrit, yang memperlihatkan perbedaan habit anhidrit (anh) dan gipsum (gp). (c) anhidrit di antara mineral alterasi lainnya. .... 133
- Gambar 8.16. Hasil analisis XRD pada sampel urat masif menunjukkan adanya nilai 2 theta, index miller (bidang) pada mineral anhidrit (anh) dan gipsum (gp). Bentuk kristalografi anhidrit ..... 134
- Gambar 8.17. Mineral kalsit pada sistem porfiri HLE, (a) sebagai urat pembawa mineral opak, (b) sebagai pengganti mineral. (c) sebagai urat bersama anhidrit. .... 135
- Gambar 8.18. Analisis kimia per titik pada sampel urat kalsit, (a) analisis pemetaan unsur pada mikro-XRF dengan kalsit terlihat berwarna merah, dan (b) analisis titik pada SEM EDS pada kristal kalsit berukuran 20 mikron. .... 135
- Gambar 8.19. (a) Analisis mineralogi kualitatif sebaran mineral magnetit-hematit, (b) sebaran unsur Fe, (c) lingkaran area analisis kandungan kimia .... 136
- Gambar 8.20. Analisis SEM-EDS mineral magnetit, (a) pada sampel VHD 001/235, menunjukan kimia unsur untuk Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dan (b) pada sampel VHD021/452.3 ..... 136
- Gambar 8.21. Mineral kovelit – bornit dan kalkopirit, (a) fotomikrograf mineral kovelit euhedra berukuran 50 mikron, (b) kalkopirit-kovelit-bornit (c) bornit – kalkopirit – magnetit, (d) SEM-EDS mineral bornit, (e) SEM-EDS bornit yang tumbuh bersama biotit, (f) SEM-EDS mineral bornit dan kovelit. .... 137

Gambar 8.22. Mineral kalkopirit dan asosiasinya, (a) kalkopirit menggantikan hornblenda, (b) kalkopirit dan magnetit serta bornit, (c) kalkopirit dan hematit pada urat M, (d) kalkopirit dan pirit pada urat D atau C, (e-f) kalkopirit dan sfalerit pada tahap terakhir, (g-i) SEM-EDS mineral kalkopirit. ....	138
Gambar 8.23. (a-b) Analisis SEM-EDS pada kristal pirit, (c) sebaran unsur Fe dan S kelompok mineral pirit-magnetit, serta titik titik pengamatan kimia mineral.....	140
Gamba 8.24. Emas natif pada analisis SEM-EDS sampel VHD021/452,3 dengan kandungan Au sebesar 81,48 % dalam mineral. ....	141
Gambar 8.25. Karakter sfalerit pada sampel VHD021/523 pada analisis mikros-XRF dan mikroskopi bijih. (a) sebaran unsur Cu-Zn dan posisi titik uji kimia mineral pada Tabel 8.10, (b) hasil analisis mineralogi kuantitatif dengan AMICS, menunjukan sebaran mineral sfalerit-kalkopirit, (c) kenampakan mineral sfalerit (sph) yang berukuran sangat halus. ....	142
Gambar 8.26. Karakter sfalerit pada sampel VHD009A/409,8 pada analisis mikros-XRF dan mikroskopi bijih. (a) sebaran unsur Zn dan posisi titik uji kimia mineral pada tabel 8.10, (b) hasil analisis mineralogi kuantitatif dengan AMICS, menunjukan sebaran mineral sfalerit-kalkopirit-pirit, (c) kenampakan asosiasi mineral sfalerit (sph) - kalkopirit (ccp) – pirit (py).....	142
Gambar 9.1. Tipe trail yang teramati pada sampel batuan urat kuarsa, (a) trail homogen yang berupa penajajaran inklusi monofase dengan vapor densitas rendah (CO <sub>2</sub> ) pada sampel batuan VHD009A/463,5, (b) trail homogen yang terdiri dari inklusi multifase pada sampel batuan VHD009/463,5 (c) campuran monofase-bifase-multifase dalam kompleks trail pada kristal kuarsa sampel batuan VHD013/1097,6. ...	145
Gambar 9.2. Tipe inklusi yang diamati, berupa inklusi bebas dalam kristal dan pada trail tertentu, (a). inklusi primer dan tersebar acak pada kristal kuarsa pada sampel batuan VHD 013/929,5, (b) kelompok inklusi pada trail memotong kuarsa dan tersebar acak pada VHD 009A/522,4, (c) trail inklusi pada batas kristal dan searah retakan VHD 009A/467,2, (d) inklusi searah pertumbuhan anhidrit dan memotong anhidrit pada sampel batuan VHD 009A/467,8, (e) bentuk gelembung yang tidak beraturan pada monofase vapor densitas rendah pada VHD 009A/518,8, (f) bentuk membulat – lonjong yang umum terbentuk pada tipe polifase pada VHD 009A/518,8, (g) bentuk kristal negatif pada anhidrit berupa vapor densitas tinggi pada VHD009A/467,8, (h) bentuk kristal negatif tipe polifase pada kuarsa sampel batuan VHD 009A/409,8, (i) bentuk kristal negatif pada tipe monofase dengan vapor densitas rendah dalam kristal kuarsa pada VHD 009A/409,8. ....	146



Gambar 9.3.	Tipe-tipe inklusi fluida pada penelitian porfiri HLE (modifikasi dari Shepherd et al, 1985).....	147
Gambar 9.4.	Tipe inklusi monofase – bifase pada sampel batuan urat kuarsa tipe A, sampel batuan VHD009A/529,9. (a) Tipe 1, yaitu monofase likuid, (b) Tipe 3, yaitu bifase dengan likuid < vapour, (c). tipe 2, berupa monofase komposisi vapor, (d-f) tipe 7, berupa likuid – solid opak dan beberapa terlihat sebagai hematit. ....	148
Gambar 9.5.	Tipe inklusi multifase tipe 5 yaitu L-V-S, yang terbentuk pada sistem porfiri HLE.....	148
Gambar 9.6.	Grafik sebaran data temperatur homogenitas (Th), temperatur lebur (Tm), dan nilai salinitas wt% NaCl equivalen. (a) Histogram frekuensi data Th pada sampel batuan porfiri HLE, n= 181. (b) Histogram frekuensi data salinitas pada sampel batuan porfiri HLE, n=181. (c) Histogram frekuensi data temperatur lebur (Tm) halit pada sampel batuan porfiri HLE, n=17. (d) Histogram frekuensi data temperatur lebur (Tm) silvit pada sampel batuan porfiri HLE, n=20. (e) Grafik Th dan salinitas berdasarkan gabungan data Tm <sub>halit</sub> dan Tm <sub>ice</sub> , yang memperlihatkan sebaran korelasi positif dan terdapat dua klaster, (f) Grafik Th dan salinitas memperlihatkan sebaran data inklusi pada perhitungan dengan Tm <sub>ice</sub> . ....	150
Gambar 9.7.	(a) Urat kuarsa dengan tekstur <i>pseudobands</i> yang banyak mengandung inklusi fluida, pada sampel batuan VHD009A/409,8. (b) petrografi inklusi fluida pada salah satu kristal kuarsa. yang mempunyai karakteristik dominan monofase (vapor <i>trail</i> ) sangat banyak, serta diikuti inklusi bifase (LV) dan polifase seperti LVS <sub>h</sub> S <sub>op</sub> [L(likuid) V(vapor) S <sub>h</sub> (solidus halit), S <sub>op</sub> (solidus opak/sulfida)].....	151
Gambar 9.8.	Pengamatan inklusi monofase pada sampel batuan VHD009A/409,8_IB dari gambar 5.2. (a) Karakter inklusi fluida kaya vapor densitas tinggi, bentukan inklusi pada suhu -4,8°C. (b) posisi 1, kondisi fluida pada suhu -79,9°C, (c) kondisi pemisahan pada suhu -160°C dari gambar b. ....	151
Gambar 9.9.	Histogram sebaran nilai temperatur homogenitas dan salinitas pada pengukuran inklusi fluida tipe bifase (LV). ....	152
Gambar 9.10.	Histogram sebaran nilai temperatur homogenitas dan salinitas pada pengukuran inklusi fluida tipe multifase (LVS).....	154
Gambar 9.11.	Tabel perbandingan antara temperatur homogenitas (Th) dan salinitas pada sampel batuan inklusi fluida prospek Humpa Leu East, berdasarkan tipe uratnya. Terlihat adanya pengelompokan data yang kemudian diinterpretasi sebagai sebaran suhu pembentukan mineralisasi Porfiri tembaga-emas Humpa Leu East. Sistem tumpang tindih pada mineralisasi yang terbentuk antara suhu tinggi (>550°C) dan salinitas tinggi (>30 wt% NaCl eq.) dan suhu menengah. ....	155



- Gambar 9.12. Nilai suhu dan salinitas terhadap tekstur urat secara megaskopik, terlihat tekstur urat A mempunyai variasi nilai cukup panjang, sedangkan urat tipe B memiliki kecenderungan suhu tinggi bersama dengan EDM. .... 155
- Gambar 9.13. Karakter urat kuarsa pada tahap awal, sampel VHD009A/518,8 yang diinterpretasi sebagai mineralisasi tahap awal, (a) megaskopik sampel batuan dan posisi pengamatan untuk mewakili beberapa fase urat, (b-i) penampakan dan jenis urat yang teramati. Pengamatan beberapa inklusi, yang menunjukkan percampuran temperatur dari 360-380°C menuju 260-320°C diikuti salinitas medium 15-20 wt% NaCl eq menuju 5-10 wt% NaCl eq. Data inklusi dengan temperatur >550°C tidak dapat dievaluasi. .... 156
- Gambar 9.14. Karakter urat kuarsa tipe A<sub>psb</sub> dengan tekstur paralel, sampel VHD009A/467,8 yang diinterpretasi sebagai mineralisasi tahap awal, (a) megaskopik sampel batuan inklusi fluida dan posisi pengamatan untuk mewakili beberapa fase urat, (b-f) penampakan dan jenis urat yang teramati, baik pada urat anhidrit atau urat kuarsa-anhidrit. .... 158
- Gambar 9.15. Anhidrit pada sistem porfiri HLE, (a) Anhidrit-gypsum sebagai urat pada fase akhir mineralisasi, sampel batuan VHD006/615,6. Kisaran suhu terbentuk adalah 109,9°C dengan 4,6 wt% NaCl eq. (b) Anhidrit-kuarsa sebagai semen dalam breksi hidrotermal pada sampel batuan VHD006/619,3. Kisaran suhu terbentuk adalah 247,3 - 254,7°C dan salinitas 6,4 - 6,9 wt% NaCl eq. .... 160
- Gambar 9.16. Sebaran data urat anhidrit, baik bersama kuarsa dan juga sebagai urat tunggal. Terlihat mineralisasi terbentuk pada 4 tahapan anhidrit, dimulai pada suhu 320 – 109,9°C dan salinitas dari 40,3 – 2,4 wt% NaCl eq..... 160
- Gambar 9.17. Kompilasi hasil pengukuran inklusi fluida prospek HLE. pada tabel hubungan Th-salinitas oleh Wilkinson (2001), yang menunjukkan adanya sistem mineralisasi porfiri dan terjadinya *overprinting* oleh epitermal..... 161
- Gambar 9.18. Diagram kedalaman relatif pada diagram Haas (1971) dan Fournier (1987). Terlihat adanya 3 kelompok (populasi) data yang menggambarkan perbedaan tekanan atau kedalaman pembentukan inklusi..... 162
- Gambar 10.1. Foto megaskopik sampel batuan pada perwakilan tipe urat fase awal porfiri yang dilakukan analisis isotop  $\delta^{34}\text{S}$  ..... 163
- Gambar 10.2. Butiran sulfida halus yang dipisahkan secara manual, (a) kumpulan butiran hasil pemilahan mineral berat dan dipisahkan dari magnetit, (b-c) pengumpulan dan pemilahan sulfida dengan mikroskop binokuler, (d) kumpulan sampel sulfida terpilih dengan total berat 0,5 – 2 gram..... 164

Gambar 10.3. Histogram hasil pengukuran isotop $\delta^{34}\text{S}$ . (a) histogram sebaran data keseluruhan sampel, (b) histogram sebaran data khusus sampel dengan urat A. ....	165
Gambar 10.4. Sebaran sampel dan hasil analisis isotop sulfur pada sistem porfiri Humpa Leu East. ....	165
Gambar 10.5. Plot nilai isotop sulfur berdasarkan asosiasi sampel (tipe urat), (a) terhadap elevasi pengambilan sampel, (b) terhadap kadar tembaga dalam sampel keseluruhan. ....	166
Gambar 10.6. Posisi nilai isotop sulfur Humpa Leu East dibandingkan terhadap deposit porfiri lainnya (Wilson et al, 2007) ....	167
Gambar 11.1. Interpretasi evolusi geologi dan mineralisasi porfiri HLE. ....	170
Gambar 11.2. Pemetaan unsur dengan mikro-XRF, memperlihatkan pola sebaran tembaga (merah) akibat kehadiran dari urat tipe A, (a) Diseminasi pada batuan sampling yang dominan, akibat kehadiran A1 (urat kuarsa tipis). Sampel batuan ini menunjukkan kadar batuan 0,39 % Cu, 0,19 ppm Au, (b) pola sebaran pada urat A <sub>2</sub> dan Apsb, (c) karakteristik urat A <sub>3</sub> dengan tembaga setempat dan diseminasi yang tidak dominan, terdapat juga kumpulan tembaga akibat kehadiran urat EDM, (d) pola sebaran pada Apsb dan A <sub>2</sub> . Sampel batuan ini menunjukkan kadar batuan 0,59% Cu, 1,4 ppm Au. ....	174
Gambar 11.3. Pemetaan unsur dengan mikro-XRF, memperlihatkan pola sebaran tembaga (merah) akibat urat tahap menengah - akhir, (a) pada urat M <sub>2</sub> , menunjukkan sebaran tembaga didalam urat, di antara kristal magnetit, (b) pada tipe B, terlihat tembaga tersebar pada tengah urat diantara kristal, (c) pada tipe C, sebaran tembaga didalam urat dominan, serta diikuti sebaran pada kontak batuan sampling, (d-f) pada batuan breksi hidrotermal kaya anhidrit-kuarsa-karbonat, terlihat sebaran mineraliasi tembaga dalam semen yang acak. ....	174

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1.	Ringkasan hasil eksplorasi logam dan geotermal pada daerah Hu'u. ....	5
Tabel 1.2.	Ringkasan hasil penelitian kegeologian umum pada daerah Hu'u. ....	6
Tabel 2.1.	Geokronologi batuan intrusi di Distrik Batu Hijau dan luasan keterdapatannya (Garwin, 2012).....	13
Tabel 2.2.	Karakteristik tipe urat, alterasi, dan sulfida pada tiap tahapan mineralisasi tipe porfiri di Hu'u (kompilasi dari Maryono <i>et al.</i> , 2018). ....	18
Tabel 3.1.	Sekuen alterasi hidrotermal dan mineralisasi pada deposit porfiri Batu Hijau (Idrus <i>et al.</i> , 2007) .....	25
Tabel 3.2.	Pembagian sekuen dan tipe urat pada tipe porfiri dan hubungannya dengan alterasi hidrotermal (kompilasi Gustafson <i>and</i> Hunt., 1975; Corbett and Leach, 1998; Masterman <i>et al.</i> , 2005; Sillitoe, 2010; Azadi <i>et al.</i> , 2014; Galanopoulos <i>et al.</i> , 2018).....	30
Tabel 4.1.	Tipe data yang diperoleh dalam penelitian .....	41
Tabel 4.2.	Jumlah sampel preparasi dalam penelitian ini. ....	42
Tabel 4.3.	Jenis data dan klasifikasi atau pendekatan model yang digunakan dalam penelitian. ....	47
Tabel 6.1.	Tipe mineral biotit berdasarkan analisis XRD pada batuan teralterasi potasik. ....	72
Tabel 6.2.	Hasil analisis XRD untuk sampel dengan alterasi propilitik .....	77
Tabel 6.3.	Hasil analisis XRD pada batuan teralterasi argilik dan agilik lanjut, dan kadar tembaga berdasarkan analisis ICP-OES. ....	82
Tabel 6.4.	Paragenesa mineral pada sistem porfiri Humpa Leu East .....	104
Tabel 7.1.	Korelasi unsur oksida utama pada batuan diorit dan diorit kuarsa porfiri prospek HLE .....	107
Tabel 7.2.	Parameter perhitungan indeks alterasi hidrotermal yang digunakan dan nilai yang diperoleh .....	111
Tabel 7.3.	Perhitungan <i>isocon</i> dan perubahan massa konsentrasi unsur dari propilitik menuju potasik .....	117
Tabel 9.1.	Komposisi kimia (dalam wt%) pada mineral plagioklas dan feldspar dengan menggunakan SEM-EDS dan $\mu$ -XRF.....	120
Tabel 8.2.	Kandungan kimia pada mineral kuarsa prospek HLE dan unsur pengotornya.....	125
Tabel 8.3.	Analisis SEM-EDS pada mineral biotit (pada Gambar 8.13), satuan dalam wt%.....	128
Tabel 8.4.	Analisis kimia mineral epidot, klorit dan illit .....	130
Tabel 8.6.	Kandungan unsur kalsit sebagai urat dalam sampel VHD009A/717 ..	135
Tabel 8.7.	Hasil analisis mikro-XRF pada magnetit-hematit sampel VHD009A/518,8 .....	136
Tabel 8.8.	Hasil analisis unsur mineral pirit, dalam wt% .....	140

Tabel 9.1.	Terminologi dan parameter yang digunakan dalam petrografi inklusi fluida .....	144
Tabel 9.2.	Persamaan yang digunakan untuk perhitungan salinitas, densitas, tekanan pada fluida. ....	149
Tabel 9.3.	Hasil pengukuran mikrotermometri pada 27 inklusi polifase dalam dari 84 data pengukuran. ....	153
Tabel 9.4.	Deskripsi pengamatan inklusi fluida pada sampel batuan VHD009A/518,8 .....	157
Tabel 9.5.	Pengukuran mikrotermometri pada sampel batuan VHD009A/518,8.....	157
Tabel 9.6.	Deskripsi petrografi inklusi fluida pada sampel batuan VHD009A/467,8 .....	159
Tabel 9.7.	Pengukuran dan perhitungan mikrotermometri pada sampel batuan VHD009A/467,8. ....	159
Tabel 10.1.	Daftar sampel isotop $\delta^{34}\text{S}$ .....	164
Tabel 11.1.	Distribusi kadar Cu berdasarkan tipe urat .....	173
Tabel 12.1.	Ringkasan karakteristik litologi, alterasi, dan mineralisasi HLE.....	182