



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS POTENSI ENDAPAN SKARN BERDASARKAN ZONA DAN
KARAKTERISTIK BATUAN KALK SILIKAT PADA ENDAPAN PORFIRI
CU-AU BATU HIJAU, SUMBAWA, NUSA TENGGARA BARAT**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan Pendidikan Sarjana
Program Strata-1 pada Departemen Geologi, Fakultas Teknik,
Universitas Diponegoro**

**RACHDIAN EKO SUPRAPTO
NIM. 21100112120005**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI**

**SEMARANG
JANUARI 2017**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**ANALISIS POTENSI ENDAPAN SKARN BERDASARKAN ZONA DAN
KARAKTERISTIK BATUAN KALK SILIKAT PADA ENDAPAN PORFIRI
CU-AU BATU HIJAU, SUMBAWA, NUSA TENGGARA BARAT**

Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan Pendidikan Sarjana
Program Strata-1 pada Departemen Teknik Geologi

Fakultas Teknik

Universitas Diponegoro

Oleh:

RACHDIAN EKO SUPRAPTO

NIM. 21100112120005

Telah Disetujui dan Disahkan pada

Hari/Tanggal: *Selasa, 17 Januari 2017*

Menyetujui,

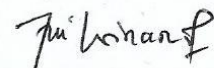
Dosen Pembimbing I



Dian Agus Widiarso, ST, MT

NIP. 19760812 201021 002

Dosen Pembimbing II

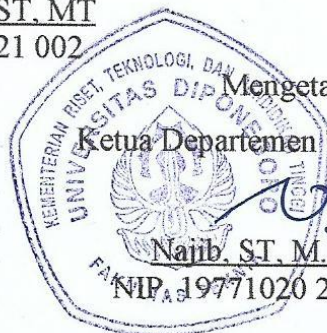


Tri Winarno, ST, M.Eng

NIP. 19790917 2008121 004

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Geologi



Najib, ST, M.Eng, Ph.D


NIP. 19771020 200501 1 001

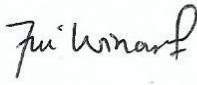
HALAMAN PENGESAHAN


Skripsi ini diajukan oleh :
NAMA : RACHDIAN EKO SUPRAPTO
NIM : 21100112120005
Jurusan/Program Studi : TEKNIK GEOLOGI
Judul Skripsi : Analisis Potensi Endapan Skarn Berdasarkan Zona
Dan Karakteristik Batuan Kalk Silikat Pada Endapan
Porfiri Cu-Au Batu Hijau, Sumbawa, Nusa Tenggara
Barat

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik, pada Jurusan/Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I : Dian Agus Widiarso, ST, MT ()
NIP. 19760812 201021 002

Pembimbing II : Tri Winarno, ST, M.Eng ()
NIP. 19790917 2008121 004

Penguji : Yoga Aribowo, ST, MT ()
NIP. 19790617 2005011 003

Semarang, Januari 2017
Jurusan/Departemen
Ketua

Najib, ST, M.Eng, Ph.D
NIP. 19771020 200501 1 001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri dan semua sumber baik yang telah dikutip maupun yang telah dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

NAMA : RACHDIAN EKO SUPRAPTO

NIM : 21100112120005

Tanda Tangan :



Tanggal : Januari 2017

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : RACHDIAN EKO SUPRAPTO
NIM : 21100112120005
Jurusan/Program Studi : TEKNIK GEOLOGI
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

ANALISIS POTENSI ENDAPAN SKARN BERDASARKAN ZONA DAN KARAKTERISTIK BATUAN KALK SILIKAT PADA ENDAPAN PORFIRI CU-AU BATU HIJAU, SUMBAWA, NUSA TENGGARA BARAT

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : Januari 2017

Yang menyatakan



(Rachdian Eko Suprpto)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Kami perintahkan kepada manusia supaya berbuat baik kepada dua orang ibu bapaknya, ibunya mengandungnya dengan susah payah dan melahirkannya dengan susah payah (pula). Mengandungnya sampai menyapihnya adalah tiga puluh bulan, sehingga apabila dia telah dewasa dan umurnya sampai empat puluh tahun ia berdo'a:

"Ya Tuhanku, tunjukilah aku untuk mensyukuri ni'mat Engkau yang telah Engkau berikan kepadaku dan kepada ibu bapakku dan supaya aku dapat berbuat amal yang saleh yang Engkau ridhai; berilah kebaikan kepadaku dengan (memberi kebaikan) kepada anak cucuku. Sesungguhnya aku bertaubat kepada Engkau dan sesungguhnya aku termasuk orang-orang yang berserah diri".– Quran (46:15-20)

It doesn't matter how many resources did you have, If you don't know to use it, It will never be enough (Anonim, 2011)

Jika suatu saat sudah jadi orang sukses, jangan lupain saudara-saudara yang sudah saling membantu selama ini (Waluyo, 2012)

Stop thinking so hard about everything, stop over analyzing. Just go. Just do. If it feels right, just go with the flow. If it feels wrong, don't think about it anymore and walk away (Anonim, 2015)

Kedepannya kita memasuki era pencarian sumberdaya migas yang semakin sulit. Dibutuhkan pemahaman regional yang detail khususnya konsep hybrid (pertampalan berbagai penyebab) dalam evolusi cekungan di Indonesia, kitapun harus siap dengan konsep dan pola pikir geologi modern yang akan semakin banyak bermunculan. Selain itu, kemampuan kita dalam menggunakan teknologi adalah kunci penemuan migas setelah kita memahami konsep.

Geologi tidak selalu berarti menemukan, tapi memahami. Karena hidup adalah stratigrafi. Jadi, jangan berhenti belajar, masa depan kita adalah hari ini (Muslih, 2016)

Teknik!! Jaya!!! Teknik!! Geologi!!! Geologi!! Tangguh, Bravo, Geologi !!!

KATA PENGANTAR

Tugas akhir berjudul “**Analisis Potensi Endapan Skarn Berdasarkan Zona Dan Karakteristik Batuan Kalk Silikat Pada Endapan Porfiri Cu-Au Batu Hijau, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat**” dilaksanakan sebagai salah satu mata kuliah wajib kurikulum program strata-1 (S1) pada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro. Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai persyaratan untuk mencapai kelulusan strata-1 (S1) di Departemen Teknik Geologi Universitas Diponegoro.

Tugas akhir ini merupakan penelitian mengenai studi batuan kalk silikat dan potensi endapan skarn pada Sistem Endapan Porfiri Batu Hijau, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Hasil dari penelitian ini menunjukkan keterdapatan batuan kalk silikat di Batu Hijau menjadi pokok bahasan ilmiah yang menarik karena memiliki karakteristik khusus dan memberikan fakta hubungan endapan porfiri dengan keterdapatan endapan skarn. PT Newmont Nusa Tenggara (PT NNT), Sumbawa, Nusa Tenggara Barat sebagai lokasi penelitian adalah salah satu perusahaan tambang terbesar di Indonesia, terkenal sebagai penghasil logam utama berupa tembaga (Cu) dan emas (Au) dengan unsur logam ekonomis lain dalam skala minor. PT Newmont Nusa Tenggara (PT NNT) semenjak akhir 2016 sudah berganti nama menjadi PT Amman Mineral Nusa Tenggara (PT AMNT). Melalui tugas akhir ini diharapkan pengalaman, pemahaman dan pengetahuan yang didapat akan menjadi modal berharga untuk perkembangan kedepan khususnya bagi penulis, baik dari sisi keilmuan geologi ataupun pengalaman kegiatan dan proses kerja di dunia tambang. Tak ada gading yang tak retak, atas kekurangan ataupun kebaikan dalam laporan ini diharapkan kritik dan saran yang membangun. Semoga karya ilmiah ini dapat digunakan dan bermanfaat bagi pembaca. Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih.

Semarang, Januari 2017

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kekuatan dalam iman, sehat dan berkah bagi penulis. Tidak lupa shalawat serta salam untuk Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat dan para pengikut yang kelak mendapat syafaatnya, semoga penulis termasuk di dalamnya, Aamiin. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini tidak akan terlaksana tanpa adanya dukungan, kritik dan saran yang sangat membantu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Orangtua, kedua adik dan keluarga besar tercinta. Roso Waluyo (Bapak), Sukinah (Mama), Rossiana Kiki Setiawati, Raysa Galih Putra yang selalu memberikan perjuangan, semangat dan inspirasi dalam hidup penulis.
2. Pemerintah Indonesia, Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi serta pengelola Bidik Misi Universitas Diponegoro yang telah memberikan keringanan pendanaan kuliah selama menempuh pendidikan S1.
3. Bapak Dian Agus Widiarso, ST, MT selaku Dosen pembimbing I yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan dan kritik dalam menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Tri Winarno, ST, M.Eng selaku Dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak bimbingan, arahan dan kritik dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Bapak Yoga Aribowo, ST, MT selaku Dosen penguji sidang yang telah memberikan bimbingan, kritik dan saran selama sidang pendaratan tugas akhir dan selanjutnya tahap perbaikan tugas akhir.
6. Bapak Najib, ST, M.Eng.,Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Geologi Universitas Diponegoro.
7. Bapak Ir. Hadi Nugroho, Dipl. EGS., M.T selaku Ketua Program Studi Teknik Geologi Universitas Diponegoro 2012-2016 dan jajarannya yang sudah memberikan kritik, saran, persetujuan dan bantuan dalam tugas akhir.
8. Bapak Ir. Wahyu Krisna Hidajat, M.T selaku dosen wali yang sudah memberikan bimbingan dalam perkuliahan dari tahap orientasi awal kuliah hingga akhir kuliah khususnya tugas akhir.
9. Bapak Eddy Priowasono (*General Supervisor Mine Geology* sekaligus pembimbing penelitian), Bapak Agung Naruputro (*Superintendent Mine Geology Department*) serta *Geologist*, karyawan dan *Coreshed Team* PT. NNT yang telah memberikan bimbingan, pertolongan dan pengalaman hidup selama menjalankan penelitian tugas akhir dan kehidupan di Sumbawa.
10. Semua pihak yang telah membantu penulis selama ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semarang, Januari 2017

Penulis

ANALISIS POTENSI ENDAPAN SKARN BERDASARKAN ZONA DAN KARAKTERISTIK BATUAN KALK SILIKAT PADA ENDAPAN PORFIRI CU-AU BATU HIJAU, SUMBAWA, NUSA TENGGARA BARAT

SARI

Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya mineral ekonomis yang sangat melimpah, contohnya adalah Batu Hijau yang dikelola oleh PT Newmont Nusa Tenggara (NNT). Produk Cu-Au Batu Hijau terkenal berasal dari endapan porfiri, sementara endapan skarn terkenal berasosiasi dengan mayoritas batugamping. Fakta lapangan menjelaskan bahwa Batu Hijau memiliki indikasi keterdapatan endapan skarn pada sistem endapan porfiri dengan mayoritas litologi vulkaniklastik dan minoritas batugamping. Penelitian bertujuan untuk mengetahui karakteristik endapan porfiri, batuan kalk silikat, tahap skarnifikasi, korelasi kedua sistem endapan dan potensi endapan skarn.

Metode dalam penelitian antara lain analisis data sekunder fisikokimia, deskripsi batuan kalk silikat (pendataan batuan inti, petrografi dan mineragrafi), analisis tahapan skarnifikasi korelasi batuan kalk silikat dengan endapan porfiri dan analisis jenis endapan skarn serta kadar Cu, Au dan Ag batuan kalk silikat.

Parameter sistem endapan porfiri area penelitian terdiri dari asosiasi litologi breksi andesit vulkanik (Vxa), diorit kuarsa (Qd), tonalit intermediet (It), tonalit muda (Yt) dan batuan kalk silikat (KS). Zona alterasi yaitu zona potasik, zona filik, zona skarn, zona profilitik dan zona argilik. Mineralisasi area penelitian dicirikan mineral sulfida tembaga (bornit, kalkopirit, pirit) dan oksida (magnetit, hematit) dengan pola *disseminated, vein/veinlet* dan *stockwork*. Batuan kalk silikat area penelitian terdiri dari variasi hornfels dan skarn dengan komposisi mineral kalk silikat anhidrat, hidrat, mineral sulfida dan mineral oksida. Komposisi oksida utama batuan kalk silikat dikontrol oleh proses dan tahapan skarnifikasi. Proses skarnifikasi dibagi menjadi tahap progradasi dan retrogradasi dengan spesifikasi 4 subtahap. Pola permodelan permukaan batuan kalk silikat berbentuk tapal kuda atau sirkular asimetris dengan dominasi arah SW area penelitian. Batuan kalk silikat di bawah permukaan tersebar acak dan setempat dikontrol zona lemah dan komposisi breksi andesit vulkanik (*protolith*). Model tentatif fasies kalk silikat skarn terbagi menjadi zona proksimal piroksen-garnet, zona distal piroksen-garnet-epidot, zona pengayaan mineral sulfida-oksida-wollastonit, zona hornfels hingga breksi andesit vulkanik. Secara spasial dan genetik, batuan kalk silikat memiliki korelasi kuat dengan endapan porfiri. Batuan kalk silikat area penelitian diklasifikasikan sebagai eksoskarn kalsik berjenis endapan skarn tembaga (Cu). Potensi ekonomis batuan kalk silikat memiliki potensi tinggi berdasarkan persentase kadar berkategori tinggi tetapi berpotensi rendah berdasar parameter spasial dan perbandingan dengan endapan skarn yang terbukti ekonomis.

Kata Kunci: Endapan Porfiri Batu Hijau, Batuan Kalk Silikat, Endapan Skarn Tembaga, Eksoskarn Kalsik

ABSTRACT

Indonesia is a country with potential for economic mineral resources are very abundant, for example is Batu Hijau that managed by PT Newmont Nusa Tenggara (NNT). Batu Hijau known as Cu-Au products from the porphyry deposit system while skarn deposit famous associated with the majority of limestones. The fact in the field, porphyry deposit of Batu Hijau has skarn deposit indication with the majority vulcaniclastic and minority limestone. This study aims to investigate the characteristics of porphyry deposit, calc silicate rock, skarnification stage, correlation of porphyry deposit with calc silicate rock and then the potential from skarn deposit.

The methodology used in the research are analysis of secondary physicochemical data, description of calc silicate rock (relogging, petrographic and mineragraphy), analysis of scarnification stages, analysis of spatial and genetic correlation from skarn with porphyry, analysis of skarn deposit type and calc silicate potential.

Porphyry deposit parameters in study area consists of andesitic volcanic breccia (Vxa), quartz diorite (Qd), intermediate tonalite (It), young tonalite (Yt) and calc silicate roks (KS). Alteration zone divided into potassic zone, phyllic zone, skarn zone, prophylic zone and argillic zone. Mineralization in the study area characterized by copper sulfide minerals (bornite, chalcopyrite, pyrite) with disseminated, vein/veinlet and stockwork pattern. Calc silicate rocks of the study area consisted of variations hornfels and skarn with anhydrous and hydrous calc silicate minerals, sulphide and oxide mineral composition and varios major oxide depend on scarnification process. Scarnification stage divided into progradation and retrogradation stages with 4 substages. The modeling pattern of calc silicate on the surface show a horseshoe shape or asimetric circular with the spread of the majority towards the SW research area. Based on the modeling interval below the surface, calc silicate rock scattered randomly and local structuraly control with intervals carbonate rich andesitic volcanic breccias. Calc silicate facies tentative Model divided into proximal pyroxene-garnet zone, distal pyroxene-garnet-epidote zone, enrichment of sulphide-oxide-wollastonite zone, hornfels zone up to structural and andesitic volcanic breccia zone. Model tentative calc silicate skarn facies are divided into zones pyroxene-garnet proximal, distal zone of pyroxene-garnet-epidote, sulphide mineral enrichment zone-oxide-wollastonite, hornfels zone until andesite volcanic breccia. Spatially and genetically, calc silicate rocks have a strong correlation with porphyry deposit. Calc silicate rocks of study area is classified as calcic exoskarn and copper (Cu) skarn deposit type. The economic potential of calc silicate rocks have a high potential based on the percentage levels of high category but potentially low based on spatial parameters and comparison with scarn deposit which proved economical.

Keywords: Batu Hijau Porphyry Deposit, Calc Silicate Rocks, Copper Skarn Deposit, Calcic Exoskarn

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan	2
1.2.1 Maksud.....	2
1.2.2 Tujuan	3
1.3 Ruang Lingkup Area Penelitian.....	3
1.3.1 Substansial	3
1.3.2 Waktu dan Spasial.....	4
1.4 Kondisi Geografi dan Kesampaian Daerah	5
1.5 Penelitian Terdahulu.....	7
1.6 Keaslian Penelitian	9
1.7 Sistematika Penulisan	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
2.1 Geologi Regional Pulau Sumbawa	12
2.1.1 Fisiografi Regional	12
2.1.2 Stratigrafi Regional.....	13
2.1.3 Tektonik Regional	18
2.2 Geologi Area Batu Hijau	20
2.2.1 Fisiografi dan Morfologi.....	20
2.2.2 Stratigrafi	21
2.2.3 Struktur Geologi	25
2.2.4 Sejarah Geologi	26
2.3 Sistem Endapan Porfiri Cu-Au Batu Hijau.....	27
2.3.1 Alterasi Hidrotermal	29
2.3.2 Mineralisasi Bijih	34
2.4 Sistem Endapan Skarn	41
2.4.1 Pengertian Skarn.....	41

2.4.2	Klasifikasi Skarn.....	42
2.4.3	Proses dan Tahap Pembentukan Skarn.....	45
2.4.4	Petrogenesis dan Tatanan Tektonik Pembentukan Skarn.....	47
2.4.5	Endapan Skarn.....	50
2.4.6	Karakteristik Umum dan Genesa Porfiri Tembaga Terkait Endapan Skarn.....	51
2.4.7	Klasifikasi Endapan Skarn.....	52
2.5	Hipotesis Penelitian.....	55
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		56
3.1	Alat dan Bahan.....	56
3.2	Tahapan Penelitian.....	58
3.2.1	Tahap Prapenelitian.....	58
3.2.2	Tahap Pengambilan Data.....	59
3.2.3	Tahap Analisis Laboratorium.....	61
3.2.4	Tahap Pengolahan dan Interpretasi Data.....	66
3.2.5	Tahap Penyajian Data.....	67
3.3	Diagram Alir Penelitian.....	68
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN.....		69
4.1	Karakteristik Sistem Porfiri Area Penelitian.....	69
4.1.1	Assosiasi Litologi.....	69
4.1.2	Struktur Geologi.....	77
4.1.3	Alterasi Hidrotermal dan Mineralisasi.....	81
4.2	Karakteristik Batuan Kalk Silikat Batu Hijau.....	94
4.2.1	Karakteristik Megaskopis.....	95
4.2.2	Komposisi Mineralogi Batuan Kalk Silikat.....	100
4.2.3	Karakteristik Geokimia Batuan Kalk Silikat.....	112
4.3	Proses Skarnifikasi Batuan Kalk Silikat.....	120
4.3.1	Tahap Progradasi.....	120
4.3.2	Tahap Retrogradasi.....	126
4.4	Korelasi Batuan Kalk Silikat Dengan Sistem Endapan Porfiri.....	131
4.4.1	Korelasi Genetik.....	131
4.4.2	Korelasi Spasial.....	137
4.5	Analisis Potensi Endapan Skarn Area Penelitian.....	144
BAB V PENUTUP.....		151
5.1	Kesimpulan.....	151
5.2	Rekomendasi.....	153
DAFTAR PUSTAKA.....		154
LAMPIRAN		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 (a) Logo PT NNT berganti menjadi (b) PT AMNT	4
Gambar 1.2 Area penelitian (kotak merah) di <i>Open Pit</i> Batu Hijau (Modifikasi PT NNT, 2015)	4
Gambar 1.3 (a) Foto udara dari <i>software google earth</i> dan (b) kondisi terkini <i>Open Pit</i> Batu Hijau 2015 (PT NNT, 2015)	5
Gambar 1.4 Lokasi Penelitian Tugas Akhir (Modifikasi Aye, 2011)	6
Gambar 1.5 Skema Ilustrasi Proyek Batu Hijau di SW Sumbawa dan lokasi proyek di Indonesia (PT NNT, 2015)	7
Gambar 2.1 Persebaran global endapan porfiri di daerah subduksi termasuk Batu Hijau (Aye 2011 modifikasi dari Kikham dan Dunne, 2000)	11
Gambar 2.2 Peta Lokasi Area Kerja Kontrak PT. Newmont Nusa Tenggara dan Proyek Batu Hijau di Pulau Sumbawa, Indonesia (Ali, 1997)	12
Gambar 2.3 Tektonik lempeng dan persebaran endapan mineral Indonesia (Kompilasi Carlie & Mitchell, 1994; Garwin, 1996 dan <i>Newmont Mining Corporation-Indonesia</i>)	12
Gambar 2.4 Peta Geologi dan Kolom Stratigrafi Lembar Sumbawa (Modifikasi Sudrajat dkk, 1998)	16
Gambar 2.5 (a) Peta Geologi Pulau Sumbawa (modifikasi dari Suratno (1994;1995), Sudrajat (1998) dan PT NNT dalam Garwin (2002)). (b) Kronologi waktu pengendapan batuan di Pulau Sumbawa (Barberi, dkk (1987) dalam Garwin (2002))	17
Gambar 2.6 Struktur Pulau Sumbawa dan potensi endapan mineral, struktur vulkanisme Plio-Pleistosen dan pelurusan berdasar foto udara. (Garwin, 2002)	19
Gambar 2.7 (a) Bentuklahan pantai di Batu Hijau, SW Sumbawa (Kamera menghadap NW), (b) Ilustrasi <i>ultimate pit</i> Batu Hijau oleh Pierre Mion (Garwin, 2000)	20
Gambar 2.8 Morfologi bukaan tambang Batu Hijau, PT. Newmont Nusa Tenggara dengan azimuth 0°	21
Gambar 2.9 (a) Peta Geologi dan (b) <i>Cross section</i> Pulau Sumbawa bagian Barat (Modifikasi Garwin, 2000)	23
Gambar 2.10 (a) Ilustrasi sikuen intrusi BH dengan asumsi <i>paleosurface</i> ; (b) Kronostratigrafi suksesi vulkaniklastik andesit dan tonalit Batu Hijau (Garwin, 2002)	23
Gambar 2.11 Peta Geologi Kuarter 3 Tahun 2015 (PT NNT, 2015)	24
Gambar 2.12 Struktur geologi Area Batu Hijau dan intrusi felsik utama di Batu Hijau dan sekitarnya (Aye 2011 Modifikasi Garwin, 2000)	26
Gambar 2.13 Ilustrasi sikuen intrusi Batu Hijau dengan asumsi <i>paleosurface</i> . A. Sikuen intrusi utama di Sumbawa Barat B. Sikuen intrusi utama Batu Hijau (Garwin, 2002)	28

Gambar 2.14 Peta hasil survei magnetik (a), <i>cheargbility</i> (b) dan resistivitas (c) untuk menemukan Sistem Endapan Porfiri Batu Hijau (Garwin, 2002)	29
Gambar 2.15 Peta Alterasi Kuarter 3 Tahun 2015 (PT NNT, 2015)	33
Gambar 2.16 Penampang vertikal distribusi unsur (b) Cu dan (c) Au berdasarkan (a) kontrol litologi di Batu Hijau (PT NNT, 2012)	37
Gambar 2.17 (a) Urat A dan (b) Urat A-B (Kusuma, 2013)	38
Gambar 2.18 (a) Urat B dan (b) Urat C (Kusuma, 2013)	39
Gambar 2.19 (a) Urat D dan (b) Urat Magnetit (Kusuma, 2013)	39
Gambar 2.20 Peta Mineralisasi Kuarter 3 Tahun 2015 (PT NNT, 2015)	40
Gambar 2.21 Beberapa sampel skarn di Ok Tedi, Papua Nugini (Forster, 2009)	41
Gambar 2.22 Jenis alterasi dan mineral penciri (Corbett dan Leach, 1997)	45
Gambar 2.23 Evolusi endapan skarn berkorelasi dengan endapan porfiri berdasarkan 3 tahapan proses (Corbett dan Leach, 1997)	47
Gambar 2.24 Model ilustrasi sistem endapan porfiri dan hubungannya dengan sistem endapan mineral lain (Corbett dan Leach, 1997)	49
Gambar 2.25 Porfiri tembaga dan endapan skarn pada konsep tatanan tektonik (Corbett dan Leach, 1997)	49
Gambar 2.26 Skema sistem porfiri dan endapan yang berasosiasi dengannya (Kirkham dan Sinclair, 1995)	52
Gambar 2.27 Persebaran endapan skarn di dunia (Einaudi dan Burt, 1982 dalam Meinert, 1992)	58
Gambar 3.1 (a) Kartu identitas resmi mahasiswa program tugas akhir; (b) perlengkapan APD PT NNT; (c) area <i>townsite</i> Batu Hijau (d) gedung dibagi menjadi sistem kamar	58
Gambar 3.2 (a) <i>Coreshed</i> dan (b) MMA PT NNT Batu Hijau	59
Gambar 3.3 Seputar kondisi dan kegiatan selama penelitian tugas akhir di area penelitian.	60
Gambar 3.4 Diagram alir penelitian tugas akhir	68
Gambar 4.1 Peta Geologi Area Penelitian	70
Gambar 4.2 Kenampakan megaskopis breksi andesit vulkanik.....	72
Gambar 4.3 Kenampakan mikroskopis breksi andesit vulkanik.....	73
Gambar 4.4 Kenampakan megaskopis diorit kuarsa.....	74
Gambar 4.5 Kenampakan mikroskopis diorit kuarsa.....	75
Gambar 4.6 Kenampakan megaskopis tonalit.....	76
Gambar 4.7 Kenampakan mikroskopis tonalit.....	77
Gambar 4.8 Ilustrasi model sesar mayor di <i>open pit</i> Batu Hijau	79
Gambar 4.9 Peta Pola Struktur Geologi Area Penelitian	78
Gambar 4.10 Foto lapangan mengenai sesar di area penelitian	79
Gambar 4.11 Foto lapangan mengenai zona hancuran dan penyerta struktur sesar di area penelitian	79
Gambar 4.12 (a) Struktur kekar berpasangan pada dinding Timur; (b) kekar-kekar pada dinding Baratlaut tambang; (c) kenampakan <i>stockwork</i> di area penelitian	80

Gambar 4.13	Kenampakan RQD pada litologi area penelitian.....	81
Gambar 4.14	(a) Kenampakan alterasi <i>pale green mica</i> di area SW; (b) mineral lempung-pirit penciri alterasi argilik berwarna putih pucat; (c) Kenampakan alterasi klorit-epidot di area NE, elevasi 330 m; (d) Kenampakan alterasi potasik di pusat area penelitian.....	82
Gambar 4.15	Peta Zona Alterasi Area Penelitian	82
Gambar 4.16	Kenampakan megaskopis alterasi potasik pada sampel batuan (Kusuma, 2013).....	83
Gambar 4.17	Kenampakan mikroskopis alterasi potasik (Kusuma, 2013).....	84
Gambar 4.18	Kenampakan megaskopis alterasi filik pada breksi andesit vulkanik (SBD 226: 181 m), lingkaran merah menunjukkan horblenda teralterasi menjadi klorit (Kusuma, 2013)	85
Gambar 4.19	Kenampakan mikroskopis alterasi filik.....	85
Gambar 4.20	Kenampakan megaskopis alterasi profilitik (Kusuma, 2013)	86
Gambar 4.21	Kenampakan mikroskopis alterasi profilitik	87
Gambar 4.22	Kenampakan megaskopis alterasi argilik pada beberapa litologi: (a) tonalit intermediet (b) tonalit muda (c) diorit kuarsa	88
Gambar 4.23	(a) Mineralisasi sulfida (bornit, kalkopirit) pada tonalit intermediet, (b) mineralisasi hematit pada tonalit intermediet, (c,d,e) mineralisasi pirit, magnetit dan hematit pada batuan kalk silikat.....	91
Gambar 4.24	Urut tipe A, AB, C dan D pada Tonalit intermediet dan batuan kalk silikat (d) SBD 297.....	92
Gambar 4.25	Peta Zona Mineralisasi Area Penelitian	92
Gambar 4.26	Peta Distribusi Kadar Tembaga (Cu) Area Penelitian	93
Gambar 4.27	Peta Distribusi Kadar Emas (Au) Area Penelitian	93
Gambar 4.28	Peta Distribusi Kadar Perak (Ag) Area Penelitian	94
Gambar 4.29	Tekstur dan struktur non foliasi hornfelsik pada batuan kalk silikat ..	95
Gambar 4.30	Variasi warna secara megaskopis pada batuan kalk silikat.....	96
Gambar 4.31	Karakteristik tekstur ukuran mineral penyusun pada batuan kalk silikat.....	97
Gambar 4.32	Karakteristik megaskopis pada batuan kalk silikat didominasi oleh kenampakan breksiasi karena faktor struktur geologi.....	98
Gambar 4.33	Karakteristik tekstur megaskopis Batuan Kalk Silikat Batu Hijau (Modifikasi Aye, 2011)	99
Gambar 4.34	Karakteristik mineralisasi Batuan Kalk Silikat Batu Hijau (Modifikasi Aye, 2011)	100
Gambar 4.35	Karakteristik mikroskopis Batuan Kalk Silikat Batu Hijau (Modifikasi Aye, 2011).....	105
Gambar 4.36	Karakteristik mikroskopis Batuan Kalk Silikat Batu Hijau (Modifikasi Aye, 2011).....	106
Gambar 4.37	Hasil analisis SEM Batuan Kalk Silikat Batu Hijau (Modifikasi Aye, 2011)	107

Gambar 4.38 Pengamatan sampel bijih Batuan Kalk Silikat Batu Hijau pada <i>reflected light microscope</i> (Modifikasi Aye, 2011)	111
Gambar 4.39 Pengamatan sampel bijih Batuan Kalk Silikat Batu Hijau pada <i>reflected light microscope</i> (Modifikasi Aye, 2011)	112
Gambar 4.40 Klasifikasi batuan vulkanik berdasar komposisi kimia menggunakan diagram perbandingan total alkali vs silika/TAS (Le Maitre dkk, 1989 dalam Rollinson, 1993)	113
Gambar 4.41 Grafik korelasi SiO ₂ dengan oksida utama lain pada breksi andesit vulkanik	114
Gambar 4.42 Grafik korelasi SiO ₂ dengan oksida utama lain pada kalk silikat hornfels.....	115
Gambar 4.43 Grafik korelasi SiO ₂ dengan oksida utama lain pada kalk silikat skarn	116
Gambar 4.44 Perbandingan konsentrasi tiap oksida utama pada breksi andesit vulkanik, hornfels dan skarn	117
Gambar 4.45 Diagram pengayaan relatif dan penipisan oksida utama eksoskarn dibandingkan dengan batuan karbonat (Hildreth, 1981)	118
Gambar 4.46 Kenampakan mikroskopis pada tahap progradasi subtahap 1	123
Gambar 4.47 Kenampakan mikroskopis batuan kalk silikat pada tahap progradasi transisi subtahap 1 ke subtahap 2	124
Gambar 4.48 Kenampakan mikroskopis pada tahap progradasi subtahap 2	125
Gambar 4.49 Kenampakan mikroskopis skarn pada tahap retrogradasi	130
Gambar 4.50 Diagram tekanan dan suhu korelasi kondisi fisikokimia alterasi porfiri dan skarn (Idrus, 2006 dalam Aye, 2011)	133
Gambar 4.51 Model tentatif proses intrusi dan zona fasies batuan kalk silikat area penelitian.....	136
Gambar 4.52 Zonasi Batuan Kalk Silikat Area Penelitian.....	138
Gambar 4.53 Interval batuan kalk silikat diantara breksi andesit vulkanik dengan kategori RQD buruk	138
Gambar 4.54 Model 3D persebaran skarn bawah permukaan berdasarkan orientasi lubang bor sekitar tubuh intrusi tonalit	139
Gambar 4.55 Penampang vertikal kondisi bawa permukaan batuan kalk silikat (Sayatan Azimuth 40° dan 90°)	140
Gambar 4.56 Penampang vertikal kondisi bawa permukaan batuan kalk silikat (Sayatan Azimuth 110° dan 150°)	141
Gambar 4.57 Korelasi zona alterasi skarn dan alterasi porfiri area penelitian.....	142
Gambar 4.58 Variasi skarn dari fasies proksimal-distal (SBD 669).....	143
Gambar 4.59 Model distribusi kadar Cu (Modifikasi Badaruddin, 2016)	146
Gambar 4.60 Diagram dan tabel persentase nilai kadar Cu	146
Gambar 4.61 Diagram dan tabel persentase nilai kadar Au	147
Gambar 4.62 Diagram dan tabel persentase nilai kadar Ag.....	148
Gambar 4.63 Skarn retrogradasi dengan pengayaan unsur Fe	148

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Penelitian terdahulu mengenai sistem porfiri dan skarn di Batu Hijau	7
Tabel 1.1 Lanjutan. Penelitian terdahulu mengenai Sistem Porfiri dan Skarn di Batu Hijau	8
Tabel 1.1 Lanjutan. Penelitian terdahulu mengenai Sistem Porfiri dan Skarn di Batu Hijau	9
Tabel 2.1 Busur magmatik Tersier Indonesia (Idrus, 2006 modifikasi dari Carlile dan Mitchell, 1994 dalam Aye, 2011)	13
Tabel 2.2 Formasi batuan berjenis batuan sedimen di Pulau Sumbawa (Sudrajat dkk, 1998).....	14
Tabel 2.3 Formasi batuan berjenis batuan vulkanik di Pulau Sumbawa (Sudrajat dkk, 1998).....	14
Tabel 2.4 Tahapan Alterasi Hidrotermal Batu Hijau (Clode dkk, 1999)	31
Tabel 2.5 Kolom stratigrafi Batu Hijau berdasarkan proses mineralisasi (Garwin, 2000).....	34
Tabel 2.6 Mineral Sulfida Utama Batu Hijau	36
Tabel 2.7 Variasi mineral kalk silikat pada batuan kalk silikat dan skarn (Modifikasi Meinert, 2013)	43
Tabel 2.8 Beberapa karakteristik skarn korelasi porfiri di dunia (Forster, 2009) ...	48
Tabel 3.1 Klasifikasi parameter fisikokimia sebagai parameter dalam tahap analisis penelitian	66
Tabel 4.1 Data sesar mayor pada area penelitian (Departemen Geoteknik, 2015)...	78
Tabel 4.2 Kisaran suhu mineral alterasi potasik area penelitian (Modifikasi Morrison (1995) dalam Sutarto (2004))	84
Tabel 4.3 Kisaran suhu mineral alterasi filik area penelitian (Modifikasi Morrison (1995) dalam Sutarto (2004))	86
Tabel 4.4 Kisaran suhu mineral alterasi profilitik area penelitian (Modifikasi Morrison (1995) dalam Sutarto (2004))	87
Tabel 4.5 Kisaran suhu mineral alterasi pada zona argilik Area Batu Hijau (Modifikasi Kusuma, 2013).....	89
Tabel 4.6 Mobilitas elemen utama pada beberapa tipe batuan pada variasi kondisi hidrotermal keterangan x:unsur dinamik, -: unsur berkurang, +: unsur meningkat (Modifikasi Rollinson, 1993)	119
Tabel 4.7 Mineral penciri tahapan progradasi pada skarnifikasi batuan kalk silikat Batu Hijau (Aye, 2011)	122
Tabel 4.8 Kisaran suhu mineral metamorf dan mineral alterasi skarn menurut Lawless dkk, (1998) dan Morrison (1997)	122
Tabel 4.9 Mineral penciri tahapan retrogradasi pada skarnifikasi batuan kalk silikat Batu Hijau (Aye, 2011)	129
Tabel 4.10 Kisaran suhu mineral metamorf dan mineral alterasi skarn menurut Lawless dkk, (1998) dan Morrison (1997)	129

Tabel 4.11 Perbandingan skarn area penelitian dengan Skarn Ertsberg, Papua
(Modifikasi Aye, 2011) 149