

**VULKANOSTRATIGRAFI DAN PETROGENESIS
GUNUNGAPI KELIMUTU DAN SEKITARNYA, KABUPATEN
ENDE, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR**

TUGAS AKHIR A

**Diajukan sebagai syarat penelitian tugas akhir pada studi jenjang strata satu
(S-1) pada Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi
Kebumian, Institut Teknologi Bandung.**

**Oleh:
MUHAMMAD BAHRUN NAJAH
NIM: 12018004
(Program Studi Teknik Geologi)**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS ILMU DAN TEKNOLOGI KEBUMIAN
September 2022**

ABSTRAK

VULKANOSTRATIGRAFI DAN PETROGENESIS GUNUNGAPI KELIMUTU DAN SEKITARNYA, KABUPATEN ENDE, PROVINSI NUSA TENGGARA TIMUR

Oleh:

Muhammad Bahrin Najah

NIM: 12018004

Gunungapi Kelimutu memiliki ketinggian 1639 mdpl, terletak di Kabupaten Ende, Nusa Tenggara Timur, dengan ciri khasnya berupa tiga danau kawah di puncaknya. Gunungapi tersebut berada di bagian selatan Pulau Flores, Nusa Tenggara Timur, terbentuk dari hasil interaksi antara Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Penyebaran batuaninya belum terpetakan secara spesifik dan penelitian terdahulu hanya membahas dari segi geokimia air danau dan potensi geothermal di sekitar Gunungapi Kelimutu. Akan tetapi, dari segi petrogenesisnya belum terdefinisi dengan baik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memetakan batuan di Gunungapi Kelimutu dan sekitarnya dengan prinsip vulkanostratigrafi, beserta sejarah geologi pembentukannya dan evolusi magma yang terjadi di Gunungapi Kelimutu dan sekitarnya, kemudian mendefinisikan tatanan tektonik Gunungapi Kelimutu dan sekitarnya dengan pendekatan petrogenesis.

Analisis penginderaan jauh dan observasi lapangan dilakukan untuk mempelajari aspek geologi, berupa geomorfologi, stratigrafi, dan struktur geologi yang mengontrol daerah penelitian. Analisis petrografi dan geokimia batuan digunakan untuk menjelaskan evolusi magma dan tatanan tektonik.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, daerah penelitian termasuk ke dalam bentang alam gunungapi yang terbagi menjadi 12 satuan bentuk muka Bumi. Dari satuan geomorfologi yang telah didefinisikan dan dikombinasikan dengan data observasi lapangan, teridentifikasi empat khuluk, yaitu Khuluk Kelimutu Kompleks, Khuluk Sokoria, Khuluk Kelibara, dan Khuluk Kelimutu. Khuluk Kelimutu terdiri atas Gumuk Ata Mbupu, Gumuk Koofai, dan Gumuk Ata Polo. Khuluk dan Gumuk yang telah disebutkan berada di dalam Bregada hasil letusan dari Kelimutu Kompleks. Material yang teridentifikasi dihasilkan dari aktivitas vulkanisme di daerah penelitian berupa lava, breksi piroklastik, tuf, serta lapilli dan debu. Material tersebut dihasilkan dari empat fase, yaitu fase Kelimutu Kompleks, Sokoria, Kelibara, dan fase Kelimutu Muda. Struktur geologi di daerah penelitian terbagi atas struktur primer berupa kekar kolom, kekar berlembar, laminasi dan perlapisan sejajar, autobreksi, dan vesikuler, kemudian untuk struktur sekunder berupa sesar dan kekar.

Proses diferensiasi magma berupa fraksinasi kristal, injeksi magma baru, pencampuran akibat konveksi, dekompresi akibat magma primitif dan proses erupsi, tercermin dari fluktuasi kandungan anortit, mikrotekstur plagioklas dan

tekstur batuan secara umum, diagram harker, serta fluktuasi senyawa oksida. Dari beberapa analisis yang telah disebutkan bahwa setiap khuluk mempunyai dapur magma dangkal masing-masing, khususnya untuk Khuluk Kelimutu terbagi lagi setiap gumuk memiliki dapur magma lebih dangkal. Analisis data geokimia menggunakan diagram dengan parameter komponen utama (*major element*) dan komponen jejak (*trace element*) menunjukkan bahwa afinitas magma tergolong ke dalam toleitik-kalk-alkalin yang berasal dari magmatisme busur kepulauan.

Kata kunci: Gunung Kelimutu, Kelimutu Kompleks, vulkanostratigrafi, petrogenesis, Busur Kepulauan.

ABSTRACT

VOLCANOSTRATIGRAPHY AND PETROGENESIS KELIMUTU VOLCANO AND SURROUNDING AREA, ENDE DISTRICT, EAST NUSA TENGGARA

By:

Muhammad Bahrn Najah

NIM: 12018004

Kelimutu volcano has a highest point is 1639 masl, located in the Ende Regency, East Nusa Tenggara, with its characteristic in the form of three crater lakes at the summit. The volcano is located on the southern part of Flores Island, East Nusa Tenggara. The volcano formed by the interaction between the Indo-Australian Plate and the Eurasian Plate. The distribution of the rocks has not been mapped specific. The previous research only discussed the lake water geochemistry and geothermal potential around Kelimutu Volcano. However, in terms of petrogenesis it is not well defined. Thus, this aims of study to map the rocks on Kelimutu Volcano and its surroundings with the principle of vulcanostratigraphy, along with the geological history of its formation and the evolution of magma that occurred on Kelimutu Volcano and its surroundings. Then, define the tectonic environment of Kelimutu Volcano and its surroundings with petrogenesis approach.

Remote sensing analysis and field observations were conducted to study of the geological aspects, such as geomorphology, stratigraphy, and geological structures that control the research area. Petrographic and geochemical analysis of rocks used to explain the evolution of magma and tectonic setting.

Based on the previous research, the research area included in the volcanic landscape which divided into 12 units of the Earth's surface. The geomorphological units were defined and combined with field observation data, four khuluk were identified, namely the Khuluk Kelimutu Complex, Khuluk Sokoria, Khuluk Kelibara, and Khuluk Kelimutu. Khuluk Kelimutu consists of Gumuk Ata Mbupu, Gumuk Koofai, and Gumuk Ata Polo. The Khuluk and Gumuk are in the Bregada resulting from the eruption of the Kelimutu Complex. The identified materials resulting from volcanism in the study area are lava, pyroclastic breccia, tuff, lapilli and ash deposits. The material is produced from four phases, namely the Kelimutu Complex phase, Sokoria, Kelibara, and the young Kelimutu phase. The geological structure in the study area divided into the primary structures in the form of columnar joints, sheeting joints, laminates and parallel beds, autobreccia, and vesicular. The secondary structures in the form of faults and joints.

Magma differentiation processes such as crystal fractionation, magma injection, mixing due to convection, decompression due to primitive magma, and eruption processes. Those features are reflected in fluctuations in anorthite content, plagioclase microtextures, rock texture in general, Harker diagrams, and fluctuations in oxide compounds. Furthermore, several analyzes have mentioned

that each khuluk has its shallow magma chamber. Especially for the Khuluk Kelimutu, each Gumuk has a shallower magma chamber. Analysis of geochemical data using diagrams with major and trace elements shows that the magma affinity is classified as toleitic-calc-alkaline originating from an island arc magmatism.

Keywords: Kelimutu Volcano, Kelimutu Complex, volcanostratigraphy, petrogenesis, Island Arc.

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR A

VULKANOSTRATIGRAFI DAN PETROGENESIS GUNUNGAPI KELIMUTU DAN SEKITARNYA, KABUPATEN ENDE, NUSA TENGGARA TIMUR

Diajukan sebagai syarat menyelesaikan jenjang sarjana Strata Satu (S-1) di
Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut
Teknologi Bandung

Bandung, September 2022

Mahasiswa Pengusul,



Muhammad Bahrudin Najah

NIM: 12018004

Menyetujui,

Dosen Pembimbing



Dr. Eng. Mirzam Abdurrachman, S.T., M.T.

NIP. 198011162012121002

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya serta atas izinnya penyusunan dan penulisan tugas akhir ini berjalan dengan baik. Penulisan tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu syarat untuk menyusun tugas akhir strata satu (S-1) di Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian, Institut Teknologi Bandung. tugas akhir ini berjudul "Vulkanostratigrafi Dan Petrogenesis Gunungapi Kelimutu Dan Sekitarnya, Ende, Nusa Tenggara Timur". Penulis banyak mendapatkan bantuan dan masukan selama pembuatan tugas akhir ini dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

- ❖ Ayah, ibu, kakak, dan adik yang mendukung penuh serta selalu mendo'akan dalam keberjalanan penyusunan tugas akhir ini,
- ❖ Bapak Dr. Eng. Mirzam Abdurrachman, ST., MT. selaku pembimbing dan Ketua Program Studi Teknik Geologi ITB,
- ❖ Seluruh bapak/ibu dosen pengajar dan keluarga besar Program Studi Teknik Geologi ITB,
- ❖ Keluarga kedua saya di kampus, yaitu HMTG "GEA" ITB yang telah mendukung, menemani, dan mendoakan penulis,
- ❖ Pihak Taman Nasional Kelimutu (TNK) yang telah mendukung dan membantu pelaksanaan pengambilan data tugas akhir,
- ❖ Keluarga kecil saya di Flores, termasuk Mas Gideon dan keluarga, Mas Diky dan Keluarga, Mas Khairil, Mas Bayu, dan yang tidak bisa saya sebutkan secara keseluruhan,
- ❖ Seluruh pihak-pihak yang mendukung, membantu, dan mendo'akan atas kelancaran penyusunan tugas akhir.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan yang terdapat pada laporan tugas akhir ini, baik dari penulisan ataupun berkenaan dengan isi. Maka dari itu, penulis juga menerima kritik dan saran yang membangun untuk penulis kedepannya. Akhir kata, penulis mengucapkan teimakasih, semoga laporan dan hasil penelitian ini dapat bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan dapat diterima dengan baik,

Bandung, 26 September 2022

Muhammad Bahrn Najah

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN	x
DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI.....	xi
DAFTAR TABEL	xvii
Bab I Pendahuluan	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Maksud dan Tujuan Penelitian	2
I.3 Metodologi Penelitian	2
I.4 Batasan Penelitian	5
I.5 Daerah Penelitian	6
Bab II Tinjauan Pustaka	7
II.1 Diferensiasi Magma.....	7
II.2 Seri Magma	9
II.3 Komponen Mayor dan Komponen Jejak	13
II.3.1 Komponen Mayor.....	13
II.3.2 Komponen Jejak	15
II.3.3 Unsur Tanah Jarang.....	16
II.3.4 Diagram laba-laba	18
II.3.5 Karakteristik Geokimia Pada Magma Primer.....	20
Bab III Geologi Regional.....	22
III.1 Tektonik dan Struktur Regional	22
III.2 Kelurusan Vulkanik Pulau Flores	24
III.3 Fisiografi	25

III.4 Geologi Daerah Gunung Kelimutu dan Sekitarnya	26
Bab IV Geologi Daerah Penelitian	29
IV.1 Geomorfologi Daerah Penelitian	29
IV.1.1 Analisis Kelurusan dan Analisis Citra	29
IV.1.2 Pengolahan Data Citra Optik LANDSAT-8 OLI dan ASTER	30
IV.1.3 Tatanan Gunungapi di Sekitar Area Penelitian.....	32
IV.2 Satuan Geomorfologi.....	33
IV.3 Geomorfometri.....	46
IV. 4 Pola Aliran Sungai	47
IV.5 Vulkanostratigrafi	49
IV.5.1 Pembagian Satuan Batuan/Endapan	50
IV.5.2 Pembagian Satuan Batuan.....	53
IV.6 Struktur Geologi	71
IV.6.1 Struktur Geologi Primer.....	71
IV.6.2 Struktur Geologi Sekunder	76
Bab V Petrogenesis.....	81
V.1 Pengamatan Petrografi Batuan	81
V.1.1 Komposisi Palgioklas.....	81
V.1.2 Tekstur Batuan	83
V.1.2 Mikrotekstur Plagioklas	90
V.2 Analisis Petrogenesis	99
V.2.1 Diagram Harker.....	100
V.2.2 Seri Magma	101
V.2.3 Pembahasan.....	103
VI Sejarah Geologi.....	118
VI.1 Fase Kelimutu Tua.....	119
VI.2 Fase Sokoria.....	120

VI.3 Fase Kelibara	121
VI.4 Fase Kelimutu Muda.....	123
Bab VII Kesimpulan	126
Daftar Pustaka.....	127
LAMPIRAN.....	131

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A 1. Peta Lintasan

Lampiran A 2. Peta Geomorfologi

Lampiran A 3. Peta Geologi Gunungapi dan Penampang

Lampiran A 4. Peta Profil Stratigrafi

Lampiran B 1. Tabulasi Data

Lampiran C 1. Data Geokimia Hasil Pengujian XRF

Lampiran C 2. Data Geokimia Hasil Pengujian ICP-MS

Lampiran D Deskripsi Petrografi

DAFTAR GAMBAR DAN ILUSTRASI

Gambar I. 1 Diagram alir penelitian memiliki empat tahapan, yaitu tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, tahap analisis data, dan tahap kesimpulan.	4	
Gambar I. 2. Lokasi penelitian mencakup ketiga danau kawah yang ada di Gunungapi Kelimutu dan sekitarnya dengan luas 64 km ²	6	
Gambar II. 1. Sistem vulkano-magmatisme memperlihatkan adanya aktivitas magma yang menuju ke permukaan, ada yang tertahan dibatas mantel dan kerak (Moho), dan ada yang menuju ke permukaan, menjadi fenomena vulkanik (Schmincke, 2004).		8
Gambar II. 2. Zonasi pada fenokris, mineral dengan warna lebih gelap yang berada di tengah, terbentuk pertama kali, dan bagian yang lebih terang terbentuk kemudian. Keduanya berbeda komposisi kimianya (Schmincke, 2004).	9	
Gambar II. 3. Diagram dari Cox (1979; Wilson, 1989) digunakan untuk mengklasifikasikan batuan vulkanik maupun plutonik berdasarkan kandungan total alkali dan silikat kontennya (Wilson, 1989).	10	
Gambar II. 4. Klasifikasi alkali dan sub-alkali basalt (Middlemost, 1975; Wilson, 1989).	11	
Gambar II. 5. Diagram AFM, menunjukkan diferensiasi seri magma toleitik dan kalk-alkalin (Wilson, 1989).	12	
Gambar II. 6. Pembagian seri magma alkali menjadi <i>sodic</i> , <i>potassic</i> , dan <i>high-K</i> (Middlemost, 1975; Wilson, 1989).	12	
Gambar II. 7. Harker diagram yang menggambarkan adanya hubungan kogenetik dari magma (Wilson, 1989).	14	
Gambar II. 8. Variasi diagram Harker yang menunjukkan adanya infleksi, yang mengindikasikan sebagai kemunculan mineral baru (Wilson, 1989).	15	
Gambar II. 9. Diagram skematik dari REE yang dinormalisasi dengan kondrit (Wilson, 1989).	18	
Gambar II. 10. Tipe diagram laba-laba yang menunjukkan pola dari MORB, OIB, dan busur kepulauan, berdasarkan normalisasi dari (a) Thompson dkk. (1984; Wilson, 1989) dan (b) Sun (1980; Wilson 1989).	20	
Gambar III. 1. Tatanan tektonik Indonesia yang tidak sederhana, melibatkan interaksi tiga lempeng besar. Salah satu hasil interaksinya adalah jalur subduksi yang membentang dari sumatera sampai ke Indonesia timur (Hall, 2009).		22
Gambar III. 2. Busur Banda bagian dalam ditandai dengan kehadiran gunungapi aktif, sedangkan bagian luar merupakan hasil dari proses kolisi yang tengah berlangsung antara passive margine Lempeng Indo-Australia dengan Busur Banda (Hall, 2002).	23	
Gambar III. 3. Kelurusan gunungapi di Pulau Flores memperlihatkan pola <i>en echelon</i> dengan distribusi gunungapi di bagian selatan yang semakin berkurang kearah timur (Purwandono dkk., 2019).	25	
Gambar III. 4. Peta Geologi (kotak merah merupakan area penelitian) dan stratigrafi regional Lembar Ende ((Suwarna dkk., 1989).	28	

Gambar IV. 1. Pola kelurusan dituangkan dalam citra DEMNas dengan resolusi 9 meter. Pola kelurusan daerah penelitian hampir utara-selatan (daerah penelitian ditandai dengan kotak merah).	31
Gambar IV. 2. Citra ASTER dengan komposit band R:G:B = 3:2:1.....	32
Gambar IV. 3. Kotak hijau memperlihatkan area yang lebih luas dan teramati fitur melingkar yang disebut sebagai Kelimutu Kompleks. Kotak merah merupakan daerah penelitian.	33
Gambar IV. 4. Kenampakan danau kawah pada Gunungapi Kelimutu. (a) Kawah Ata Polo (kiri) dan Kawah Koofai (kanan), (b) Kawah Ata Mbupu.....	35
Gambar IV. 5. Morfologi kipas jatuhnya Woloara, yang diambil dari timurlaut daerah penelitian. Gambar (a) morfologi tampak lebih jelas dan gambar (b) pandangan tampak lebih luas.	36
Gambar IV. 6. Morfologi punggung aliran lava terlihat memanjang dan agak menyempit, diambil dari timurlaut daerah penelitian.	37
Gambar IV. 7. Morfologi aliran piroklastik yang penyebarannya relatif kearah timur. Material penyusunnya berupa breksi tuf (foto kiri).....	38
Gambar IV. 8. Tampak morfologi tinggian yang tersusun oleh batuan beku luar/lava.....	39
Gambar IV. 9. Aliran lava Pemo merupakan salah satu sisi dari Gunung Kelimutu yang memiliki trend hampir baratlaut-tenggara.....	40
Gambar IV. 10. Punggung aliran lava Kelibara merupakan salah satu sisi Gunung Kelibara, di bagian baratlaut.	41
Gambar IV. 11. Morfologi kerucut dan membentuk “kipas” yang tersusun atas aliran lava.	42
Gambar IV. 12. Penyusun satuan morfologi ini berupa lapilli dan debu yang berseling, dan di beberapa tempat terdapat material jatuhnya yang terkonsolidasi.....	43
Gambar IV. 13. Morfologi aliran lava Kelisoke mencerminkan aliran lava dengan <i>trend</i> hampir utara-selatan.....	44
Gambar IV. 14. Morfologi ini penyebarannya paling luas di daerah penelitian, didominasi oleh aliran lava.	45
Gambar IV. 15. Satuan morfologi ini penyebarannya berada di utara daerah penelitian, tersusun atas lava dan di beberapa tempat tampak lava/batuan beku luar memiliki sifat yang mirip dengan skoria.....	45
Gambar IV. 16. Citra DEM yang menunjukkan ketinggian (a), kemiringan lereng (b), dan aspek (arah kemiringan), c). Kotak merah merupakan area penelitian. ..	47
Gambar IV. 17. Pola aliran sungai Gunung Kelimutu dan sekitarnya. Setidaknya terdapat tiga pola aliran sungai yang berbeda, yaitu pola aliran dendritik (kotak hijau), radial sentrifugal (kotak merah), dan radial sentripetal (kotak kuning). ...	48
Gambar IV. 18. Singkapan satuan endapan jatuhnya berupa tuf (a) yang merupakan produk dari Kelimutu Kompleks yang berada di titik amat MBN3-6 (Lampiran A1). Ditemukan tuf yang kontak dengan lava (b) dan tampak perlapisan yang agak samar (c). Tampilan PPI (d) dan XPL (e). *plag = plagioklas; Hb = hornblend; Gls = gelas.	53
Gambar IV. 19. Singkapan satuan aliran lava Sokoria yang merupakan produk dari Khuluk Sokoria, yang diwakili oleh titik pengamatan MBN10-2 (Lampiran A1). Singkapan lava yang teridentifikasi ada yang teralterasi (a) dan dalam kondisi segar (b), gambar (c) merupakan contoh setangan lava yang segar. Tampilan XPL (d) dan	

PPL (e). * Opx = ortopiroksen; Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas; Opq = mineral opak.....	55
Gambar IV. 20. Singkapan satuan aliran lava Kelibara 1 yang merupakan produk dari Khuluk Kelibara, yang diwakili oleh titik pengamatan MBN14-2-SE (Lampiran A1). Singkapan batuan berukuran ± 4 meter (a), contoh setangan (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (d). *Cpx = klinopiroksen; plag = plagioklas; vug = vugy; opq = mineral opak.....	56
Gambar IV. 21. Singkapan satuan aliran lava Kelibara 2 yang merupakan produk dari Khuluk Kelibara, yang diwakili oleh titik pengamatan MBN7-6 (Lampiran A1). Singkapan menunjukkan struktur autobreksi (a), contoh setangan (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (d). *Cpx = klinopiroksen; Opx = ortopiroksen; Olv = olivin; plag = plagioklas; Opq = mineral opak; Vug = vugy.....	57
Gambar IV. 22. Singkapan satuan aliran lava Kelibara 3 yang merupakan produk dari Khuluk Kelibara yang diwakili oleh titik pengamatan MBN8-2 (Lampiran A1). Pelamparan batuan beku sekaligus menjadi dasar sungai (a), kenampakan setangan batuan beku (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (d). *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas.	58
Gambar IV. 23. Singkapan satuan endapan jatuhnya Kelibara yang merupakan produk dari Khuluk Kelibara yang diwakili oleh titik pengamatan MBN10-3 (Lampiran A1). Singkapan endapan jatuhnya yang tampak berseling (a), material penyusunnya berupa lapilli dan debu (b).	59
Gambar IV. 24. Singkapan satuan aliran lava Kelibara yang merupakan produk dari Khuluk Kelibara yang diwakili oleh titik pengamatan MBN7-4 (Lampiran A1). Singkapan batuan beku beserta bongkahannya (a), contoh setangan dari singkapan (b), dan terlihat singkapan dengan kekar berlembar (c). Tampilan XPL (d) dan PPL (e). *Cpx = klinopiroksen; Olv = olivin; Plag = plagioklas; Opq = mineral opak.....	60
Gambar IV. 25. Singkapan satuan aliran lava Ata Mbupu 1 yang merupakan produk dari Gumuk Ata Mbupu yang diwakili oleh titik pengamatan MBN11-3 (Lampiran A1). Singkapan lava dengan tinggi sekitar 4 meter (a), contoh setangan yang merupakan bagian dari singkapan (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (d). * Cpx = klinopiroksen; Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas.	61
Gambar IV. 26. Singkapan satuan aliran lava Ata Mbupu 2 yang merupakan produk dari Gumuk Ata Mbupu yang diwakili oleh titik pengamatan MBN12-2-SW (Lampiran A1). Singkapan batuan beku lava (a), beserta contoh setangannya yang berasal dari singkapannya (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (d). Cpx = klinopiroksen; Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas; Opq = mineral opak.	63
Gambar IV. 27. Singkapan satuan aliran lava Ata Mbupu 3 yang merupakan produk dari Gumuk Ata Mbupu yang diwakili oleh titik pengamatan MBN5-1 (Lampiran A1). Singkapan memperlihatkan struktur autobreksi (a), contoh setangan yang merupakan bagian dari singkapan (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (d). * Cpx = klinopiroksen; Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas; Vug = vugy; Oks = mineral oksida; Opq = mineral opak.....	64
Gambar IV. 28. Singkapan satuan aliran piroklastik Koofai yang merupakan produk dari Gumuk Koofai yang diwakili oleh titik pengamatan MBN3-7 (Lampiran A1). Singkapan material aliran vulkanik berupa breksi tuf (a), foto jarak dekat dari singkapan, terlihat ada fragmen dan matriks (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (d). *Cpx = klinopiroksen; Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas; Opq = mineral opak.....	65

Gambar IV. 29. Singkapan satuan jatuhnya piroklastik Koofai 1 yang merupakan produk dari Gumuk Koofai yang diwakili oleh titik pengamatan MBN3-2 (Lampiran A1). Singkapan tampak berlapis antara material berwarna hitam dan kecokelatan (a), material berukuran lapilli dan debu (b).	66
Gambar IV. 30. Singkapan satuan jatuhnya piroklastik Koofai 2 yang merupakan produk dari Gumuk Koofai yang diwakili oleh titik pengamatan MBN2-7 (Lampiran A1). Singkapan berada di pertemuan dinding Kawah Koofai dan Ata Polo (a), singkapan berupa breksi piroklastik (b).	67
Gambar IV. 31. Singkapan satuan aliran lava Ata Polo 1 yang merupakan produk dari Gumuk Ata Polo yang diwakili oleh titik pengamatan MBN3-4 (Lampiran A1). Singkapan lava yang memperlihatkan struktur autobreksi di bagian atas dan bawah, di bagian tengah tampak lava yang masif (a), contoh setangan dari singkapan (b). Tampilan XPL (a) dan PPL (d). *Cpx = klinopiroksen; Olv = olivin; Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas; Opq = mineral opak.	68
Gambar IV. 32. Singkapan satuan aliran lava Ata Polo 2 yang merupakan produk dari Gumuk Ata Polo yang diwakili oleh titik pengamatan MBN14-2-NW (Lampiran A1). Singkapan lava yang teramati tebalnya 2 meter (a), contoh sampel setangan (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (d). *Cpx = klinopiroksen; Olv = olivin; Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas; Opq = mineral opak.	69
Gambar IV. 33. Singkapan satuan jatuhnya piroklastik Ata Polo-Koofai yang merupakan produk dari Gumuk Ata Polo dan Koofai yang diwakili oleh titik pengamatan MBN1-4 (Lampiran A1). Singkapan breksi tuf menumpang di atas tuf (a), breksi tuf dengan fragmen berupa batuan beku dan batuan beku teralterasi (b). Tampilan XPL (c) dan PPL (sampel Bomb (2), Lampiran D) (d). *Cpx = klinopiroksen; Olv = olivin; Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas; Opq = mineral opak; Vug = <i>vugy</i>	71
Gambar IV. 34. Pola distribusi kekar kolom pada tubuh aliran lava (Spry, 1961).	72
Gambar IV. 35. Ilustrasi aliran lava dengan struktur-struktur primer yang dibentuknya selama lava mengalir. Terdapat lava yang masif di bagian tengah, bagian atas dan bawahnya memperlihatkan autobreksi (Lockwood dan Lipman, 1989; Sigurdsson, 2015).	74
Gambar IV. 36. Struktur vesikuler pada lava, memperlihatkan beragam ukuran dengan bentuk yang berbeda-beda.	75
Gambar IV. 37. Perlapisan material jatuhnya yang berukuran lapili berseling dengan debu.	76
Gambar IV. 38. Sesar manganan turun Kolorongo memotong satuan tuf yang kompak.	77
Gambar IV. 39. Sesar geser mengiri Waturaka yang memotong satuan breksi tuf.	78
Gambar IV. 40. Sesar turun Murukeba memotong satuan yang tersusun atas lava.	79
Gambar IV. 41. Sesar turun Sokoria memotong satuan lava di bagian yang teralterasi.	80
Gambar V. 1. Kurva pemadaman maksimum dari kembaran albit atau disebut sebagai metode Michel-Levy dalam Kerr (1977).	82

Gambar V. 2. Tekstur glomeroporfiritik yang memperlihatkan kumpulan fenokris dari piroksen dan plagioklas. *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas.....	85
Gambar V. 3. Mineral mafik mengisi celah di antara plagioklas, sehingga disebut sebagai tekstur intergranular. *Px = piroksen; Plag = plagioklas.....	86
Gambar V. 4. Mineral mafik dengan bentuk anhedral dilingkupi oleh mineral plagioklas. *Px = piroksen; Plag = plagioklas.....	87
Gambar V. 5. Fenokris plagioklas, piroksen, yang tertanam dalam massa dasar gelas. *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas.....	88
Gambar V. 6. Mikrolit dan mikrofenokris tampak dilingkupi oleh gelas. *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas.....	89
Gambar V. 7. Tampak pensejajaran mineral plagioklas sebagai massa dasar di antara fenokris. *Px = piroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas.....	89
Gambar V. 8. Plagioklas dengan susunan yang acak bersama-sama dengan gelas. *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas.....	90
Gambar V. 9. Plagioklas tampak saling menempel akibat dari adanya arus konveksi pada dapur magma (garis putus-putus berwarna merah). *Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas.....	92
Gambar V. 10. Tekstur ini memperlihatkan bercak-bercak yang kasar dan jumlah yang banyak akibat pelarutan (garis putus-putus berwarna merah). *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas.....	93
Gambar V. 11. Tekstur <i>sieve</i> halus terlihat memiliki kerapatan yang tinggi atau jumlah yang banyak sehingga seolah terlihat seperti "debu". *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas; Gls = gelas.....	94
Gambar V. 12. Tekstur ini memperlihatkan kesan perulangan dari zoning plagioklas. *Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas.....	95
Gambar V. 13. Plagioklas memperlihatkan ujung-ujung kristal plagioklas yang tumpul. *Cpx = klinopiroksen; Olv = olivin; Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas.....	95
Gambar V. 14. Kristal-kristal berkumpul dan berdekatan seolah menyatu membentuk morfologi baru. *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas.....	96
Gambar V. 15. Mikrotekstur ini memperlihatkan morfologi yang berbentuk huruf H. *Cpx = klinopiroksen; Plag = plagioklas.....	97
Gambar V. 16. Plagioklas memperlihatkan ukuran yang kecil, tetapi masih terlihat warna interferensinya. *Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas.....	98
Gambar V. 17. Plagioklas terlihat pecah-pecah akibat pengaruh pengurangan tekanan. *Opx = ortopiroksen; Plag = plagioklas.....	98
Gambar V. 18. Di dalam mikroteksturnya terlihat memisahkan antar mikrotekstur. *Olv = olivin; Plag = plagioklas.....	99
Gambar V. 19. Diagram Harker memperlihatkan hubungan antara SiO ₂ dengan senyawa oksida lainnya.....	100
Gambar V. 20. Batuan di daerah penelitian secara geokimia memiliki rentang dari basalt-dasit, dan keseluruhan sampel masuk ke dalam domain sub-alkalin.	101
Gambar V. 21. Seri magma di daerah penelitian memiliki afinitas toleit-kalk-alkalin. Data dari Kelimutu dan Kelibara, masing-masing memiliki <i>trend</i> tertentu.....	102
Gambar V. 22. AFM diagram menunjukkan pola yang mirip dengan kalk-alkalin berdasarkan model diagram AFM dari Irvine dan Baragar (1971; Wilson, 1989).	103

Gambar V. 23. Fluktuasi senyawa oksida menggambarkan proses evolusi magma tidak hanya melibatkan fraksinasi kristal.	105
Gambar V. 24. Kadar anortit pada plagioklas mencerminkan evolusi magma dari pola yang turun atau naik.	106
Gambar V. 25. Model dapur magma beserta tekstur-tekstur yang hadir pada daerah penelitian. Model dasar dapur magma diambil dari Renjith (2013).	111
Gambar V. 26. Diagram dengan parameter Zr/Y vs. Ti/Y digunakan untuk menentukan tatanan tektonik antara batas lempeng (<i>plate margin</i>) atau di dalam lempeng (<i>within plate margin</i>). Diagram diambil dari Pearce dan Gale, 1977; Rollinson, 1993).	113
Gambar V. 27. Hasil plot terdapat dua domain, yaitu IAT dan CAB. Diagram diambil dari Mullen 1963; Rollinson, 1993).	114
Gambar V. 28. Diagram diskriminan <i>trivariate</i> dengan parameter komponen jejak memperlihatkan sampel berada di domain C. Diagram diambil dari Pearce dan Cann, 1973; Rollinson, 1993).	115
Gambar V. 29. Diagram laba-laba dari beberapa sampel menunjukkan kemiripan dengan pola kalk-alkalin busur kepulauan. Sampel dinormalisasi dengan mantel primitif dari Sun dan McDonough (1989).	116
Gambar VI. 1. Penampang tektonik-struktur Pulau Flores. Flores merupakan salah satu bagian dari Busur Banda bagian dalam sehingga terdapat aktivitas vulkanisme di dalamnya (dimodifikasi dari Rangin dkk. (1993; Darman dan Sidi, 2000).	119
Gambar VI. 2. Ilustrasi diagram blok dari fase Kelimutu Tua. (a) merupakan vulkanisme dari Gunungapi Kelimutu Tua, (b) kaldera hasil letusan Gunungapi Kelimutu Tua. Tanpa skala.	120
Gambar VI. 3. Evolusi magma pada Gunungapi Sokoria diinterpretasikan dari mikrotekstur plagioklas yang hadir di dalam batuanannya.	121
Gambar VI. 4. Ilustrasi diagram blok dari fase Sokoria. (a) aktivitas vulkanik pada Gunungapi Sokoria, (b) Hasil letusan dari Gunungapi Sokoria yang menyisakan Kaldera Sokoria. Tanpa skala.	121
Gambar VI. 5. Evolusi magma pada Gunungapi Kelibara diinterpretasikan dari mikrotekstur plagioklas yang hadir di dalam batuanannya.	122
Gambar VI. 6. Ilustrasi dalam bentuk diagram blok dari Gunung Kelibara beserta produknya.	123
Gambar VI. 7. Evolusi magma pada Gunungapi Kelimutu diinterpretasikan dari mikrotekstur plagioklas yang hadir di dalam batuanannya. Terdapat perbedaan dengan dua Khuluk lainnya, Khuluk Kelimutu dengan ketiga Gumuknya memiliki dapur magma yang lebih dangkal disetiap Gumuknya.	124
Gambar VI. 8. Ilustrasi dalam bentuk diagram blok dari Khuluk Kelimutu beserta ketiga Gumuknya. (a) pembentukan material vulkanik dari Gumuk Ata Mbupu dan Koofai, (b) lanjutan dari pembentukan material vulkanik dari Gumuk Koofai dan Ata Polo.	125

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1. Karakteristik seri magma berkaitan dengan tatanan tektonik (Wilson, 1989).	13
Tabel II. 2. Unsur tanah jarang untuk mengevaluasi model petrogenesis (Green, 1980) dalam Wilson (1989).	16
Tabel IV. 1. Stratigrafi daerah penelitian yang disusun berdasarkan prinsip vulkanostratigrafi.	52
Tabel V. 1. Kandungan anortit melalui pengukuran sudut pemadaman albit.....	83
Tabel V. 2. Hasil pengamatan tekstur batuan pada setiap sampel sayatan tipis. (Keterangan v: melimpah; *: sedikit).....	84
Tabel V. 3. Hasil pengamatan mikrotekstur plagioklas pada setiap sampel sayatan tipis. Keterangan (v): melimpah; (*) : sedikit; () : tidak ditemui.	91
Tabel V. 4. Resume analisis dari diferensiasi magma.	108
Tabel V. 5. Tabel Kadar TiO_2 dari beberapa sampel dari daerah penelitian.	117