

DAFTAR ISI

| | |
|--|--------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSETUJUAN PROMOTOR | iii |
| HALAMAN PERSETUJUAN | iv |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | v |
| KATA PENGANTAR..... | vi |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR TABEL | xxii |
| DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN | xxiii |
| SARI | xxvii |
| ABSTRACT | xxix |
| BAB I. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 5 |
| 1.3. Tujuan | 5 |
| 1.4. Lokasi Penelitian | 6 |
| 1.5. Penelitian Sebelumnya | 8 |
| 1.6. Keaslian Penelitian | 10 |
| 1.7. Batasan Penelitian | 11 |
| BAB II. GEOLOGI REGIONAL | 12 |
| 2.1. Tektonik Regional | 12 |
| 2.2. Magmatisme di Sulawesi Barat | 20 |
| 2.3. Geokronologi Gunung Api pada Lengan Barat Sulawesi. | 22 |
| BAB III. LANDASAN TEORI..... | 26 |
| 3.1. Evolusi Magma..... | 26 |
| 3.1.1. Evolusi Magma Pembentukan Gunung Api | 26 |
| 3.1.2. Proses Magmatisme Batuan Alkalin-Peralkaline..... | 31 |
| 3.1.3. Hubungan Tataan Tektonik, Evolusi Magma dan Umur Geologi..... | 40 |
| 3.2. Pengayaan Unsur Radioaktif | 40 |
| 3.2.3. Pengayaan Unsur Radioaktif pada Proses Magmatisme | 41 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 3.2.4. | Pengayaan Unsur Radioaktif pada Batuan Alkalin-Peralkalin..... | 46 |
| 3.2.5. | Mineralisasi Radioaktif di Dunia yang Berkaitan dengan Magmatisme | 48 |
| 3.3. | Hipotesis..... | 53 |
| BAB IV. METODOLOGI | | 54 |
| 4.1. | Studi Meja | 54 |
| 4.2. | Pengambilan Data Lapangan | 54 |
| 4.2.1. | Pemetaan Geologi | 54 |
| 4.2.2. | Pemetaan Radiometri Tanah dan Batuan | 56 |
| 4.2.3. | Pendataan dan Pengambilan Contoh Inti Bor | 57 |
| 4.2.4. | Pengamatan Mineralisasi | 58 |
| 4.3. | Analisis Laboratorium | 59 |
| 4.3.1. | Analisis Petrografi..... | 59 |
| 4.3.2. | Analisis <i>X-Ray Fluoresence</i> (XRF) | 60 |
| 4.3.3. | Analisis ICP-MS | 62 |
| 4.3.4. | Analisis Mikro-XRF..... | 62 |
| 4.3.5. | Analisis AMICS | 63 |
| 4.3.6. | Analisis XRD (<i>X-Ray Diffraction</i>) | 63 |
| 4.3.7. | Analisis Umur Batuan | 64 |
| 4.4. | Analisis Data dan Pelaporan | 66 |
| 4.4.6. | Analisis Data Laboratorium | 66 |
| 4.4.7. | Analisis Terpadu | 67 |
| 4.5. | Diagram Alir Penelitian | 68 |
| 4.6. | Jadwal Penelitian | 69 |
| BAB V. GEOLOGI DAERAH PENELITIAN..... | | 70 |
| 5.1. | Geomorfologi..... | 70 |
| 5.2. | Stratigrafi | 74 |
| 5.2.1. | Batuan Sedimen Tua | 74 |
| 5.2.2. | Batuan Khuluk Gunung Api Talaya | 75 |
| 5.2.3. | Batuan Khuluk Gunung Api Adang | 76 |
| 5.2.4. | Kelompok Batuan Sedimen Muda..... | 83 |
| 5.3. | Struktur Geologi..... | 86 |
| BAB VI. PETROGENESIS DAN EVOLUSI MAGMA BATUAN GUNUNG API ADANG | | 89 |

| | |
|---|------------|
| 6.1. Petrologi Batuan Khuluk Gunung Api Adang | 91 |
| 6.2. Geokimia Batuan Khuluk Gunung Api Adang..... | 107 |
| 6.3. Geokronologi Batuan Gunung Api Adang | 114 |
| 6.4. Evolusi Magmatisme Khuluk Gunung Api Adang..... | 126 |
| 6.4.1. Evolusi Geokronologi Batuan Gunung Api Adang | 127 |
| 6.4.2. Evolusi Tektonik Pembentukan Batuan Gunung Api Adang..... | 128 |
| 6.4.3. Evolusi Diferensiasi Magma Batuan Gunung Api Adang | 131 |
| BAB VII. RADIOMETRI DAN MINERALISASI MINERAL | |
| RADIOAKTIF | 135 |
| 7.1. Pemetaan Radiometri | 135 |
| 7.1.1. Laju Dosis Radiasi (DR). | 137 |
| 7.1.2. Potassium (%K) | 138 |
| 7.1.3. Uranium (ppm eU) | 139 |
| 7.1.4. Torium (ppm eTh)..... | 140 |
| 7.2. Karakterisasi Mineralisasi | 141 |
| 7.2.1. Mineralisasi Tipe Urat..... | 141 |
| 7.2.2. Mineralisasi Tipe Laterit | 156 |
| 7.2.3. Mineralisasi Tipe Sedimenter..... | 166 |
| 7.3. Daerah Prospek Mineralisasi..... | 172 |
| 7.3.1. Daerah Prospek Mineralisasi Uranium (U) | 172 |
| 7.3.2. Daerah Prospek Mineralisasi Torium (Th) | 173 |
| BAB VIII. HUBUNGAN EVOLUSI MAGMA DAN MINERALISASI | |
| RADIOAKTIF..... | 175 |
| 8.1. Pengayaan Mineral Radioaktif pada Proses Magmatisme Gunung Api Adang..... | 175 |
| 8.2. Proses Pembentukan Cebakan Mineral Radioaktif..... | 178 |
| 8.2.1. Pembentukan Cebakan Torium | 178 |
| 8.2.2. Pembentukan Cebakan Uranium | 181 |
| BAB IX. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI..... | 183 |
| 9.1. Kesimpulan | 183 |
| 9.1.1. Evolusi Magma Pembentukan Batuan Gunung Api Adang..... | 183 |
| 9.1.2. Mineralisasi Mineral Radioaktif..... | 184 |
| 9.2. Rekomendasi..... | 185 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 186 |

| | |
|--|------------|
| LAMPIRAN 1. Daftar Sampel dan Jenis Analisis | 199 |
| LAMPIRAN 2. Hasil Analisis Petrografi..... | 202 |
| LAMPIRAN 3. Hasil Analisis Geokimia XRF | 243 |
| LAMPIRAN 4. Hasil Analisis Geokimia ICP-MS | 250 |
| LAMPIRAN 5. Hasil Analisis Micro XRF dan AMICS..... | 252 |
| LAMPIRAN 6. Hasil Analisis XRD | 353 |
| LAMPIRAN 7. Hasil Analisis K-Ar | 363 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 1.1. Skema keterdapatan mineral radioaktif pada system gunung api (Kyser, 2013)..... | 2 |
| Gambar 1.2. Peta laju dosis radiasi gamma lingkungan di Indonesia (Iskandar et al., 2014)..... | 4 |
| Gambar 1.3. Lokasi Daerah Penelitian Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat (https://sentrapeta.com/peta-atlas-provinsi-sulawesi-barat). | 7 |
| Gambar 1.4. Hasil interpretasi kelurusan dan bentukan gunung api berdasarkan Citra Landsat-8 pada lokasi penelitian, daerah Mamuju, Sulawesi Barat (Indrastomo et al., 2017) (https://earthexplorer.usgs.gov)..... | 7 |
| Gambar 2.1. a. Pengaruh tektonik dan sebaran batuan gunung api di Sulawesi (Wilson and Moss, 1999), b. Pembagian mandala geologi dan metalogeni pulau Sulawesi (van Leeuwen and Pieters, 2011)..... | 14 |
| Gambar 2.2. Tahapan tektonik di Sulawesi dan Kalimantan, a. Kapur Awal, subduksi kerak samudera ke arah Kalimantan bagian tenggara akibat gerakan ke barat laut kerak benua mikro SW Sulawesi (Mikroplate laut Jawa Timur), sehingga membentuk suatu kompleks akresi, b. Kapur Akhir, kerak benua mikro SW Sulawesi mengalami kolisi dengan SE Kalimantan, diteruskan pergerakan lempeng Pasifik menyebabkan subduksi baru ke arah barat pada bagian timur SW Sulawesi, kerak samudera menunjam ke bawah kerak benua mikro SW Sulawesi, c. Paleosen, seluruh bagian pegunungan Meratus telah terangkat dengan terbentuknya block faulting dan di bagian timur kerak benua mikro Banggai-Sula telah mendekat, d. Eosen, terjadinya vertical sinking (penajaman sudut penunjaman akibat tekanan mantel atas) dari slab yang menunjam pada zona subduksi menyebabkan terjadinya pemekaran pada bagian back arc yaitu pembukaan selat Makasar, e. Oligosen, kolisi ofiolit di bagian timur Sulawesi dengan kerak benua mikro SW Sulawesi menyebabkan terhentinya pemekaran di Selat Makasar dan berhentinya pembentukan kerak samudera baru di Selat Makasar, f. Miosen Tengah – Akhir, terjadi kolisi kerak benua mikro Banggai-Sula dengan ofiolit bagian timur Sulawesi menyebabkan terjadinya penunjaman ganda di bagian timur dan di bagian barat (Guntoro, 1999). | 18 |
| Gambar 2.3. Tiga lajur penampang seismik di Selat Makasar bagian Utara, a. Pada bagian barat leher pulau terdapat manifestasi zona terdeformasi dan tidak terdeformasi, b. Pada bagian bawah terdapat bentukan menyerupai gunung api bawah laut, c. sebaran basalt menunjukkan adanya bentukan kerak samudera baru (Puspita et al., 2005), d. intrpretasi sismik selat makasar hingga Sulawesi Barat (Satyana et al., 2011). | 19 |
| Gambar 2.4. Peta Geologi Regional daerah Sulawesi Barat (Ratman and Atmawainata, 1993)..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Gambar 2.5. Sebaran hasil analisis pentarikan umur dengan fission track (FT) yang dilakukan pada mineral a=apatit dan z=zircon (Bergman et al., 1996) yang ditampilkan pada peta dasar DEM dari (https://earthexplorer.usgs.gov)..... | 25 |
| Gambar 3.1. Kelas saturasi alumina berdasarkan persen molar [Al_2O_3 vs ($CaO + Na_2O + K_2O$)], (A''/CNK'') dari Shand (1927) dalam (Winter, 2014). | 31 |
| Gambar 3.2. Variasi rasio alkali untuk (a) kerak samudera, dan (b) seri alkali kerak benua. Garis putus-putus membedakan subdivisi magma alkalin dan daerah yang diarsir mewakili kisaran untuk seri intraplate kerak samudera yang lebih umum (Winter, 2014). | 32 |
| Gambar 3.3. Penampang hipotetis lintas kawah Kraton Archean yang menunjukkan hasil pelelehan parsial (dulu terkait dengan subduksi) dan zona rekahan baru (rift zone)(Winter, 2014)..... | 33 |
| Gambar 3.4. Model skematis untuk vulkanisme samudera. Mantel dengan kedalaman di atas 660 km ditunjukkan dengan discontinuity seismik menghasilkan variasi depleted mantle (DM), dan merupakan sumber MORB tipe-N. Di bawah 660 km adalah sumber utama magma E-MORB dan OIB. Kantong dalam dan merupakan mantel yang tidak habis yang mengandung mantel yang diperkaya (EM), mantel (HIMU), mungkin mantel primitif (BSE) dan umumnya menghasilkan (PREMA). Nomenklatur dari Zindler dan Hart (1986) dalam (Winter, 2014)..... | 36 |
| Gambar 3.5. Diagram K_2O-SiO_2 dari hampir 700 sampel analisis untuk vulkanik busur kepulauan Quaternary dari busur Sunda-Banda (Winter, 2014). | 38 |
| Gambar 3.6. Penampang skematis dari zona sub-duksi busur kontinental (Winter, 2014)..... | 39 |
| Gambar 3.7. Konsep keterdapat konsentrasi uranium dan torium pada siklus geologi, melibatkan sumber pengayaan uranium pada magmatik utama (yaitu PAK (peralkaline), HKCa (kalk-alkali K tinggi), dan PAI (peraluminus)) juga ditampilkan. (Cuney, 2009, 2014)..... | 41 |
| Gambar 3.8. Mineralisasi uranium pada batuan gunung api (Bruneton, 2014) | 43 |
| Gambar 3.9. a). Diagram sebaran unsur berdasarkan valensi dan radius ion, b) Evolusi uranium dan torium pada batuan (Cuney and Friedrich, 1987) | 46 |
| Gambar 3.10. Model sistem mineral uranium terkait dengan magma peraluminous (merah muda) dan peralkaline (elips plum gelap), pada kedalaman mulai dari lingkungan vulkanik hingga plutonik. Contoh deposit dan distrik uranium ditampilkan disingkat sebagai berikut: MC - Massif Central deposit, Prancis; Deposit K - Kvanefjeld, Kompleks Illimausaq, Greenland; Deposit RA - Ross Adams, kompleks Gunung Bokan, Alaska; CW - Deposit Sumur Crocker, New South Wales; S - deposito Streltsovka, Rusia (Skirrow et al., 2009)..... | 47 |
| Gambar 3.11. Evolusi umum dari kandungan Th dan U serta rasio Th/U selama fraksinasi magmatik dalam batuan peralkalin kaya uranium, batuan | |

| | |
|--|----|
| beku calc-alkaline dan high-K-alkalin. Mineral pembawa-U dari setiap jenis batuan beku telah ditunjukkan dalam diagram sesuai dengan rata-rata rasio Th /U (Cuney, 2014)..... | 48 |
| Gambar 4.1. a. Klasifikasi batuan beku plutonik, dan b. Klasifikasi batuan beku vulkanik berdasarkan kandungan mineral QAPF (Streckeisen, 1976; Le Bas and Streckeisen, 1991; Le Maitre, 2002)..... | 55 |
| Gambar 4.2. Garis spektrum emisi sinar gamma dari a) potassium; b) uranium; c) torium (IAEA, 2003)..... | 57 |
| Gambar 4.3. Lokasi pemboran untuk pengambilan sampel bawah permukaan di Desa Botteng, Takandeang dan Ahu yang ditampilkan pada peta dasar dari DEM SRTM bersumber dari (https://earthexplorer.usgs.gov)..... | 58 |
| Gambar 4.4. Lokasi pengambilan sampel bijih tipe urat yang diambil untuk analisis XRF-ICP MS dan Micro XRF (peta dasar dan garis kontur diolah dari DEM SRTM bersumber dari (https://earthexplorer.usgs.gov)..... | 59 |
| Gambar 4.5. Peta sebaran lokasi pengambilan sampel untuk analisis mineralogi dan geokimia dengan menggunakan XRF. | 61 |
| Gambar 4.6. Sebaran sampel untuk analisis pentarikan umur dengan K-Ar..... | 65 |
| Gambar 4.7. Diagram alir Tahapan dan Metode Penelitian..... | 68 |
| Gambar 5.1. Gambaran morfologi daerah Mamuju, a. Bentuk kubah dan Kerucut sumbat gunung api, b. Morfologi dataran pantai, c. Perbukitan structural dan sisa gunung api..... | 72 |
| Gambar 5.2. Peta Geomorfologi yang dilengkapi dengan pola aliran sungai pada daerah penelitian dengan landsat-8 bersumber dari (https://earthexplorer.usgs.gov)..... | 73 |
| Gambar 5.3. Singkapan batuan Khuluk Gunung Api Talaya; a. Singkapan lava riolit di tepi jalan raya Majene-Mamuju, b. Singkapan lava riolit di tepi pantai Kecamatan Pamboang, Majene, Sulawesi Barat. | 75 |
| Gambar 5.4. Singkapan batuan Gumuk Gunung Api Ampalas; a. Trakit biotite dengan mega kristal sanidin yang masih memiliki stuktur xenolith berupa batuan sedimen tua, b. Fonolit dengan mega kristal leusit, c. Leusitit, d. Fonolitlit dengan ukuran halus..... | 77 |
| Gambar 5.5. Singkapan batuan Gumuk Gunung Api Mamuju; a,b. Lava fonolit dengan dyke yang lebih mafik, c. Lava dengan breksiasi dan teroksidasi kuat, d. Breksi fonolit dengan fragmen batuan leucitit. | 79 |
| Gambar 5.6. Singkapan batuan Gumuk Gunung Api Takandeang; a. Breksi gunung api di Daerah Taan, b. Lava dengan breksiasi dan teroksidasi kuat di Daerah Taan..... | 80 |
| Gambar 5.7. Singkapan batuan Gumuk Gunung Api Sumare; a,b. Singkapan batuan piroklastik yang menunjukkan fragmen bom dan blok serta masa dasar lapilli dan tuf. c. lava dengan breksiasi dan hubungan ketidakselarasan dengan breksi. | 81 |

- Gambar 5.8. Singkapan batuan Gumuk Gunung Api Tapalang; a., b. Kenampakan lava bantal yang terpotong tegak lurus arah aliran, c. Lava bantal tampak dari samping, d. Lava bantal yang tersingkap sejajar arah aliran. ...83
- Gambar 5.9. Singkapan batuan kelompok Gunung Api Kelompok Sedimen Muda; a. Singkapan batugamping kristalin yang tersingkap dengan kontak lapukan lava bantal di bawahnya, b. Breksi campuran dengan fragmen batugamping dan breksi fonolit.....84
- Gambar 5.10. Singkapan batuan sedimen muda; a. batupasir tufan yang mengalami proses tektonik hingga membentuk struktur gradasi terbalik, b. bonglomerat, c. batupasir dengan sisipan batulempung, d. konglomerat dengan sortasi yang buruk.....85
- Gambar 5.11. Singkapan struktur geologi di Daerah Takandeang dan Daerah Hulu Mamuju.....87
- Gambar 5.12. Struktur 1. N 256 E/89 NW dan bidang struktur N 135 E/87 SE. 77 E/83 SE dan N 143 E/82 SW yang mendominasi Daerah Hulu Mamuju dan daerah Takandeang.....87
- Gambar 5.13. a. Peta Geologi detail daerah penelitian modifikasi dari (Sukadana et al., 2015; Indrastomo et al., 2016b) ; b. Interpretasi Penampang Geologi berdasarkan data permukaan88
- Gambar 6.1. Fotomikrograf batuan khuluk Gunung Api Talaya; a,b). Polarisasi sejajar dan bersilang batuan andesit (Le Maitre, 2002)90
- Gambar 6.2. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) dan sebaran mineral hasil pemetaan dengan menggunakan AMICS menunjukkan bahwa batuan ini dapat dikelompokkan ke dalam quartz latite (Streckeisen, 1979; Le Maitre, 2002)90
- Gambar 6.3. Fotomikrograf batuan pada Gumuk Ampalas; a,b). Polarisasi sejajar dan bersilang batuan nefelin-sanidine trakit (Le Maitre, 2002), c,d). Polarisasi sejajar dan bersilang hasil pengamatan lava (Streckeisen, 1979; Le Maitre, 2002), e,f). Hasil pengamatan leusit-fonolit (Streckeisen, 1979; Le Maitre, 2002)92
- Gambar 6.4. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) pada sampel batuan dari kubah lava Ampalas hasil pemetaan mineral dengan menggunakan AMICS menunjukkan keterdapatan mineral sanidin yang dominan, batuan ini dikelompokkan ke dalam batuan nefelin-sanidin trakit (Le Bas and Streckeisen, 1991).....93
- Gambar 6.5. Hasil Analisis Micro XRF dan AMICS sample Leucitite (diperlukan Analisis kimia mineral yang berasal dari mono mineral) hasil pemetaan dengan menggunakan AMICS yang menunjukkan keterdapatan mineral leusit yang dominan, batuan ini dikelompokkan ke dalam batuan leusit trakifonolit (Le Bas and Streckeisen, 1991).....94
- Gambar 6.6. Fotomikrograf batuan pada Gumuk Gunung Api Mamuju; a,b). polarisasi sejajar dan bersilang batuan alkali feldspar trakit (Le Maitre,

- 2002), c,d). Polarisasi sejajar dan polarisasi bersilang hasil pengamatan lava fonolitoid, e,f). Hasil pengamatan leusitit (Streckeisen, 1979; Le Maitre, 2002).96
- Gambar 6.7. Hasil analisis Micro XRF menunjukkan dominasi Al, Si, Ca, K, Fe dan Mg dan hasil analisis AMICS yang menunjukkan keterdapatannya mineral augit yang dominan yaitu augit, leusit dan masa dasar, batuan ini dikelompokkan ke dalam batuan leusit-fonolit (Streckeisen, 1979; Le Bas and Streckeisen, 1991; Le Maitre, 2002).....97
- Gambar 6.8. Hasil analisis Micro XRF menunjukkan dominasi Al, Si, Ca, K, Fe dan Mg dan hasil analisis AMICS yang menunjukkan keterdapatannya mineral yang dominan yaitu augit, leusit, hematit dan masa dasar, batuan ini dikelompokkan ke dalam batuan leusitik-fonolit (Streckeisen, 1979; Le Bas and Streckeisen, 1991; Le Maitre, 2002).....98
- Gambar 6.9. Fotomikrograf batuan pada Gumuk Takandeang; a,b). Polarisasi sejajar dan polarisasi bersilang batuan leusitit dengan kandungan klinopiroksen c,d). Polarisasi sejajar dan polarisasi bersilang hasil pengamatan leusitit dengan bentuk klinopiroksen yang memanjang, e,f). Hasil pengamatan leusitit dengan kandungan biotit (Streckeisen, 1979).....99
- Gambar 6.10. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) pada batuan fonolit Takandeang (TKDK 11-42), dan sebaran mineral hasil pemetaan dengan menggunakan AMICS yang dapat dikelompokkan dalam batuan soda-leusit fonolit (Le Bas and Streckeisen, 1991; Le Maitre, 2002) 100
- Gambar 6.11. Fotomikrograf batuan pada Gumuk Gunung Api Sumare; a,b). Polarisasi sejajar dan bersilang batuan klinopiroksen leusitit (Streckeisen, 1979), c,d). Polarisasi sejajar dan bersilang hasil pengamatan breksi piroklastik yang telah teralterasi , e,f). Hasil pengamatan leusitit dengan struktur skeletal. 101
- Gambar 6.12. Fotomikrograf batuan pada Gumuk Sumare di Bagian Selatan; a,b). Polarisasi sejajar dan bersilang batuan foid monzosyenit, c,d). polarisasi sejajar dan bersilang hasil pengamatan lava fonolit, e,f). Hasil pengamatan trakit (Streckeisen, 1979). 102
- Gambar 6.13. Fotomikrograf batuan pada Gumuk Tapalang; a,b). Polarisasi sejajar dan bersilang batuan traki-fonolit c,d). Polarisasi sejajar dan bersilang hasil pengamatan lava fonolitoid, e,f). Hasil pengamatan leusitit (Streckeisen, 1979). 104
- Gambar 6.14. Perbandingan spektrum “soda leusit/ pseudo-leusit” hasil analisis μ XRF dengan spektrum standar mineral leusit pada pangkalan data AMICS..... 105
- Gambar 6.15. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) pada sampel batuan fonolit Ahu hasil pemetaan dengan menggunakan AMICS yang menunjukkan keterdapatannya mineral soda-leusit yang dominan, batuan ini dikelompokkan ke dalam batuan traki-fonolit (Le Maitre, 2002)..... 106

- Gambar 6.16. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) pada sampel batuan Fonolit Ahu dengan menggunakan Micro XRF Na, Si, Al dan Fe, hasil pemetaan dengan menggunakan AMICS yang menunjukkan keterdapatan mineral soda-leusit yang dominan, batuan ini dikelompokkan ke dalam batuan traki-fonolit (Le Bas and Streckeisen, 1991; Le Maitre, 2002). 106
- Gambar 6.17. Plotting geokimia batuan dengan hasil XRF dan ICP-MS. a. Hasil plotting binary diagram penbandingan molaritas $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO)$ vs $CaO/(Na_2O+K_2O+CaO)$ (Barton and Young, 2002). b. Klasifikasi diagram TAS ($K_2O + Na_2O$ versus SiO_2 /total alkali silika (Le Bas and Streckeisen, 1991) (Peccerillo and Taylor, 1976), untuk batuan gunung api Adang. 108
- Gambar 6.18. Diagram harker yang menunjukkan hubungan antara SiO_2 dengan unsur lainnya, diantaranya Mg, Mn, P, Fe, Ti dan Na yang menunjukkan kaitan antara SiO_2 dengan unsur mayor. 109
- Gambar 6.19. Diagram diskriminasi Th (ppm) vs Co (ppm), sebagai pengelompokkan afinitas batuan berdasarkan unsur jejak yang menunjukkan klasifikasi batuan Gunung Api Talaya dan Gunung Api Adang (Hastie et al., 2007). 110
- Gambar 6.20. Plotting geokimia batuan dengan hasil dengan ICP-MS berdasarkan rasio dari unsur tanah jarang ringan La/10-Y/15-Nb/8 yang digunakan untuk tataan dari batuan gunung api (Cabanis and Lecolle, 1989). 111
- Gambar 6.21. Pola unsur jejak dan unsur tanah jarang (Sun and McDonough, 1989) ... 112
- Gambar 6.22. Perbandingan pola unsur jejak dan REE dengan normalisasi rerata kandungan pada upper crust (Taylor and McLennan, 1981) 112
- Gambar 6.23. Pola unsur tanah jarang dengan normalisasi chondrites (Sun and McDonough, 1989). 114
- Gambar 6.24. a. Diagram A-CN-K menunjukkan variasi komposisi K_2O dalam sampel (Nesbitt and Young, 1989), b. A-CNK-FM menunjukkan tren batuan tidak memiliki faktor yang sesuai dengan klasifikasi batuan dan belum terdapat batuan mengalami alterasi signifikan (Nesbitt and Wilson, 1992; Babechuk et al., 2014), c. Perbandingan antara Alteration Index (AI) dan Advance Argillic Ateration Index (AAAI) menunjukkan bahwa tiga sample merupakan sample yang tidak teralterasi dan dua sampel sedikit terkloritisasi (Williams and Davidson, 2004). 116
- Gambar 6.25. Diagram TAS dengan plot $Na_2O + K_2O$ vs SiO_2 untuk batuan KhulukGunung Api Talaya dan Khuluk Gunung Api Adang yang dianalisis K-Ar (Le Bas and Streckeisen, 1991). 117
- Gambar 6.26. a. Diagram spider unsur jejak dengan nomalisasi Chondrite (McDonough and Sun, 1995), b. Diagram spider unsur tanah jarang dengan nomalisasi Chondrite (McDonough and Sun, 1995). 117

| | |
|--|-----|
| Gambar 6.27. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) dan sebaran mineral hasil identifikasi dengan menggunakan AMICS yang mengelompokkan batuan ke dalam klasifikasi trakit (Le Maitre, 2002)..... | 119 |
| Gambar 6.28. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) pada batuan basaltik soda-leusit Takandeang (TKDK 11-42), dan sebaran mineral hasil pemetaan dengan menggunakan AMICS yang dapat dikelompokkan dalam batuan soda-leusit fonolit (Le Bas and Streckeisen, 1991) | 120 |
| Gambar 6.29. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) pada batuan pada sampel SMR-01, dan sebaran mineral hasil pemetaan dengan menggunakan AMICS yang dikelompokkan ke dalam batuan pseudoleusit-trakifonolit (Le Bas and Streckeisen, 1991). | 121 |
| Gambar 6.30. Pemetaan sebaran unsur (elemental mapping) pada sampel batuan AHU-4, dan sebaran mineral hasil pemetaan dengan menggunakan AMICS yang menunjukkan keterdapatan mineral leusit yang dominan, batuan ini dikelompokkan ke dalam batuan pseudoleusit- trachifonolit (Le Bas and Streckeisen, 1991)..... | 122 |
| Gambar 6.31. Hasil pentarikan umur dengan metode K-Ar yang di plot dalam Tabel umur geologi (https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2022-02.pdf),..... | 123 |
| Gambar 6.32. Sebaran hasil analisis pentarikan umur K-Ar dan $Ar^{39}-Ar^{40}$ (A/A) pada beberapa mineral dan batuan seperti biotot (b), plagioklas (pl), flogopit (phl), sanidin (sn), hornblende (h), white mica (wm), dan whole rock (wr) (Bergman et al., 1996)..... | 125 |
| Gambar 6.33. Skematik proses evolusi magma di Sulawesi Barat, a. kondisi kompresi selat makassar dan pembentukan anjakan Majene pada Pertengahan Miosen, b. Proses vulkanisme Khuluk Gunung Api Talaya yang sangat dipengaruhi kerak benua, c. Proses vulkanisme Khuluk Gunung Api Adang yang sangat kompleks..... | 126 |
| Gambar 6.34. Tataan tektonik batuan khuluk Gunung Api Adang menunjukkan variasi batuan yang merupakan produk Calk-Alkaline Arc hingga Late to Post orogenic with continental domain (Cabanis and Lecolle, 1989).... | 129 |
| Gambar 6.35. Tataan tektonik batuan Khuluk Gunung Api Adang menunjukkan variasi yang beragam (Pearce and Cann, 1973; MacLean and Barrett, 1993)..... | 130 |
| Gambar 6.36. Diskriminan tektonik dengan rasio La/Yb vs total REE +Y (TREE+Y) (Allegre and Michard, 1974)..... | 130 |
| Gambar 6.37. a) Proses diferensiasi Zr vs Nb (Liu et al., 2014) , dan b) Zr vs Pb. | 134 |
| Gambar 7.1. a) Spektrum tipe sinar gamma sesuai dengan rentang energi (IAEA, 2003), b) Sebaran data pengukuran radiometri dengan luasan sekitar 800 km ² | 135 |

| | |
|--|-----|
| Gambar 7.2. a) Statistik sebaran data laju dosis radiasi, b) Hasil interpolasi laju dosis radiasi di Daerah Mamuju. Nilai Anomali Radiometri dengan rentang nilai 982 - 26,769 nSv/h (ditunjukkan dengan batas garis merah)..... | 138 |
| Gambar 7.3. a. Grafik distribusi data potassium, b) Interpolasi data Potasium (%K) di Mamuju..... | 139 |
| Gambar 7.4. a. Grafik distribusi data uranium, b) Sebaran data dan anomali uranium di Wilayah Mamuju | 140 |
| Gambar 7.5. a) Grafik distribusi data torium, b) Hasil interpolasi data yang menghasilkan anomaly data torium..... | 141 |
| Gambar 7.6. a). Pembuatan kupasan pada lokasi anomali MV 0, Hulu Mamuju. b). Bidang mineralisasi pada zona frakturasi..... | 142 |
| Gambar 7.7.a). Pembuatan kupasan pada lokasi anomali MV 1, Hulu Mamuju. b). Minerlisasi pada batuan yang lapuk. c). Zona frakturasi pada lokasi anomaly radiometri. d). Hasil pengukuran assay radiometri menunjukkan nilai laju dosis radiasinya sekitar 177,3 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ | 142 |
| Gambar 7.8.a). Pembuatan kupasan pada lokasi anomali MV 2, Hulu Mamuju. b). Minerlisasi pada batuan yang masih solid dan keras c). Pengukuran anomaly detil pada bidang mineralisasi. d). Hasil pengukuran assay radiometri menunjukkan nilai laju dosis radiasinya sekitar 46,4 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ | 143 |
| Gambar 7.9.a). Pengukuran dan pembuatan kupasan pada lokasi anomali MV 4, Hulu Mamuju. b). Minerlisasi ditemukan pada kedalaman 1 m dan berupa batuan teralterasi c). Frakturasi dan alterasi yang sangat intensif pada batuan, d). Hasil pengukuran assay radiometri menunjukkan nilai laju dosis radiasinya sekitar 1,2 $\text{mSv} \cdot \text{h}^{-1}$ | 144 |
| Gambar 7.10. Peta sebaran bidang mineralisasi di Sektor Hulu Mamuju (Sukadana et al., 2022)..... | 145 |
| Gambar 7.11. Korelasi antara torium dan oksida dan elemen lainnya..... | 147 |
| Gambar 7.12. Spider diagram REE+Y dinormalisasi dengan Chondrite (Sun and McDonough, 1989)..... | 147 |
| Gambar 7.13. Trace elements ratio of La/Yb vs TREY showing the ratio is >20 and TREY >600 (Allegre and Michard, 1974). | 148 |
| Gambar 7.14. Analisis petrografi sampel MV6 dan MV 7. a, b). Polarisasi MV06 paralel dan bersilangan menunjukkan alterasi dan distribusi britolit (Bri), zeolit (Zeo) dan serisit (Ser), c,d). Polarisasi yang sejajar dan bersilangan pada irisan tipis MV07 menunjukkan britholite (Bri) , hematit (Hem), zeolit (Zeo) dan serisit (Ser)..... | 149 |
| Gambar 7.15. Spektrum piksel yang mengandung Th, P, Si, Ce, La dan Nd. | 151 |
| Gambar 7.16. Hasil pemetaan unsur menunjukkan, akumulasi unsur radioaktif (Th dan U) dan REE (Ce, Nd, dan Y) dalam satu mineral sebagai mineral bentuk fosfat, tetapi asosiasi Fe dan Ti terakumulasi dalam mineral lain. . | 151 |

- Gambar 7.17. Kombinasi hasil pemetaan unsur bijih MV7. Unsur yang dipilih adalah, Th: Torium; La: Lantanum; Ce: Serium; Ca: Kalsium; P: Fosfat; Al: Alumina; Si: Silika; K: Potasium; Ti : Titanium; Fe: Besi; Nb: Niobium. 152
- Gambar 7.18. Hasil analisis AMICS untuk MV 7 yaitu Britholite (Bri), Hematite (Hem), Actinolite (Act), Titanite(Ttn), Zeolit (Zeo), Calcite (Cal), Hedenbergite (Hd), Ankerite (Ank) dan mineral lainnya, dengan singkatan menurut IMA-CNMNC (Warr, 2021) 153
- Gambar 7.19. Hasil analisis AMICS untuk MV 3 yaitu : Ortoclas (Or), Aescinit (Aes), Ilmenit (Ilm), Britolit (Bri), Monasit (Mnz), Flogofit (Phl), Serit (Crt), Illit (Ill), Hematit (Hem), Biotit (Bt), dengan singkatan menurut IMA-CNMNC (Warr, 2021) 154
- Gambar 7.20. a) Lokasi kupadan dengan ketebalan laterit sekitar 12-15 m di Daerah Bebanga. Kec. Kalukku. b) Kenampakan batuan lapuk denga laterit yang cukup tebal di Daerah Rantedunia. Takandeang. Kec.Tapalang. 157
- Gambar 7.21. Fotomikrograf keterdapatan mineral zeolit mengisi bagian rekahan A: Asosiasi dengan kalsit mode PPL (sampel TKDK 12-07). B: Mode XPL (sampel TKDK 12-07). C: Asosiasi dengan oksida besi mode PPL (sampel TKDK 13-02). D: Mode XPL (sampel TKDK 13-02). 160
- Gambar 7.22. Fotomikrograf keterdapatan kelompok mineral kalsit mengisi bagian rekahan A: Mode polarisasi sejajar/PPL (sampel TKDK 12-01). B: Mode XPL (sampel TKDK 12-01). C: Asosiasi dengan zeolit mode PPL (sampel TKDK 13-06). D: Mode XPL (sampel TKDK 13-06). 161
- Gambar 7.23. Fotomikrograf keterdapatan kelompok mineral oksida besi mengisi bagian rekahan asosiasi dengan zeolit. A: Mode PPL (sampel TKDK 12-02). B: Mode XPL (sampel TKDK 12-02). C: Mode PPL (sampel TKDK 13-01). D: Mode XPL (sampel TKDK 13-01). 162
- Gambar 7.24. a) Lokasi mineralisasi uranium pada batuan konglomerat. b) Mineralisasi uranium pada batuan tuf dan konglomerat di Daerah Botteng. Kec. Simboro..... 162
- Gambar 7.25. a) Lokasi mineralisasi uranium pada batuan konglomerat. b) Mineralisasi uranium pada batuan tuf dan konglomerat di Daerah Botteng. Kec. Simboro..... 163
- Gambar 7.26. Peta spektrum tiap unsur dan mineralogi pada sampel TKD 12_11-12 (14x14 mm) menunjukkan uranium tidak mengalami konsentrasi di bagian tertentu pada batuan, sedangkan torium cenderung tersebar pada bagian massa dasar batuan yang tersusun atas aegirin-augit. 163
- Gambar 7.27. Kumpulan mineral yang terbentuk pada derajat keasaman tertentu dan temperatur tertentu pada jenis endapan epitermal (Pirajno, 2009). Kotak merah menunjukkan mineral yang ditemukan di daerah penelitian..... 165
- Gambar 7.28. a) Lokasi mineralisasi uranium pada batuan konglomerat. b) Mineralisasi uranium pada batuan tuf dan konglomerat di Daerah Botteng. Kec. Simboro..... 167

| | |
|--|-----|
| Gambar 7.29. a) Lokasi mineralisasi uranium pada batuan konglomerat di Ds. Salumati, Takandeang, Tapalang. b) Mineralisasi uranium pada batuan tuf dan konglomerat di Desa Takandeang, Kec. Tapalang. | 167 |
| Gambar 7.30. Mineralisasi uranium pada konglomerat di Daerah Salumati, Takandeang, Tapalang. | 169 |
| Gambar 7.31. Spektrum mineral apatit yang merupakan mineral pembawa uranium | 169 |
| Gambar 7.32. Mineralisasi uranium pada batuan endapan tuf pasir di Daerah Ampalas. | 170 |
| Gambar 7.33. Daerah prospek lokasi keterdapatan mineralisasi uranium | 173 |
| Gambar 7.34. Daerah prospek Mineralisasi torium di Daerah Mamuju | 174 |
| Gambar 8.1. Korelasi Th dan U yang mencerminkan proses pelelehan sebagian mantel dan fase kristalisasi fraksional (Cuney, 2014) | 176 |
| Gambar 8.2. Skematik Model Proses magmatisme dan pengayaan unsur U,Th, REE, Zr, Ba dan Sr serta unsur inkompatibel lainnya | 178 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|-----|
| Tabel 1.1. Ringkasan hasil peneliti terdahulu di daerah penelitian | 9 |
| Tabel 3.1. Karakteristik Magma yang dihasilkan dari beberapa tataan tektonik (Wilson, 1989). | 28 |
| Tabel 3.2. Jenis mineral radioaktif sesuai dengan genesis mineralisasinya (Lauf, 2008) | 52 |
| Tabel 4.1. Rincian jadual kegiatan penelitian..... | 69 |
| Tabel 5.1. Hasil analisis geokimia oksida Mayor dengan XRF dan unsur jejak serta unsur tanah jarang dengan ICP-MS terhadap sampel terpilih, antara lain berasal dari Gumuk Gunung Api Sumare (Sum), Mamuju (Mju), Tapalang (Tpl), Takandeang (Tkd) dan Khuluk Gunung Api Talaya (Tly). | 115 |
| Tabel 5.2. Hasil Analisis pentarikan umur dengan metode K-Ar..... | 123 |
| Tabel 7.1. Perhitungan statistik dari data radiometri | 136 |
| Tabel 7.2. Hasil statistik data dengan menggunakan perangkat lunak NCSS..... | 137 |
| Tabel 7.3. Hasil analisis geokimia unsur jejak dan unsur tanah jarang hasil analisis XRF dan ICP-MS (Sukadana et al., 2022) | 146 |
| Tabel 7.4. Komposisi mineral yang dihasilkan oleh AMICS | 155 |
| Tabel 7.5. Hasil analisis XRF untuk contoh batuan lapuk/tanah | 158 |
| Tabel 7.6. Hasil analisis geokimia dengan menggunakan XRF tanpa konversi dan normalisasi. | 168 |

DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

A). Singkatan dan Satuan Umum

| | |
|-----------------|--|
| EPMA | - <i>Electron probe micro-analyzer</i> |
| ICP-MS | - <i>Inductively coupled plasma- mass spectrometry</i> |
| QEMSCAN | - <i>Quantitative evaluation of minerals by scanning electron microscope</i> |
| XRF | - <i>X-ray fluorescence</i> |
| μ-XRF | - <i>Micro XRF (Micro- X-ray fluorescence)</i> |
| AMICS | - <i>Advanced Mineral Identification Characterization System</i> |
| XRD | - <i>X-ray Diffraction</i> |
| FI | - <i>Fluid inclusion/ Inklusi Fluida</i> |
| LOI | - <i>Loss on ignition</i> |
| K/Ar | - <i>Potassium argon dating/ Pentarikan umur dengan Metode K/Ar</i> |
| Ma | - <i>Million years/ Juta tahun</i> |
| LILE | - <i>Large ionic lithophile elements</i> |
| HFSE | - <i>High field strength elements</i> |
| REE | - <i>Rare earth elements/ Unsur tanah jarang (UTJ)</i> |
| LREE | - <i>Light rare earth elements/ Unsur tanah jarang ringan</i> |
| HREE | - <i>Heavy rare earth elements/ Unsur tanah jarang berat</i> |
| TREE | - <i>Total rare earth elements/ Unsur tanah jarang</i> |
| N-TypeMORB | - <i>Normal type mid ocean ridge basalt</i> |
| E-TypeMORB | - <i>Enriched type mid ocean ridge basalt/ Basal</i> |
| AA | - <i>Advanced argillic/ Fase argilik tingkat lanjut</i> |
| IA | - <i>Intermediate argillic/ Fase alterasi argilik menengah</i> |
| PPL | - <i>Plane polarized light/ Polarisasi sejajar</i> |
| XPL | - <i>Crossed polarized light/ Polarisasi bersilang</i> |
| P | - <i>Pressure/ Tekanan</i> |
| T | - <i>Temperature/ Suhu</i> |
| N | - <i>North</i> |
| W | - <i>West</i> |
| S | - <i>South</i> |
| E | - <i>East</i> |
| GPS | - <i>Global positioning system</i> |
| UTM | - <i>Universal transverse mercator (coordinate system/sistem koordinat)</i> |
| Amp | - <i>Ampalas</i> |
| Adg | - <i>Adang</i> |
| Mjn | - <i>Majene</i> |
| Mju | - <i>Mamuju</i> |
| Mld | - <i>Malunda</i> |
| Sum | - <i>Sumare</i> |
| Tpl | - <i>Tapalang</i> |
| Tkd | - <i>Takandeang</i> |
| Tly | - <i>Talaya</i> |
| ppm | - <i>Parts per million/ bagian per juta</i> |
| km | - <i>Kilometer</i> |
| km ³ | - <i>Cubic kilometer / kilometer kubik</i> |
| cm | - <i>Centimeter / sentimeter</i> |
| mm | - <i>Millimeter</i> |

| | |
|-------------------|---------------------------------|
| wt. % | - Weight percent / persen berat |
| g/t | - Gram per ton |
| g/cm ³ | - Gram per cubic centimeter |
| μm | - Micrometer |
| °C | - Degree Celsius |
| equiv. | - Equivalent |
| et al. | - And others (et alii) |
| i.e. | - That is (id est) |
| e.g. | - For example (exempli gratia) |
| ect. | - And so on (et cetera) |
| ca. | - Approximately (circa) |

B). Singkatan Nama Batuan (*Rock Abbreviations*) dan Nama Satuan Batuan

Beberapa singkatan untuk batuan utama di daerah penelitian

| | |
|---------|---|
| AND | - Andesite / Andesit |
| CD | - Quartz diorite/ Diorit kuarsa |
| CO | - Conglomerate |
| LS | - Limestone |
| MED | - Hornblende-pyroxene diorite |
| MD | - Hornblende microdiorite/ <i>Mikrodiorit hornbleda</i> |
| VC | - Volcaniclastic rock |
| QZT | - Quartzite/ Kuarsa |
| SS | - Sandstone/Batupasir BPS |
| SY | - Syenit |
| Qa | - Endapan Aluvial |
| Qd | - Endapan Sungai |
| Bgpt | - Batugamping koral |
| Brkl | - Breksi-Konglomerat |
| Kgl | - Konglomerat |
| Bps | - Batupasir |
| Brk | - Breksi |
| Bgpk | - Batugamping |
| Brv(tp) | - Breksi vulkanik Tapalang |
| Lvd(tp) | - Kubah lava Tapalang |
| Brv(sm) | - Breksi vulkanik Sumare |
| Lv(sm) | - Lava Sumare |
| Lvb(sm) | - Lava breksi Sumare |
| Brv(tk) | - Breksi vulkanik Takandeang |
| Lv(tk) | - Lava Takandeang |
| Brv(mj) | - Breksi vulkanik Mamuju |
| Lv(mj) | - Lava Mamuju |
| Brv(am) | - Breksi vulkanik Ampalas |
| Lvd(am) | - Kubah lava Ampalas |
| Brv(md) | - Breksi vulkanik Malunda |
| Lva(md) | - Lava andesit Malunda |
| Blp | - Batulempung |

D). Singkatan Penamaan Mineral (*Mineral Abbreviations*)

Untuk singkatan mineral digunakan mengikuti sistem Kretz (1983) and Whitney & Evans (2010).

| | |
|------|---|
| Ab | - Albite $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ |
| Ac | - Actinolite $\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})$ |
| Adu | - Adularia $(\text{KAlSi}_3\text{O}_8)$ |
| Aeg | - Aegirine $(\text{NaFeSi}_2\text{O}_6)$ |
| Aes | - Aeschynite $((\text{Ce, Ca, Fe, Th})(\text{Ti, Nb})_2(\text{O, OH})_6)$ |
| Alu | - Alunite $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ |
| Apt | - Apatit $(\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH, F, Cl})_2)$ |
| Anh | - Anhydrite CaSO_4 |
| An | - Anorthite $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |
| Aug | - Augite $(\text{Ca, Na})(\text{Mg, Fe, Al, Ti})(\text{Si, Al})_2\text{O}_6$ |
| Aut | - Autunite $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 10-12\text{H}_2\text{O}$, |
| Bri | - Britholite $(\text{Ce, Ca, X})_5(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$ |
| Bt | - Biotite $\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{Al, Fe})\text{Si}_3\text{O}_{10}(\text{OH, F, Cl})_2$ |
| Bn | - Bornite CuFeS_4 |
| Cal | - Calcite CaCO_3 |
| Cct | - Chalcocite $\text{Cu}_2\text{S Fe}^{3+}\text{Si}_2\text{O}_6$ |
| Dck | - Dickite $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ |
| Dg | - Digenite Cu_9S_5 |
| Di | - Diopside $\text{MgCaSi}_2\text{O}_6$ |
| Dol | - Dolomite $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ |
| Ep | - Epidote $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ |
| Eng | - Enargite Cu_3AsS_4 |
| Flo | - Flogopit $\text{KMg}_3\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{F, OH})_2$ |
| Gn | - Galena PbS_2 |
| Gp | - Gypsum $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ |
| Gt | - Goethite $\text{FeO}(\text{OH})$ |
| Hem | - Hematite Fe_2O_3 |
| Hb | - Hornblende $\text{Ca}_2(\text{Mg, Fe})_4\text{Al}(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH, F, Cl})_2$ |
| Ill | - Illite $(\text{Mg, Fe})_3(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2(\text{Mg, Fe})_3(\text{OH})_6$ |
| Kln | - Kaolinite $\text{Al}_4\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ |
| Kfs | - K-feldspar KAlSi_3O_8 |
| Lct | - Leucite/leusit $(\text{KAlSi}_2\text{O}_6)$ |
| Mag | - Magnetite Fe_3O_4 |
| Mgs | - Magnesite MgCO_3 |
| Mnz | - Monasit $(\text{REE}(\text{PO}_4))$ |
| Nph | - Nefelin $(\text{Na}_3\text{KAl}_4\text{Si}_4\text{O}_{16})$ |
| Opq | - Mineral Opaq |
| Opx | - Orthopyroxene FeSiO_3 |
| Pg | - Paragonite $\text{NaAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH, F, Cl})_2$ |
| Pgt | - Pigeonite $(\text{Ca, Mg, Fe})(\text{Mg, Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$ |
| Pl | - Plagioclase $(\text{Ca, Na})\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ |
| Plct | - Pseudoleucite/soda leusit $(\text{Na, K, CaAlSi}_2\text{O}_6)$ |
| Prl | - Pyrophyllite $(\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4)$ |
| Po | - Pyrrhotite $\text{Fe}_{1-x}\text{S} (x=0 \text{ to } 0.2)$ |
| Py | - Pyrite (FeS_2) |
| Px | - Pyroxene $(\text{Na, Ca})(\text{Mg, Fe, Al})(\text{Al, Si})_2\text{O}_6$ |
| Qz | - Quartz (SiO_2) |
| Rds | - Rhodochrosite (MnCO_3) |
| Sa | - Sanidine $((\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)))$ |
| Sap | - Saponite $(\text{Ca}_{0.5}, \text{Na})_{0.3}(\text{Mg, Fe}^{2+})_3(\text{Si, Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ |

| | |
|-----|---|
| Ser | - Sericite ($\text{KAl}_2(\text{AlSiO}_3\text{O}_{10}(\text{OH},\text{F},\text{Cl})_2)$) |
| Sme | - Smectite ($(\text{Ca},\text{Na})_{0.66}(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_4(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH}).n\text{H}_2\text{O}$) |
| Sp | - Sphalerite (ZnS_2) |
| Thr | - Thorit $\text{Th}(\text{SiO}_4)$ |
| Ttr | - Tetrahedrite ($(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{12}$) |
| Tho | - Thorutite ($(\text{Th},\text{U},\text{Ca})\text{Ti}_2(\text{O},\text{OH})_6$) |
| Tnt | - Tennantite ($(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$) |
| Tit | - Titanite ($\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$) |
| Urp | - Uranofan ($(\text{Ca}(\text{UO}_2)_2(\text{SiO}_3\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$). |
| Zeo | - Zeolit ($(\text{K},\text{Na})_5(\text{Si}_{31}\text{Al}_5)\text{O}_{72} \cdot 18\text{H}_2\text{O}$) |
| Zr | - Zirkon ($\text{Zr}(\text{SiO}_4)$) |