

ISBN: 978-623-389-044-1

**MINERALISASI LOGAM TANAH JARANG
PADA BATUAN ALKALIN KOMPLEKS MURIA, REMBANG
JAWA TENGAH**

Sutarto, Sulaksono, A., Ajimas P. S., Dema, T.L, Anggita M.RKT.,
William, L.T., dan Nurcholis, M.



**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL “VETERAN”
YOGYAKARTA 2021**

**MINERALISASI LOGAM TANAH JARANG BATUAN ALKALIN
KOMPLEKS MURIA, REMBANG
JAWA TENGAH**

Sutarto, Sulaksono, A., Ajimas P. S Dema, T.L, Anggita M.RKT.,
William, L.T., dan Nurcholis, M.



**LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL "VETERAN"
YOGYAKARTA**

2021

**MINERALISASI LOGAM TANAH JARANG
PADA BATUAN ALKALIN KOMPLEKS MURIA, REMBANG
JAWA TENGAH**

Penulis

Sutarto, Ajimas P. Setiahadiwibowo, Adi Sulaksono, Dema, Anggita, Willy, Muhammad Nurcholish

Editor

Sutarto

Penyunting

Agus Riyanto

Disain sampul dan Tata letak

Sutarto



Penerbit

LPPM Universitas Pembangunan Nasioal “Veteran” Yogyakarta

Redaksi

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta

Jalan Padjajaran No.104, Lingkar Utara Condong Catur Yogyakarta

Cetakan pertama : September 2021

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan dengan cara apapun tanpa ijin dari tertulis dari penerbit

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Kami tim penulis mengucapkan syukur Alhamdulillah ke hadirat Allah Yang Maha Kuasa dengan telah selesainya penyusunan buku “Mineralisasi Logam Tanah Jarang pada Batuan Beku Alkalin Kompleks Muria, Rembang, Jawa tengah”, atas ijin-Nya, kami dapat melaksanakan semua kegiatan ini dengan lancar.

Buku ini dapat terselesaikan karena bantuan dari berbagai pihak, diantaranya yang utama adalah Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LPPM) UPN “Veteran” Yogyakarta, yang telah memberi bantuan berupa Hibah Internal Penelitian Terapan tahun 2021, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar. Kami ucapkan banyak terimakasih kepada kolega kami di Jurusan Teknik Geologi atas masukan dan sumbangsarannya. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada rekan-rekan mahasiswa dari Teknik Geologi, untuk bantuannya dalam pelaksanaan lapangan dan analisa laboratorium.

Kami menyadari bahwa buku ini masih perlu diperbaiki, oleh karena itu kami sangat mengharapkan saran dari para pembaca. Semoga buku ini dapat bermanfaat, khususnya di civitas akademika Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, Agustus 2021

Tim Penyusun

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Lokasi Daerah Penelitian	3
1.5 Metodologi Penelitian.....	3
1.5.1 Tahap Pendahuluan	3
1.5.2 Tahap Pengambilan Data Lapangan.....	4
1.5.3 Analisis Data Lapangan dan Laboratorium.....	4
BAB 2 TINJAUAN GEOLOGI	7
2.1 Geologi Daerah Jawa Tengah	7
2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi	7
2.1.2 Magmatisme dan vulkanisme	9
2.2 Geologi Gunung Muria	13
2.2.1 Geomorfologi	13
2.2.1.1 Bentuk Asal Vulkanik.....	14
2.2.1.2 Bentuk Asal Denudasional	16
2.2.1.3 Bentuk Asal Aluvial	16
2.2.2 Stratigrafi.....	17
2.2.2.1 Formasi Bulu (Tmb).....	17
2.2.2.2 Formasi Patiayam (Tpp).....	18
2.2.2.3 Batuan Gunungapi Genuk (Qvg).....	18
2.2.2.4 Batuan Gunungapi Muria	19
2.2.3 Struktur Geologi	19
2.2.3.1 Sesar mendatar kanan di daerah penelitian	21
2.2.3.2 Sesar mendatar kiri di daerah penelitian	21
2.2.3.3 Kekar di daerah penelitian.....	22
BAB 3 GEOKIMIA BATUAN BEKU	24
3.1. Petrografi Batuan Beku.....	24
3.1.1. Satuan Basanite Leusit-olivine Samosari	24
3.1.2 Satuan Leucitite Sumanding.....	25
3.1.3. Satuan Phonolite-Tephrite Medani.....	27
3.1.4. Satuan Phono-tephrite Tempur.....	28
3.1.5 Satuan Trachyandesite Rahtawu	29

3.1.6. Satuan Trachyandesite Gunungsari	30
3.1.7. Satuan Basaltic Trachyandesite Clering	31
3.1.8. Satuan Basaltic Trachyandesite Rahtawu.....	32
3.1.9. Satuan Trachyte Ujungwatu-Clering.....	33
3.2 Geokimia.....	38
3.3 Lingkungan Tektonik.....	41
BAB 4 LOGAM TANAH JARANG DI KOMPLEKS MURIA	49
4.1 Terminologi Logam Tanah Jarang	49
4.1.1 Mineral Bijih Logam Tanah Jarang.....	51
4.1.2 Batuan Pembawa Logam Tanah Jarang	52
4.1.2.1 Batuan Karbonatit	53
4.1.2.2 Batuan Beku Alkalin	53
4.1.2.3 Asosiasi Endapan Primer LTJ	53
4.1.2.4 Logam Tanah Jarang pada Lingkungan lainnya.....	54
4.2 Distribusi Potensi Logam Tanah Jarang	54
4.2.1 Prospek Rahtawu, Kecamatan Gebog, Kabupaten Kudus	57
4.2.2 Prospek Samosari, Kecamatan Batealit, Kabupaten Jepara	57
4.2.3 Prospek Gunungsari, Kecamatan Tlowungu, Kabupaten Jepara	58
4.2.4 Prospek Medani, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati	58
4.2.5 Prospek Tempur, Kecamatan Keling, Kabupaten Jepara	59
4.2.6 Prospek Clering, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Jepara	60
4.2.7 Prospek Ujungwatu, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Jepara.....	62
4.3 Mineralisasi Logam Tanah Jarang di Kompleks Gunung Muria.....	63
4.4 Pengayaan Logam Tanah Jarang pada Tipe Endapan Laterit.....	67
BAB 5 KESIMPULAN DAN REKOMENDASI.....	71
5.1. Kesimpulan	71
5.2 Rekomendasi.....	71
DAFTAR PUSTAKA.....	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Lokasi Penelitian	3
Gambar 2. 1 Peta fisiografi Jawa (Van Bemmelen, 1949)	7
Gambar 2. 2 Distribusi busur magmatic Tersier, Batuan intrusi Tersier, pusat gunungapi, dan batuan dasar di Jawa (Gafoer and Samodra, 1993; Ratman et al., 1998; Setijadji et al. 2006; Setijadji and Maryono,2012; Soeria-Atmadja et al. ,1994; Hartono and Bronto, 2007	9
Gambar 2. 3 Diagram variasi SiO ₂ versus total alkali (TAS) untuk semua batuan beku Kenozoikum di Jawa (LeBas et al., 1986) dalam Setijadji (2006).....	10
Gambar 2. 4 Diagram variasi SiO ₂ versus K ₂ O untuk semua Batuan beku cenozoic Jawa.	11
Gambar 2. 5 Visualisasi model 3D petrogenesis dan subduksi magmatik di pulau Jawa dalam Setijadji (2006).	12
Gambar 2. 6 Volkanostratigrafi di kawasan Semenanjung Muria, kolom berwarna merah menunjukkan volkanostratigrafi Gunung Muria (NTT, 2000)	13
Gambar 2. 7 Satuan Kerucut Gunung Api Muria	15
Gambar 2. 8 Kompleks G. Muria sebagai Satuan Geomorfik Perbukitan Gunungapi....	15
Gambar 2. 9 Satuan Geomorfik Dataran Aluvial	16
Gambar 2. 10 Satuan Geomorfik Dataran Pantai	17
Gambar 2. 11 Sesar mendatar kanan pada lokasi penelitian	21
Gambar 2. 12 Sesar mendatar kiri pada Gunung Ragas	22
Gambar 2. 13 Kekar berpasangan pada litologi wackestone, Formasi Bulu	22
Gambar 2. 14 Kekar berpasangan pada litologi grainestone, Formasi Bulu	23
Gambar 2. 15 Kekar berpasangan pada lokasi pengamatan Gunung Ragas litologi trachyte	23
Gambar 3. 1 Singkapan basanite leusit-olivine di kompleks gunung Muria.....	24
Gambar 3. 2 Sayatan tipis fenokris augite dan olivine (atas) dan massa dasar yang tersusun atas leusit, augite, mikrolit plagioklas, dan mineral opak (bawah) dalam basanite leusit-olivine sampel (D1). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang	25
Gambar 3. 3 Mikroskopis representatif (atas), inklusi apatite pada augite (tengah), dan rim reaction yang terjadi pada olivine (bawah) dalam leucitite sample (F1). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.....	26
Gambar 3. 4 Kenampakan kontak antara aglomerat dengan leucitite	26
Gambar 3. 5 Singkapan dan hand specimen satuan Phono-tephrite Medani.....	27
Gambar 3. 6 Mikroskopis massa dasar yang tersusun oleh leucite, piroksen, plagioklas, dan massa dasar (atas) dan fenokris aegirine-augite yang diinklusi oleh apatite (bawah). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang	27
Gambar 3. 7 Singkapan phono-tephrite Tempur	28
Gambar 3. 8 Mikroskopis fenokris biotite (atas) dan hornblend (bawah) diantara massa dasar berupa gelas, leusit, mineral opak, dan massa gelas.....	29
Gambar 3. 9 Mikroskopis fenokris biotite lapuk dan augite (atas), inklusi apatite pada	

augite (tengah), dan massa dasar yang tersusun atas k-feldspar, plagioklas, dan mineral opak yang menunjukkan tekstur aliran (bawah) dalam trachyandesite sampel (C1). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.....	30
Gambar 3. 10 Mikroskopis piroksen, plagioklas, dan massa dasar gelas (atas) dan fenokris mineral augit (bawah) dalam trachyandesite sampel (E3). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.	31
Gambar 3. 11 Mikroskopis massa dasar yang tersusun oleh mikrolit plagioklas, augite, k-feldspar, dan massa gelas (atas) dan fenokris augite dalam basaltic trachyandesite. Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.....	32
Gambar 3. 12 Mikroskopis massa dasar kristal plagioklas, mineral opak, biotite, dan mineral lempung (atas), apatite dan mineral opak dalam biotite (tengah), dan mineral kalsit-chlorite-lempung (bawah) dalam satuan basaltic trachyandesite. Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.....	33
Gambar 3. 13 Mikroskopis trachyte dalam sayatan Satuan Trachyte Ujungwatu (kiri) dan Satuan Trachyte Clering (kanan). Foto dalam posisi nikol silang.	33
Gambar 3. 14 Diagram Harker major element kompleks Muria.....	39
Gambar 3. 15 a) Diagram Total Alkali-Silika (TAS) dan b). Diagram K ₂ O versus SiO ₂ (menggunakan klasifikasi Le Bas et al. 1986, Peccerillo and Taylor 1976. Pada diagram ini juga disertakan data Analisa dari Edwards (1991).....	40
Gambar 3. 16 Visualisasi 3D kondisi setting tektonik yang mempengaruhi pembentukan magma Kompleks Muria.....	42
Gambar 3. 17 Kenampakan penampang utara selatan pada kompleks gunungapi Muria	43
Gambar 3. 18 (a) Spider diagram comparing the trace element content of the Mount Muria complex with other areas (b). Chondrite-normalised REE plots diagram according to Turkey, Tibet and Argentina comparing to REE content of Mount Muria complex (c). Chondrite-normalised REE plots diagram determining magma type	44
Gambar 3. 19 Diagram evolusi tektonik di tinggian kompleks Muria yang menunjukkan adanya proses <i>roll back</i> sebagai penyebab tatanan tektonik <i>slab break-off</i> di daerah Kompleks Muria.....	45
Gambar 3. 20 a) Diagram diskriminan tektonik pada contoh batuan beku di Muria a) menggunakan diagram ternary Ti/50-50xSm-V dari Vermeesch (2006), b)Diagram ternary 2xNb-Zr/4-Y dari Meschede (1986), c)Diagram V vs Ti/1000 (Shervais, 1982), d) TiO ₂ vs FeO/MgO (Shoto et al (2006); e) Diagram Ti/Zr vs Zr (Wang et al (2013b), dan f) Diagram Ba/Nb vs Ba/Yb (Leat al al., 2000; Li et al., 2013).WPA=Within-Plate Alkaline Basalt, WPT=Within Plate Tholeiites, VAB= Volcanic Arc Basalt, N-MORB=Normal Mid-Oceanic Basalt.....	47
Gambar 3. 21 Diagram Ti/V vs Zr, dan Ti//Zr vs Zr (menggunakan diagram dari Gribble et al., 1996 menunjukkan plot sampel berada pada area di bawah MORB dan bback arc basalt.	48
Gambar 4. 1 Logam Tanah Jarang pada tabel periodik unsur Mendeleev	49
Gambar 4. 2 Grafik yang memperhatikan kelimpahan unsur di kerak bumi	50
Gambar 4. 3 Peta sebaran potensi Logam Tanah Jarang di Kompleks Gunung Muria. A. Clering; B. Ujungwatu; C. Rahtawu; D. Samosari; E. Tanjungsari; F. Sumanding; G. Medani; H. Tempu	55

Gambar 4. 4 Data geokimia kadar unsur logam tanah jarang pada batuan beku dan soil Rahtawu.....	57
Gambar 4. 5 Data geokimia unsur Logam Tanah Jarang pada batuan beku dan soil Samosari.....	58
Gambar 4. 6 Singkapan batuan beku dan soil di Desa Medani	59
Gambar 4. 7 Data geokimia kadar unsur logam tanah jarang pada batuan beku dan soil di Desa Tempur	60
Gambar 4. 8 Data geokimia kadar unsur Logam Tanah Jarang pada batuan beku dan soil di Clering.....	61
Gambar 4. 9 Singkapan Batuan Beku pada Gunung Ragas.....	61
Gambar 4. 10 Data Geokimia kadar unsur Logam Tanah Jarang pada batuan beku dan soil di Ujungwatu.....	62
Gambar 4. 11 Diagram Harker batuan segar dari Kompleks Gunung Muria.....	63
Gambar 4. 12 Diagram versus total LTJ dengan CAO dan P ₂ O ₅	64
Gambar 4. 13 Inklusi apatite pada A) augite di basanite (B-1); B) augite di trachyandesite (TA); C) biotite di phonotephrite (PT-2); D) biotite di basaltic trachyandesite (BTA-2); E) sanidine di trakit (T-1); dan apatite pada massa dasar di basaltic trachyandesite (BTA-3).64	
Gambar 4. 14 Diagram Harker Logam Tanah Jarang pada batuan Kompleks Gunung Muria	66
Gambar 4. 15 Diagram spider batuan segar di Kompleks Gunung Muria berdasarkan normalisasi chondrite (Sun & McDonough, 1995).....	67
Gambar 4. 16 Diagram versus laterisasi (SiO ₂ / (SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃)) terhadap REE dan Y, nilai laterisasi semakin kecil menunjukkan tingkat pelapukan semakin tinggi	68
Gambar 4. 17 Normalisasi chondrite (Sun & McDonough, 1995) pada lapukan batuan di Kompleks Gunung Muria.....	69
Gambar 4. 18 Diagram total LTJ + Y pada batuan di Kompleks Gunung Muria	69
Gambar 4. 19 Diagram LTJ pada batuan di Kompleks Gunung Muria	70

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Komposisi mineralogi tipe batuan di kompleks gunungapi Muria	35
Tabel 4. 1 Kadar Logam Tanah Jarang di kerak Bumi menurut beberapa peneliti	50
Tabel 4. 2 Mineral bijih yang mengandung Logam Tanah Jarang	51
Tabel 4. 3 Rentang kandungan LTJ dalam batuan beku (Henderson, 1984).....	52
Tabel 4. 4 Data geokimia kadar unsur Logam Tanah Jarang pada batuan beku dan soil....	56
Tabel 4. 5 Perhitungan presentase apatite menggunakan norm CIPW dan kandungan total LTJ	65

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Price and Hitzman (2014) pada tahun 1932 tidak ada penggunaan REE untuk keperluan industri baik di bidang energi, transportasi, bangunan, Kesehatan, informasi, maupun keuangan. Pada tahun 1952 beberapa REE terutama LREE mulai banyak digunakan. Pada tahun 2012 semua logam REE telah digunakan di semua industri yang disebutkan di atas dan diperkirakan kebutuhan REE akan paling banyak digunakan untuk masa-masa yang akan datang.

Saat ini Logam Tanah Jarang bukan saja sebagai logam strategis tetapi merupakan *critical metals* bagi negara-negara industri. LTJ banyak digunakan untuk: katalis, baik katalis di industri otomotif maupun industri perminyakan, sebagai Alloy dan logam additive metalurgi, keramik dan glas, penghasil sinar laser, dan superkonduktor, magnet permanen campuran besi (Fe), niobium (Nb), dan boron (B); serta campuran samarium (Sm) dan kobalt (Co) merupakan campuran penting dalam industri otomotif, elektronik, energy, dan militer.

Potensi REE cukup besar di Indonesia, terutama di Provinsi Kepulauan Bangka-Belitung dan Tapanuli serta Kalimantan Barat, terkait dengan keberadaan batuan granitoid di kedua wilayah tersebut. Endapan REE primer atau magmatik di Indonesia kemungkinan besar berasosiasi dengan batuan granitoid, sedangkan endapan REE sekunder berupa endapan placer (mineral monasit, xenotim, dan zirkon) dan lateritik atau *ion-adsorption clays*, juga berasosiasi dengan endapan batubara? Di Bangka-Belitung-Singkep berdasarkan data hingga saat ini, Sumberdaya TREE tailing timah placer dan endapan placer yang ada adalah 760.620 ton (742.835 ton tailing + 17.785 tonplacer). Endapan Laterit Tapanuli Utara, Sumatera Utara, kandungan REE Ce sebesar 600-1400 ppm, La (400 ppm – 1000 ppm), dan Pr (600 ppm – 1400 ppm). Sumberdaya TREE berkisar 14.827 ton bila dirata-ratakan (Sumber: Armin Tampubolon PSDG Badangeologi <http://geomagz.geologi.esdm.go.id/ree-logam>). Monasit disamping mengandung REE juga mengandung sekitar 6% Th dan 0.3% U. Perlu mendapat perhatian dalam proses ekstraksi atau pemanfaatannya, karena satu-satunya lembaga yang saat ini bisa

menangani pemanfaatan unsur radioaktif adalah BATAN.

Terdapat dua batuan beku yang mengindikasikan berpotensi mengandung REE yang cukup besar, yaitu batuan beku basaltic alkalin dan batuan granitoid peralkaline. Batuan basaltic alkalin tersebar di gunung Muria Kabupaten Jepara, Gunung Lasem Kabupaten Rembang, dan pulau Bawean Kabupaten, sedang batuan granitoid terdapat di wilayah Merubetiiri, Kabupaten Jember dan Banyuwangi serta Granitoid Sepanga di Kabupaten Pacitan. Di kompleks Gunung Muria Kabupaten Jepara banyak ditemukan berbagai macam batuan basaltic alkalin, diantaranya adalah batuan beku basanite, fonolit, teprit, dan leusitit. Yuwono (1987) membagi batuan vulkanik muria menjadi dua, yaitu: Muria Tua (1.1 - 0.6 Ma) yang dicirikan oleh batuan jenuh sampai sedikit tidak jenuh silika dengan normative nefelin (ne) $< 10\%$; dan batuan Muria Muda (0.6 - 0.4 Ma), yang sangat tidak jenuh silika dengan normative nefelin (ne) $> 10\%$ dan kaya mineral leusit (ultrapotassik). Beberapa analisa bongkah lava berkomposisi trakibasalt, trakiandesit, dan trakit yang diambil pada fragmen breksi menunjukkan bahwa batuan tersebut kaya akan potassium dan tidak jenuh silika. Penggalan isotopik K/Ar terhadap fragmen traki andesit memberikan umur 0.75 ± 0.1 Ma. Di dekat dusun Ngrangit di lereng barat daya Gunung Patiayam terdapat singkapan dua buah dyke yang memotong batupasir gampingan mengandung fosil dan breksi laharik tanpa leusit yang umurnya 0.97 ± 0.07 Ma. Sedangkan dyke yang memotongnya berumur 0.5 ± 0.08 Ma. Dyke basaltik tersebut jenuh silika dan termasuk seri shoshonitik.

1.2 Rumusan Masalah

Logam Tanah Jarang (LTJ) atau dalam Bahasa Inggris dikenal sebagai Rare Earth Elements (REE). Rare Earth Metals serta unsur Kalium (K) banyak ditemukan pada batuan beku karbonatite dan batuan beku alkaline. Ketika batuan-batuan tersebut mengalami pelapukan, beberapa unsur cenderung tertransport bersama unsur lain dalam mineral membentuk endapan placer, dan unsur lainnya cenderung tertinggal sebagai endapan residual atau laterit. Oleh karena itu perlu dilakukan tracing kadar REE dan K pada batuan yang masih segar, batuan yang sudah lapuk, serta endapan placer, baik di sungai maupun di pantai.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

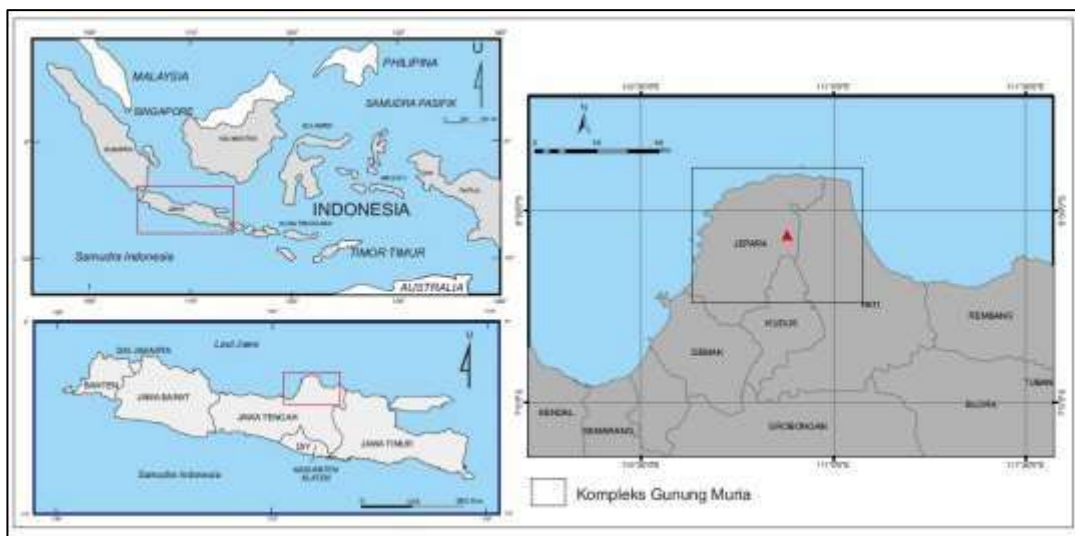
1. Melakukan pemetaan geologi dan distribusi batuan-batuan alkalin dan

mengidentifikasi tipenya, distribusi zona laterit, serta endapan placer yang terkait.

2. Melakukan Analisa laboratorium terkait komposisi mineral dan komposisi kimia pada batuan yang masih segar dan yang sudah lapuk, serta endapan placer terkait.

1.4 Lokasi Daerah Penelitian

Daerah penelitian secara administrasi berada di kompleks Gunung Muria Kabupaten Rembang dan Sebagian Kabupaten Pati dan Kudus Jawa Tengah. Daerah telitian dapat dijangkau dengan kendaraan roda 4 maupun roda 2 (Gambar 1).



Gambar 1. 1 Lokasi Penelitian

1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang penulis gunakan dalam kegiatan pemetaan geologi ini yaitu pemetaan geologi permukaan dengan beberapa tahapan kegiatan antara lain:

1. Tahap Pendahuluan
2. Tahap Penelitian Lapangan
3. Tahap Analisis dan Pengolahan Data
4. Tahap Penyusunan Laporan dan Penyajian Data

1.5.1 Tahap Pendahuluan

Tahap pendahuluan merupakan tahapan persiapan yang dilakukan sebelum pengambilan data lapangan. Tahapan ini dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

- a. Studi Literatur

- b. Penyusunan proposal
- c. Perizinan tempat akhir
- d. Persiapan perlengkapan lapangan

Studi Literatur

Sebagai langkah awal dalam penyusunan tugas akhir ini mahasiswa menggunakan data literatur peneliti terdahulu (data sekunder) sebagai acuan data yang terkait dalam tahapan selanjutnya, yang meliputi:

- Fisiografi Regional (Fisiografi Pulau Jawa (van Bemmelen, 1949))
- Geologi Regional Peta Geologi Lembar Kudus Skala 1: 100.000 (Suwanti T, dkk, 1992)
- Peta Topografi Rupa Bumi Indonesia (RBI) daerah penelitian, Skala 1 : 12.500 (dipublikasikan oleh Bakosurtanal).
- Analisis Peta Topografi Daerah Penelitian (Analisis Pola Kelurusan, Analisis Pola Pengaliran, Analisis Satuan Bentuklahan).

1.5.2 Tahap Pengambilan Data Lapangan

Tahapan pengambilan data lapangan (*data primer*) ini merupakan tahap yang harus dilaksanakan dalam penelitian tugas akhir yang berupa pemetaan geologi dengan studi khusus berupa pengaruh breksi hidrotermal terhadap alterasi dan mineralisasi.

Pemetaan geologi dengan lintasan geologi

Pada tahapan ini dapat kita ketahui litologi yang berkembang dari daerah penelitian sehingga nantinya kita akan mendapatkan satuan batuan daerah telitian tersebut. Pemetaan dilakukan dengan lintasan memotong jurus lapisan batuan agar didapatkan litologi yang berbeda-beda, dengan melintasi sungai ataupun lereng perbukitan.

Pengambilan foto singkapan dan contoh batuan

Pengambilan foto digunakan untuk mendapatkan aspek-aspek geologi dari objek objek geologi secara visual dilapangan beserta pengambilan contoh batuan sebagai bukti atas deskripsi batuan yang dilakukan sehingga menunjang data penelitian yang dapat dipertanggungjawabkan.

1.5.3 Analisis Data Lapangan dan Laboratorium

Pada tahapan ini penyusun melakukan beberapa analisa laboratorium dan studio pada sampel dan data yang didapat, analisa yang dilakukan antara lain:

Analisis Petrografis

Mengidentifikasi karakteristik batuan untuk mengetahui nama batuan, baik dari aspek mineralogi, tekstur, serta perkembangan proses-proses diagenesa yang telah berlangsung. Analisis petrografi ditujukan untuk mengetahui nama batuan melalui sayatan tipis batuan guna meyakinkan penamaan batuan di lapangan yang terbatas akan alat-alat yang digunakan di lapangan.

Analisis XRD (*X-Ray Diffraction*)

Analisis XRD dilakukan dengan membuat sampel bubuk dari sampel terpilih. Selanjutnya sampel bubuk baik berupa bulk maupun *clay* dimasukkan ke dalam laboratorium. Hasil analisis XRD dapat menentukan mineral alterasi hidrotermal yang tidak diketahui baik secara megaskopis maupun mikroskopis. Pelaksanaan analisis XRD dilakukan menggunakan alat *Rigaku Multiflex 2 kW*.

Analisis XRF (*X-Ray Fluorescence*) dan ICP-MS

XRF merupakan alat yang digunakan untuk menganalisis komposisi kimia beserta konsentrasi unsur-unsur yang terkandung dalam suatu sample dengan menggunakan metode spektrometri. XRF umumnya digunakan untuk menganalisa unsur dalam mineral atau batuan. Analisis unsur dilakukan secara kualitatif maupun kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan untuk menganalisis jenis unsur yang terkandung dalam bahan dan analisis kuantitatif dilakukan untuk menentukan konsentrasi unsur dalam bahan.

Analisis ini digunakan untuk mengetahui unsur utama mineral (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, P) serta unsur jejak mineral (dalam kelimpahan >1ppm Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, La, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Rh, Zr, Zn).

Beberapa sample yang dapat dianalisis dengan menggunakan XRF yaitu :

- a. Sampel serbuk ± 100 *mesh*
- b. Sampel cair yang homogen
 - Tipe sampel yang diperoleh dari lingkungan seperti minyak dan air
 - Tidak membutuhkan preparasi yang rumit
- c. Sample padatan dengan batas maximum tinggi 2.5 cm dan diameter 2.5 cm
 - Logam, plastik dan kaca atau keramik
 - Pelapisan permukaan akan mempengaruhi komposisi kimia yang terbaca
 - Ukuran partikel tidak menjadi persoalan
 - Permukaan harus homogen

d. *Pressed Powder*

- Tipe sampel yang dapat dibentuk *press powder* seperti batuan, semen, lumpur, alumina, *fly ash* dan lain-lain
- Agen pengikat seperti lilin atau selulosa dapat digunakan untuk memperkuat sampel
- Serbuk ditekan membentuk tablet padat menggunakan *hydraulic press Fused Beads*
- Tipe sampel yang termasuk dipreparasi seperti fused bead adalah batuan, semen, bijih besi dan lain-lain
- Sample dicampur dengan *flux*. Digesti *fluxing* selalu penting bila dibutuhkan presisi yang tinggi dan borat *Spectromelt* dapat digunakan untuk proses ini
- Sampel dan *flux* dipanaskan pada suhu ≈ 1000 °C
- Permukaan harus homogen.

BAB 2

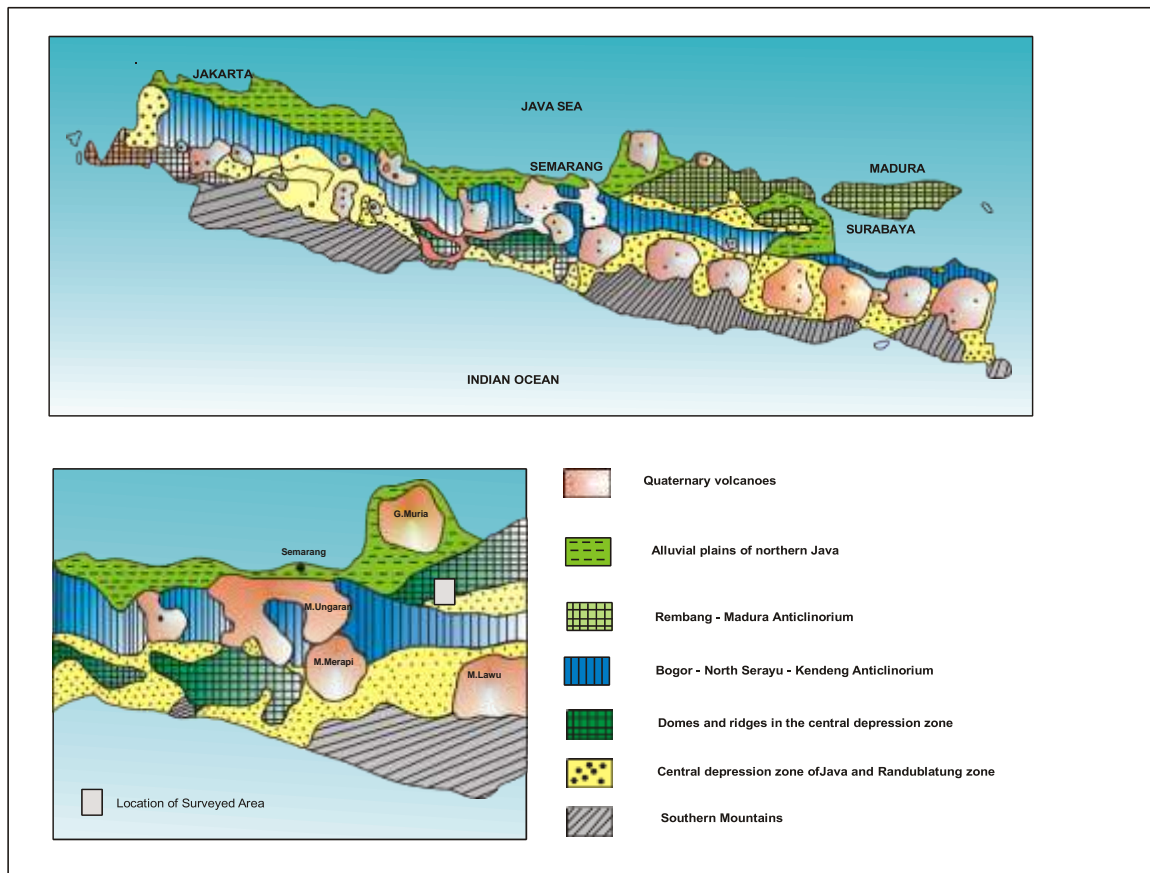
TINJAUAN GEOLOGI

2.1 Geologi Daerah Jawa Tengah

2.1.1 Fisiografi dan Geomorfologi

Berdasarkan Bemmelen (1949) Fisiografi Jawa tengah dibagi atas enam zona, yaitu:

1. Dataran Aluvial Jawa Bagian Utara
2. Gunung Api Kuarter
3. Zona Serayu Utara
4. Zona Depresi Jawa Tengah
5. Pegunungan Selatan
6. Pegunungan Serayu Selatan



Gambar 2. 1 Peta fisiografi Jawa (Van Bemmelen, 1949)

Bemmelen (1949) memasukkan Gunung Muria ke dalam zona gunung api kuarter dan secara khusus dimasukkan dalam penamaan Kompleks Muria (dalam bukunya *The Geology of Indonesia* hal. 593). Menurut Bemmelen (1949) Gunung Muria merupakan gunung muda berumur pleistosen yang saat ini telah terhubung dengan Pulau Jawa oleh dataran alluvial menjadi kota Semarang, Demak, Kudus, Pati, Juwana dan Rembang. Namun pada kala Holosen Gunung Muria masih sebuah pulau yang dipisahkan oleh selat bernama Selat Muria.

Gunung Muria terletak di bagian tengah Semenanjung Muria. Secara geologi, di kaki gunung api dan dataran sekeliling Gunung Api Muria dijumpai gunung api parasit, baik berupa kubah/sumbat lava (*bocca lava/lava domes*) maupun maar. Gunung Muria dapat menghasilkan lava koheren (batuan beku aliran lava dan kubah lava), sekaligus breksi gunung api, batulapili, dan tuf (Bronto, 2007). Bentang alam Semenanjung Muria yang terdiri atas dataran, perbukitan, dan pegunungan dibangun oleh hasil kegiatan atau erupsi Gunung Api Muria beserta gunung api parasitnya pada masa lampau. Aktivitas vulkanisme tersebut kemudian diikuti oleh proses eksogen, mulai dari pelapukan, erosi, transportasi, dan sedimentasi di sekeliling gunung api tersebut yang berlanjut sampai ke lepas pantai, sehingga membentuk endapan rombakan (Bronto, 2007).

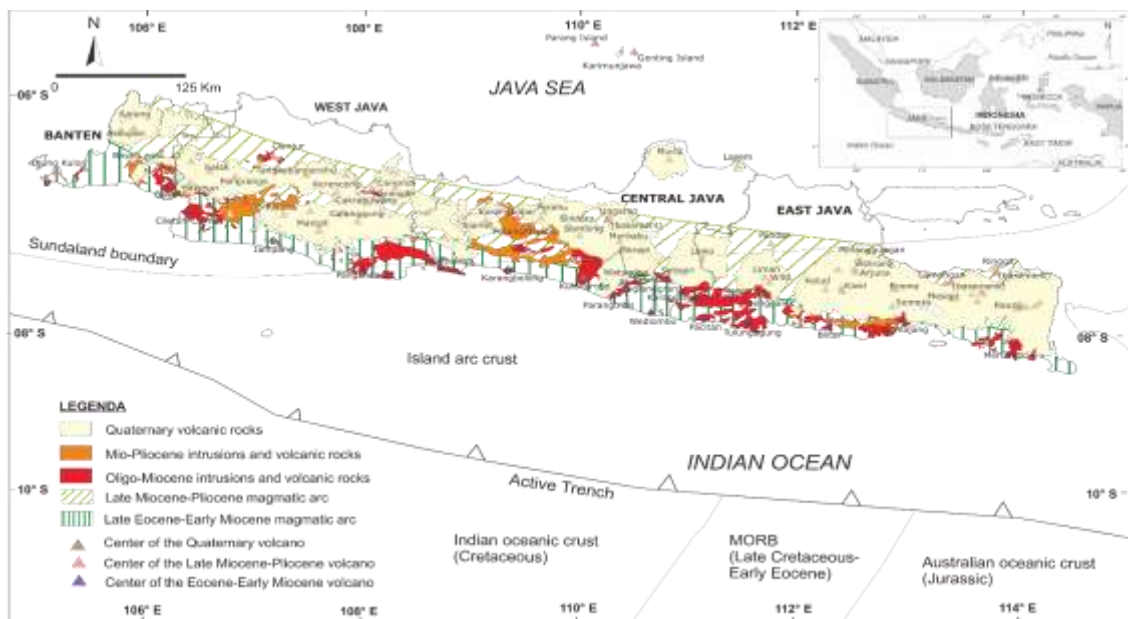
Morfologi Gunung Muria saat ini ditunjukkan dengan kenampakan morfologi radial sector graben (Bemmelen, 1949). Kenampakan paling khas dari tererosinya Gunung Muria adalah pada bentukan lembah memanjang dari NE-S yang kemudian menjadi jalur aliran sungai Gelis. Di bagian utara, Sungai Gelis mengalir melewati kawah Tempur, sedangkan di selatan sungai Gelis mengalir melewati kawah Rahtawu (Bemmelen, 1949). Di bagian selatan kaki Gunung Muria telah terbentuk kubah Patihajam. Dalam inti kubah ini terdapat sedimen laut yang telah terangkat, dan dapat dikorelasikan. Hal ini membuktikan bahwa Gunung Muria aktif pada masa pleistosen akhir (Bemmelen, 1949).

Daerah dataran menempati seluruh pantai barat, utara dan timur, serta dataran Kudus-Pati di sebelah selatan. Litologi penyusun daerah dataran adalah bahan rombakan berupa endapan lahar dan aluvium, secara setempat dijumpai pula endapan piroklastika dan lava (Bronto, 2007). Daerah perbukitan merupakan kaki dan lereng bawah Gunung Api Muria, Gunung Api Genuk dan sekitarnya, serta perbukitan yang terletak di kompleks Gunung Api Patiayam. Litologi penyusun daerah perbukitan adalah lava, endapan piroklastika, dan lahar. Daerah pegunungan meliputi kawasan puncak Muria dan Genuk yang merupakan pusat erupsi gunung api di Semenanjung Muria. Batuan penyusun terdiri

atas lava, intrusi, dan breksi piroklastika (Bronto, 2007).

2.1.2 Magmatisme dan vulkanisme

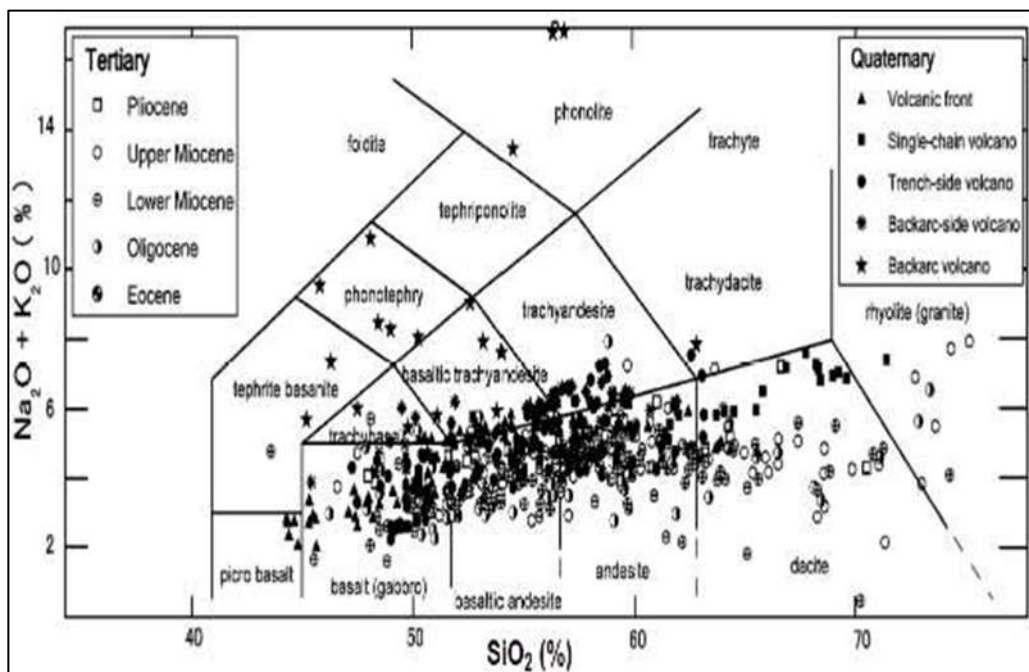
Di pulau Jawa, sumber magma utama adalah *partial melting* dari mantel bumi yang dipicu oleh cairan *hidrous* yang dilepaskan dari lempengan yang terhidrasi (Setijadji, 2006). Pulau Jawa merupakan salah satu daerah di Indonesia yang menyingkapkan produk paleomagmatisme dan paleovolkanisme (Soeria atmadja *et al*, 1994). Pada awal tersier terdapat Gunung api (Paleocene-eosen) yang sangat sedikit dapat dikenali di Pulau Jawa. Kemungkinan besar hadir di kubah Bayah (Formasi Cikotok) dan Formasi Vulkanik Jatibarang (JVF) di Jawa Barat, lebih lengkapnya ditunjukkan pada gambar 4. Di cekungan *back arc* jawa sendiri terjadi magmatisme *back arc* yang ditandai di pulau Genting kepulauan Karimunjawa, dengan basal berumur 2.5 sampai 1.8 juta tahun lalu.



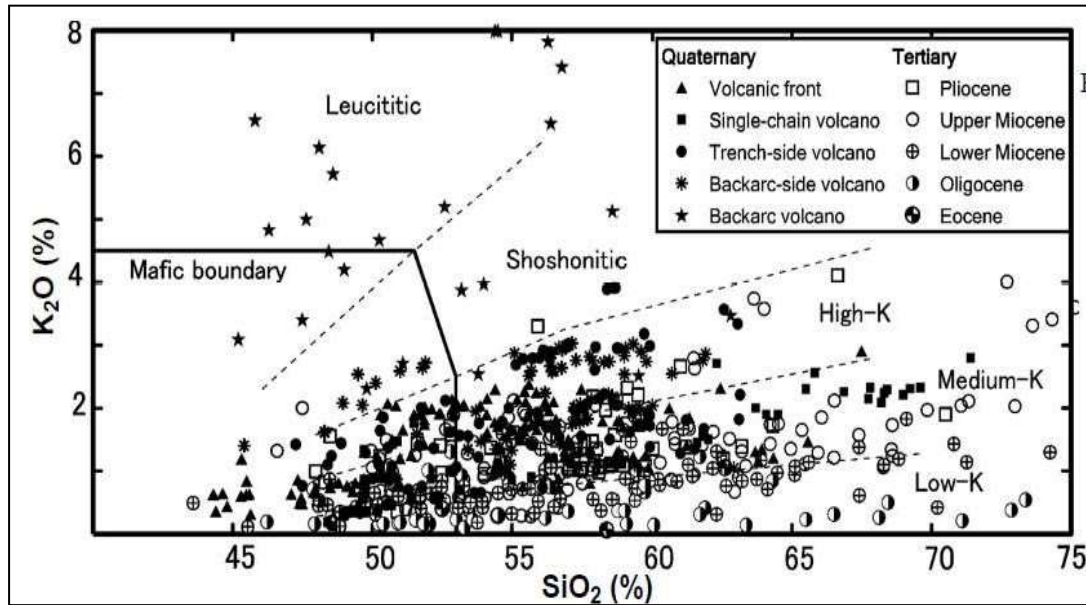
Gambar 2. 2 Distribusi busur magmatic Tersier, Batuan intrusi Tersier, pusat gunungapi, dan batuan dasar di Jawa (Gafoer and Samodra, 1993; Ratman et al., 1998; Setijadji et al. 2006; Setijadji and Maryono, 2012; Soeria-Atmadja et al. ,1994; Hartono and Bronto, 2007

Selain hal tersebut, gunung api pada zaman Kuartar juga memiliki produk- produk magmatisme yang sangat menarik dan tidak kalah dengan produk di zaman sebelumnya. Berikut merupakan sebaran gunung api Kuartar di Pulau Jawa, terdiri dari lima puluh gunung api yang tersebar baik sebagai rentetan gunung api tunggal atau gunung berapi *back arc* (darat dan lepas pantai). Klasifikasi gunung berapi mengikuti Tatsumi dan Eggins (1995) dalam Setijadji (2006). Secara geografis dibagi menjadi Jawa Barat, Tengah, dan Jawa Timur serta terdiri atas beberapa tipe gunung api seperti *single volcanic chain*, *double volcanic chain* (*volcanic front*, *trench-side*, dan *backarcvolkanik*), dan magmatisme *back arc*.

Pada busur magmatik Kuartar didominasi oleh batuan-batuan kalk-alkalin hingga kalk-alkalin dengan K tinggi. Busur magmatik Kuartar menjadi tempat terbentuknya batuan-batuan dengan perubahan magma dari alkali potassik-ultrapotassik di bagian *back arc* (misalnya Muria). Batuan alkalin ini tidak hanya berasal dari mantel bumi tetapi juga dipengaruhi oleh adanya suatu subduksi (Soeria Atmaja, 1994). Distribusi alkali potasik menjadi ultrapotasik Gunung berapi Kuartar di Jawa ini utamanya dikendalikan oleh sesar oblique di busur Sunda (Soeria Atmaja, 1994).



Gambar 2. 3 Diagram variasi SiO₂ versus total alkali (TAS) untuk semua batuan beku Kenozoikum di Jawa (LeBas et al., 1986) dalam Setijadji (2006).

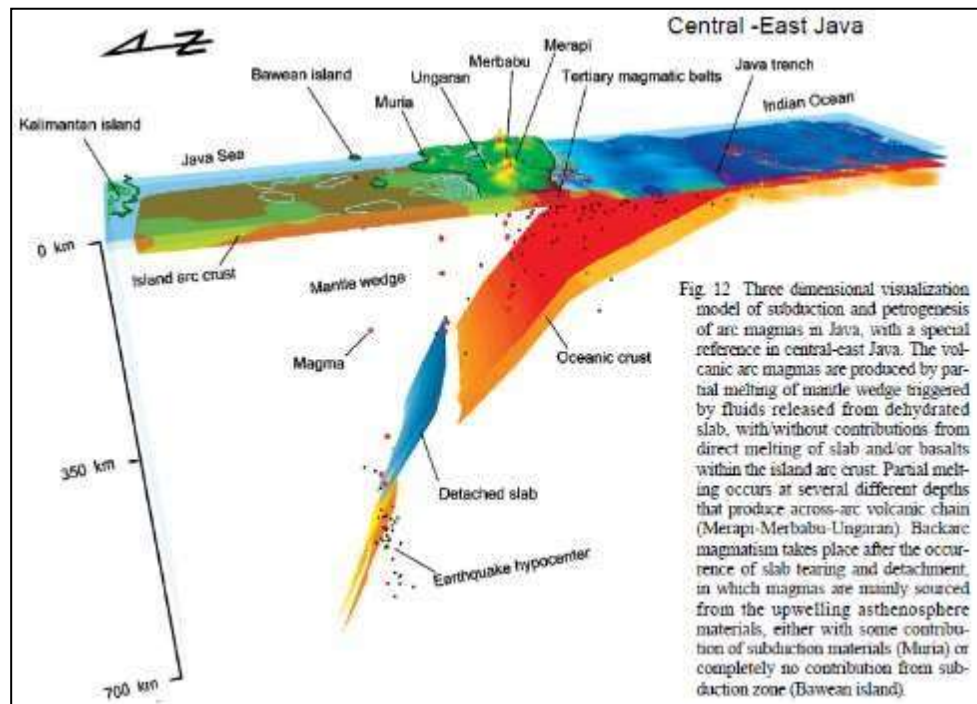


Gambar 2. 4 Diagram variasi SiO₂ versus K₂O untuk semua Batuan beku Cenozoic Jawa.

Dengan adanya variasi kandungan batuan dari gunung api Tersier dan gunungapi Kuarter di Pulau Jawa, maka didapatkan variasi SiO₂ dan Na₂O+K₂O dari batuan-batuan yang ada dan ditunjukkan seperti gambar 2.5 dan gambar 2.6.

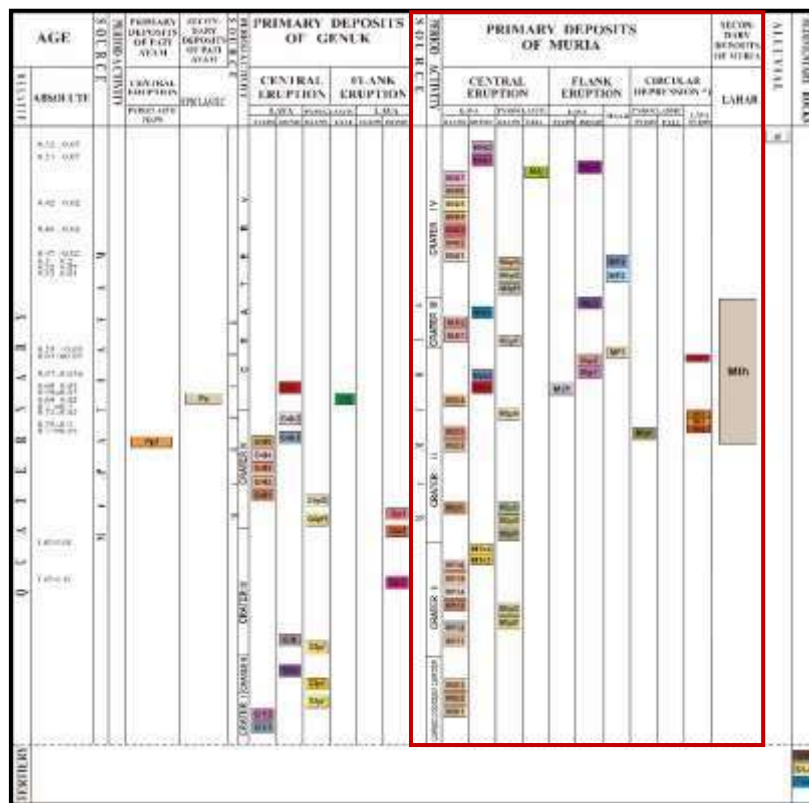
Visualisasi 3 dimensi dari keadaan subduksi dan petrogenesis magma pulau di Jawa diilustrasikan pada gambar 2.5 di bawah ini. Sumber magma utama di pulau Jawa dianggap terjadi akibat adanya *partial melting* dari mantel yang dipicu oleh fluida yang dilepaskan dari lempengan terhidrasi. Komposisi magma primer di pulau Jawa adalah basal, dengan kandungan K₂O yang meningkat ke arah peleburan yang lebih dalam (sisi *back arc*).

Setijadji (2006) menyebutkan bahwa magmatisme gunungapi Muria terbentuk karena adanya *slab tearing* dan *detachment* yang memicu terjadinya *upwelling decompressional melting* pada astenosfer dan *partial melting* pada *hydrated mantel wedge* di atas slab yang menunjam (*subducting slab*). Pada kasus Gunung Muria, magma bercampur dengan magma lain yang dihasilkan oleh peridotit yang mengandung phlogopite atau K-amphibole pada kedalaman yang begitu dalam dari mantel bagian bawah-kerak subduksi (Tatsumi dan Eggins, 1995 dalam Setijadji 2006).



Gambar 2. 5 Visualisasi model 3D petrogenesis dan subduksi magmatik di pulau Jawa dalam Setijadji (2006).

Gunung Muria menempati $\pm 70\%$ area Semenanjung Muria. Berdasarkan pengamatan foto udara, puncak Gunung Muria menampilkan relief kasar dengan kelerengan curam-sangat curam dan di temukan 4 daerah depresi yang diinterpretasikan sebagai kawah atau *crater* Gunung Muria pada masa lampau. Keterdapatn depresi mengikuti arah rekahan utama yaitu NE-SW (Umam, 2018). Berdasarkan data pemetaan detail yang dilakukan oleh NTT (2000), pada Gunung Muria berkembang jenis material produk aktivitas gunung api baik pada erupsi pusat dan erupsi samping berupa aliran lava, kubah aliran lava, batuan piroklastik aliran dan jatuhan, kerucut parasiter, dan aliran lava pada erupsi samping dan maar.



Gambar 2. 6 Volkanostratigrafi di kawasan Semenanjung Muria, kolom berwarna merah menunjukkan volkanostratigrafi Gunung Muria (NTT, 2000)

2.2 Geologi Gunung Muria

2.2.1 Geomorfologi

Gunung Muria merupakan salah satu gunungapi Kuartar di busur magmatik Sunda-Banda yang berafinitas alkalin. Secara fisiografis daerah penelitian terletak pada Komplek Muria, Jawa Tengah bagian utara. Komplek Muria saat ini, pada jaman Holosen merupakan pulau tersendiri yang kemudian disatukan dengan Pulau Jawa oleh endapan alluvial Semarang – Demak – Kudus – Pati – Juwana – Rembang (Van Bemmelen, 1949).

Secara regional Komplek Muria terdiri dari tiga kenampakan morfologi utama, yaitu Komplek Gunung Genuk, Gunung Muria, dan Kubah Patiayam. Ketiga kenampakan tersebut muncul pada daerah miring landai yang tersusun oleh lahar, breksi vulkanik, dan endapan lateritik. Morfologi tersebut dikelilingi oleh endapan alluvial dan oleh Laut Jawa di sebelah utara.

Gunung Muria terdiri dari dua satuan morfologi utama, yaitu Gunung Sutarengga, dan Gunung Rahtawu yang terpotong struktur terban, membentuk lembah dengan arah utara – selatan. Pada lembah ini mengalir dua buah sungai dengan nama sama, yaitu Sungai Gelis. Sungai yang mengalir ke arah utara menuju ke arah Laut Jawa, dan yang mengalir

ke arah selatan menuju dataran rendah Pati. Pola penyaluran yang terbentuk adalah radial.

Gunung Genuk berbentuk sirkuler dengan ketinggian 716 m, dicirikan oleh lereng yang landai, dikelilingi oleh dataran. Pola penyaluran radial dan muncul beberapa mata air di sekitar kaldera gunung-gunung. Kubah Patiayam terwakili oleh daerah perbukitan rendah (Gunung Patiayam 350 m) di sebelah tenggara Gunung Muria. Kubah Patiayam terbentuk karena proses volkanisme *shosonitik* yang kemudian tertutup oleh lempung litoral dan endapan Muria. Pola penyaluran daerah Kubah Patiayam adalah subdendritik.

Berdasarkan hasil analisa peta topografi dan hasil pengamatan di lapangan yang di dasarkan pada klasifikasi Van Zuidam (1983), geomorfologi daerah telitian dapat dibagi menjadi:

- 1) Bentuk Asal Vulkanik dengan satuan geomorfik (V). Satuan ini dapat dibagi menjadi Satuan geomorfik Kerucut Gunungapi (V1), Satuan geomorfik Bukit Intrusi (V2), dan Satuan geomorfik Perbukitan Gunungapi (V3);
- 2) Bentuk Asal Denudasional dengan satuan geomorfik Perbukitan Terkikis (D)
- 3) Bentuk Asal Aluvial dengan satuan geomorfik Dataran Fluvia (F1) dan Aluvial Dataran Pantai (M)

2.2.1.1 Bentuk Asal Vulkanik

Satuan ini dapat dibagi menjadi Satuan Geomorfik Kerucut Gunungapi (V1), Satuan Geomorfik Bukit Intrusi (V2), dan Satuan Geomorfik Perbukitan Gunungapi (V3);

Satuan Geomorfik Kerucut Gunungapi (V1)

Satuan geomorfik ini berada di bagian tengah daerah penelitian dan bagian ujung selatan yaitu Gunung Muria yang berbatasan dengan Kabupaten Kudus. Penyebarannya meliputi puncak Gunung Genuk, Gunung Trawean dan sekitarnya yang ada di Desa Clering, Desa Jugo, Desa Guwo, Desa Tulakan dan Desa Blingoh.

Litologi yang menyusun daerah ini adalah batuan beku lava dan breksi gunungapi yang berumur Kuartar. Proses pelapukan dan erosi yang berlangsung dengan derajat erosi kecil yang terlihat dilapangan belum banyak berubah.



Gambar 2. 7 Satuan Kerucut Gunung Api Muria

Satuan Geomorfik Bukit Intrusi

Keberadaan Satuan Geomorfik Bukit Intrusi berada di lereng Gunung Genuk dan Gunung Muria. Pengamatan lapangan berupa bukit-bukit yang berlitologi batuan beku dan ciri-ciri pendukung lainnya, di tunjukkan dengan pola kontur pada peta yang menunjukkan adanya bukit-bukit terisolir.

Satuan Geomorfik Perbukitan Gunungapi

Satuan Geomorfik Perbukitan Gunungapi berada di bagian selatan dari seluruh daerah penelitian. Secara morfologi daerah ini mempunyai topografi perbukitan–pegunungan dengan kemiringan lereng lebih dari 140 % dengan beda tinggi 200 – 500m yang meliputi Gunung Muria, Gunung Termulu, Gunung Semerak, Gunung Tugal, Gunung Pondokan, Gunung Ngatrin, Gunung Gajah Mungkur, dll.

Litologi yang menyusun daerah ini adalah batuan beku yaitu lava andesit dan diorit yang merupakan produk gunungapi disekitarnya. Proses pelapukan dan erosi yang berlangsung di daerah ini masih kecil.



Gambar 2. 8 Kompleks Gunung Muria sebagai Satuan Geomorfik Perbukitan Gunungapi

2.2.1.2 Bentuk Asal Denudasional

Bentukan asal denudasional pada daerah telitian terdiri dari satuan geomorfik perbukitan terkikis. Dari pengamatan di lapangan satuan geomorfik perbukitan terkikis ditunjukkan dengan relief bergelombang lemah–bergelombang kuat (mengacu pada klasifikasi relief Van Zuidam, 1983) yang berada pada ketinggian 10 – 150 m dpl, dengan kemiringan lereng 7 – 70 % dan beda tinggi antara 50 – 100 m. Litologi penyusun dari satuan geomorfik ini meliputi breksi gunungapi, batupasir, batupasir tufan dan batugamping yang mempunyai derajat erosi sedang – kuat.

2.2.1.3 Bentuk Asal Aluvial

Bentukan asal aluvial pada daerah penelitian ini terdiri dari satuan geomorfik dataran aluvial sungai (fluvial). Penyebaran dari satuan ini meliputi Desa Gedu, Sumbang, Bumiharjo, Keling, Kelet, Dermayu, Ngandong, Tulakan dan sekitarnya.

Dari pengamatan di lapangan satuan geomorfik ini ditunjukkan dengan relief topografi datar atau hampir datar (< 25 m) dengan kemiringan lereng 0 – 5 % dengan beda tinggi 0 – 10 meter. Litologi yang menyusun daerah ini pada umumnya terdiri dari material lepas yang belum kompak, berukuran pasir, kerikil dan kerakal yang merupakan hasil lapukan dari batuan di sekitarnya.



Gambar 2. 9 Satuan Geomorfik Dataran Aluvial

Satuan Aluvial Pantai meliputi sekitar sepanjang pantai dusun Bandungharjo, Tanjung, Karangrejo, Ujungwatu, Palohjati Kecamatan Donorojo Kabupaten Jepara hingga kearah timur yang berbatasan dengan Kabupaten Pati. Litologi penyusun satuan dataran pantai ini didominasi oleh litologi endapan pasir lepas dan batupasir vulkanik. Secara fisik litologi ini berwarna hitam, ukuran butir pasir sangat halus – pasir sedang, kemungkinan besar banyak terkandung mineral besi (Fe).

Penggunaan lahan pada daerah ini biasanya di manfaatkan oleh penduduk sekitar dengan membuat tambak-tambak ikan (peternak ikan), sedangkan untuk penambangan hasil lapukan dari batupasir vulkanik/tufa dimanfaatkan untuk bahan baku batubata dan genting. Berdasarkan hasil perhitungan beda tinggi dan kelerengan di lapangan, satuan bentang alam ini memiliki beda tinggi sekitar 1 – 2 meter dengan kelerengan antara 1% - 3 %. Berdasarkan klasifikasi Van Zuidam (1983), mempunyai kelerengan sangat lemah dengan morfologi dataran pantai.



Gambar 2. 10 Satuan Geomorfik Dataran Pantai

2.2.2 Stratigrafi

Dari kenampakan batuan yang dijumpai, dan dari beberapa peneliti terdahulu, kompleks Muria dapat dibagi menjadi beberapa satuan batuan. Statigrafi Regional Mandala Rembang menurut T. Suwarti dan R. Wikarno, 1992 dalam Peta Geologi Regional Lembar Kudus, Jawa Tengah secara berurutan dari yang paling tua-muda terdiri dari, diantaranya adalah:

- a) Batuan Dasar dan Batuan Sedimen: Formasi Bulu, Formasi Patiayam
- b) Batuan Gunungapi: Batuan-batuan beku vulkanik, batuan vulkaniklastik, dan batuan intrusi yang terkait dengan Gunung Muria, Gunung Genuk, dan Gunung Patiayam.

Dalam laporan kemajuan ini, baru dapat disampaikan pemerian beberapa satuan batuan sebagai bagian dari kelompok di atas.

2.2.2.1 Formasi Bulu (Tmb)

Disusun oleh batugamping, batugamping pasiran, dan batugamping lempungan. Fosil yang dijumpai dalam batuan adalah *Katacyclockypeus transiens*, *Lepidocyclina sumatresis*, *Lepidocyclina ophasus* dan *Miogyssina sp.* Kumpulan fosil tersebut

menunjukkan umur relatif Miosen Akhir, Zona Tf1-Tf3, dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Formasi ini menerus ke arah Salatiga yang dinyatakan sebagai Formasi Wonocolo (Sukardi, 1984). Satuan batuan ini tersebar kecil di sekitar Gunung Genuk dan di bagian tenggara lembar yang menerus ke arah timur pada lembar Rembang. Formasi ini menindih secara selaras Formasi Ngrayong, sedangkan dengan Formasi Patiayam tidak ditemukan kontakannya. Tebalnya diduga berkisar 100-300 m.

2.2.2.2 Formasi Patiayam (Tpp)

Disusun oleh perselingan batupasir tufan dan konglomerat tufan dengan sisipan batulempung, batugamping dan breksi. Disekitar Gunung Genuk, dibagian utara lembar, dijumpai struktur lapisan bersusun dalam batupasir, konglomerat dan breksi. Berdasarkan kandungan fosil yang dijumpai pada batugampingnya, antara lain *Spaerodinellopsis seminulina*, *Globigerinoides conglobatus*, *Globigerinoides plesiotumida* dan *Globigerinoides ruber*, maka umur nisbi Formasi Patiayam adalah Pliosen, Zona N18-N19 (Budiman, 1976). Hasil penarikan umur secara K/Ar dari kepingan breksi gunungapi yang segar menunjukkan umur ± 0.007 juta (Bellon, dkk, 1988) atau Holosen. Formasi Patiayam diduga tertindih tak selaras oleh batuan gunungapi Plistosen hasil kegiatan Gunung Muria dan Gunung Genuk. Hubungannya dengan Formasi yang lebih tua tidak diketahui dengan pasti. Formasi ini tersebar di daerah Patiayam, sebelah tenggara Gunung Muria, dengan pola struktur kubah (*dome*), dan pada bagian utara lembar dekat Desa Clering dan sekitar Gunung Genuk. Tebal Formasi ini lebih dari 100 m dengan lingkungan pengendapan laut dangkal. Nama Formasi Patiayam pertama kali diajukan oleh Marks (1957) dengan tipe lokasi di Gunung Patiayam.

2.2.2.3 Batuan Gunungapi Genuk (Qvg)

Tersusun oleh lava, breksi gunungapi dan tuff. Lava bersusunan basal, andesit dan batuan leusit-teprit. Lava basalt porfir dengan fenokris dari augit, hipersten, plagioklas dan bijih yang tertanam dalam massa dasar mikrolit dari mineral yang sama atau kaca gunungapi. Biotit dan kalsit dijumpai tersebar tidak merata. Lava andesit berkomposisi piroksen, hornblende, orthoklas, dan plagioklas, setempat dijumpai sedikit biotit dan kalsit. Breksi gunungapi, coklat-hitam, aneka bahan, berbutir pasir kasar sampai kerakal, menyudut-membundar tanggung; berkomposisi andesit, basal, leusit, teprit, batuapung dan kaca gunungapi dengan massa dasar tuff pasiran. Tuff berwarna kuning keruh sampai coklat berbutir pasir sampai lapili lapuk. Hasil penarikan secara k/Ar dari contoh andesit-

trakit menunjukkan umur 0.75-0.11 juta tahun yang lalu (Bellon, drr, 1988) atau Plistosen Awal. Sebarannya terdapat di sekitar Gunung Genuk.

2.2.2.4 Batuan Gunungapi Muria

Tuff Muria (Qv_{tm})

Tuff berwarna kuning sampai coklat; berlapis kurang baik, tebal perlapisan sekitar 5m, berbutir lapili hingga kerikil, tidak kompak, sebagian lapuk. Lahar berkomponen pecahan batuan leusit-teprit, leusitit, basalt, andesit, trakit dan setempat batugamping dan batuan terubah; ukuran fragmen berkisar antara 5-50 cm dengan massa dasar pasir gunungapi dan berstruktur aliran terputus-putus. Tuff pasiran sampai lempungan, berukuran lapili sampai halus, sering dijumpai struktur perairan atau lapisan bersusun; sebagai sisipan di dalam tuff dengan ketebalan antara 2-10 cm. Satuan batuan ini mempunyai penyebaran yang cukup luas. Di daerah puncak Gunung Patiayam dijumpai satuan batuan ini dengan ketebalan 0,1-3,0 m. Umur satuan batuan ini di perkirakan sama dengan Lava Muria, yaitu Plistosen-Holosen.

Batuan Terobosan (Q(b,l,s))

Tersusun oleh retas basalt dan andesit, retas leusit-teprit dan leusitit, serta retas sienit. Retas Basalt (Q_b), tersusun oleh mineral augit, hipersten dan plagioklas,porfiritik dengan fenokris dan massa dasar yang dibentuk oleh mikrolit dari mineral yang sama dan kaca gunungapi. Retas Andesit (Q_b), tersusun oleh fenokris dari mineral piroksen (augit dan diopsit), hornblende, orthoklas dan plagioklas yang tertanam dalam massa dasar mikrolitnya. Retas Leusit-teprit dan leusitit (Q₁), komposisinya hampir sama, mineral pembentuknya yang dapat dikenal adalah augit, leusit, plagioklas, hipersten dan biotit. Retas Sienit (Q_s), bersusun mineral orthoklas, plagioklas dan sedikit augit, biotit dan bijih. Di Gunung Boko dan daerah Bambang ditemukan bongkahan batuan syenit yang cukup besar, diduga berasal dari retas yang ada di dekatnya. Batuan terobosan ini diduga berumur relatif Plistosen tengah, dan di beberapa tempat menerobos Lava Muria dan Batuan Gunungapi Genuk.

2.2.3 Struktur Geologi

Struktur geologi yang terdapat di Semenanjung Muria berupa kekar dan sesar yang mempunyai pola umum NE-SW dan NW-SE (Zakiya, 2018). Dari analisis seismic refleksi, pada bagian utara dari Laut Jawa terdapat indikasi sesar yang hampir mirip dengan struktur sesar regional daerah ini (McBirney dkk.,2003 dalam Zakiya, 2018). Sesar regional tersebut tercermin dalam Depresi Rembang. Patahan yang memanjang dari puncak

Gunungapi Muria menerus ke arah Gunungapi Genuk di utara melalui Desa Tempur, selanjutnya disebut sebagai Patahan Tempur. Patahan Tempur memiliki indikasi tebing yang sangat curam dengan *triangular faset* yang berjajar pada permukaannya (Zakiya, 2018). Indikasi patahan yang sama juga dijumpai pada patahan yang membelah puncak gunungapi Muria di bagian barat dan memanjang ke arah utara dan berlanjut hingga sebelah barat gunungapi Genuk. Patahan ini melalui desa Rahtawu, patahan ini disebut sebagai patahan Rahtawu. Patahan Rahtawu merupakan patahan menyerong (*oblique*), dimana tebing bagian barat yang sangat curam merupakan *foot wall* dengan *triangular faset*, sedangkan tebing bagian timur yang menyingkapkan selang seling batuan tuf dan breksi serta air terjun sebagai *hanging wall* (Zakiya, 2018).

Berkaitan dengan aspek sejarah tektonik Gunung Api Genuk dan Gunung Api Muria berdasarkan data geologi sekunder, ditunjukkan bahwa Semenanjung Muria telah mengalami minimal dua kali rejim tektonik yaitu peregangan atau dekompresi dan tektonik tekanan atau kompresi (Widodo, 2011). Keberadaan Gunungapi Genuk dan Gunungapi Muria saat ini menunjukkan bahwa pernah terjadi proses interaksi kompleks antara rejim tekanan dan keberadaan struktur regangan di daerah ini. Berdasarkan Widodo (2011) proses tektonik tekanan yang berlangsung diperkirakan mengakibatkan batuan dasar dengan umur yang lebih tua telah mengalami pemampatan, kondisi ini memungkinkan keluarnya magma melalui bidang sesar yang teraktifkan kembali membentuk Komplek Gunungapi Muria dan Gunungapi Genuk. Hal tersebut menarik untuk dilakukannya analisis lebih lanjut mengenai struktur geologi di daerah penelitian, baik untuk mengetahui orientasi sesar maupun jenis sesar yang berkembang berdasarkan rezim tektonik yang terjadi di kawasan Komplek Gunungapi Muria.

Berdasarkan tanda-tanda seperti kelurusan punggung, analisis dengan pola pengaliran, peta topografi, dan literatur-literatur yang berhubungan dengan pola struktur geologi daerah penelitian, penulis kemudian menyimpulkan:

1. Berdasarkan peta topografi, didapat kelurusan punggung yang memiliki orientasi NE-SW di bagian Komplek Gunung Api Muria. Hal tersebut dapat menjadi petunjuk keterdapatannya struktur geologi di daerah penelitian.
2. Struktur sesar ditafsirkan dapat membuat pergerakan yang dapat memicu terjadinya retas-retas di daerah penelitian.

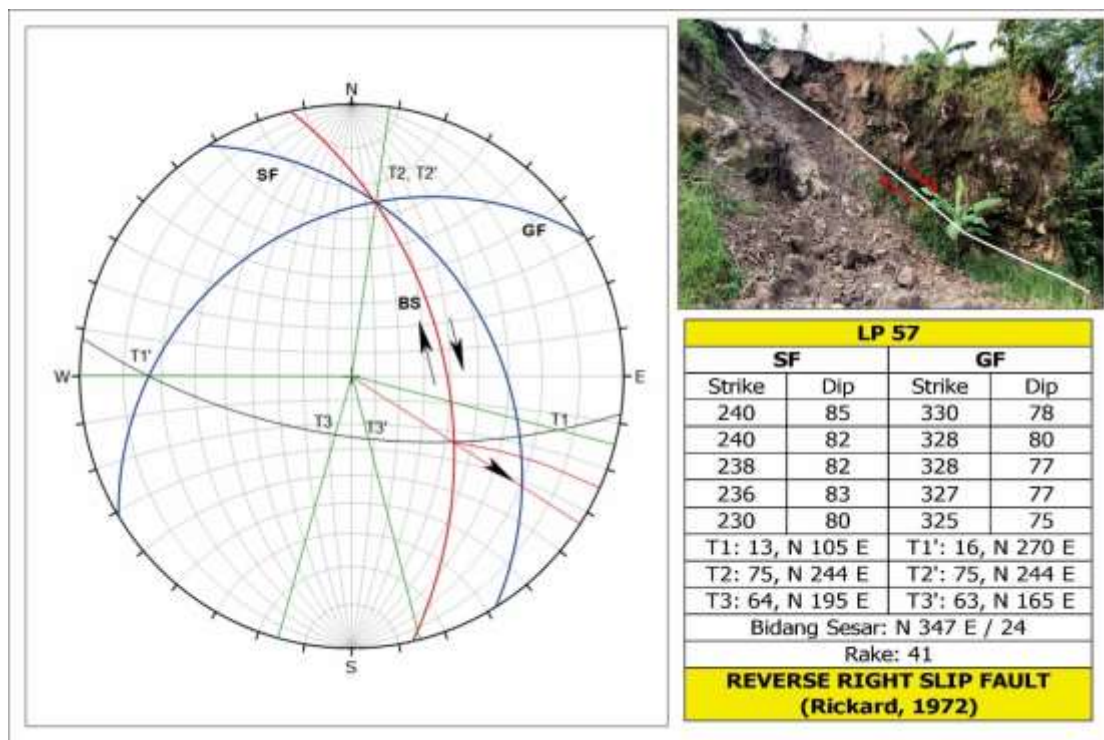
Data struktur geologi yang diperoleh dari hasil pengamatan lapangan terdiri atas bidang sesar, *plunge*, *bearing*, *rake*, bidang kekar, jurus dan kemiringan lapisan batuan.

Struktur geologi yang terdapat di daerah penelitian berupa sesar mendatar kanan dengan orientasi relatif NE-SW dan NW-SE. Struktur geologi yang berkembang pada daerah penelitian adalah kekar tunggal, kekar berpasangan dan struktur sesar mendatar yang memotong Satuan Breksi-Vulkanik Patiayam dan Satuan *Trachyt* Ujungwatu-Clering.

2.2.3.1 Sesar mendatar kanan di daerah penelitian

Sesar mendatar kanan di daerah penelitian dijumpai pada daerah timur Gunungapi Genuk, didapatkan:

1. Dari peta topografi terpotongnya pola punggung lereng di barat daya diinterpretasikan akibat sesar mendatar yang relatif NW-SE.
2. Ditemukan bukti sesar di daerah Desa Clering pada morfologi dataran fluvial vulkanik dengan hasil pengukuran di lapangan didapatkan bidang sesar $N 347^{\circ}E/824^{\circ}$, $SF N 238^{\circ}E/82^{\circ}$, $GF N 328^{\circ}E/77^{\circ}$, $rake 41^{\circ}$. Mengacu klasifikasi Rickard (1972), maka sesar tersebut termasuk jenis *Reverse Right Slip Fault* (Gambar 2.11).



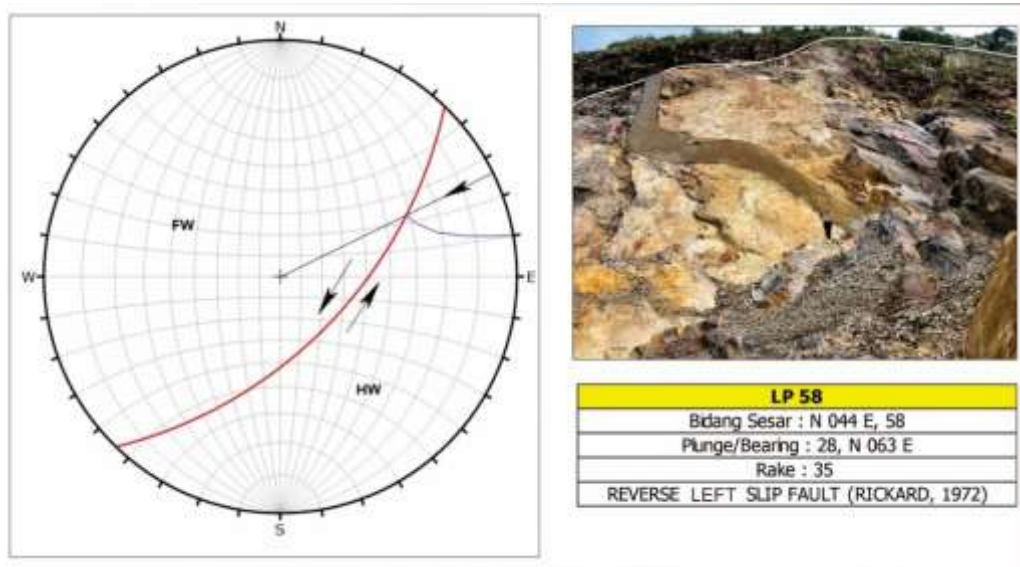
Gambar 2. 11 Sesar mendatar kanan pada lokasi penelitian

2.2.3.2 Sesar mendatar kiri di daerah penelitian

Sesar mendatar kiri di daerah penelitian dijumpai pada lokasi pengamatan Gunung Ragas, didapatkan:

1. Dari peta topografi terpotongnya pola punggung lereng di barat daya diinterpretasikan akibat sesar mendatar kanan yang relatif NE-SW.

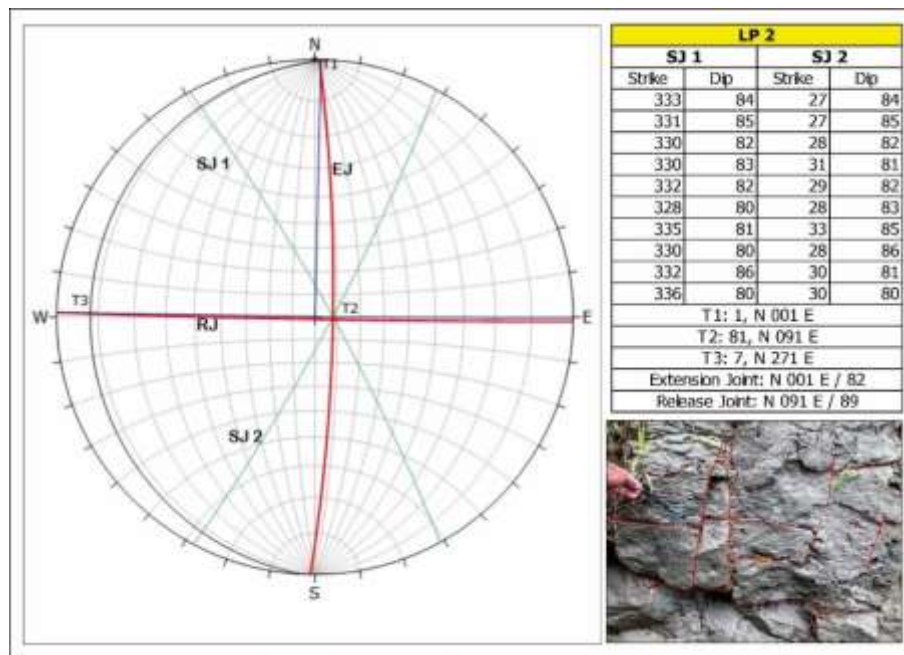
2. Ditemukan bukti sesar di daerah Desa Clering pada morfologi bukit intrusi Gunung Ragas dengan hasil pengukuran di lapangan didapatkan bidang sesar N 044°E/58°, *plunge* dan *bearing* 28°/N 063° E, *rake* 35°. Mengacu klasifikasi Rickard (1972), maka sesar tersebut termasuk jenis *Reverse Left Slip Fault* (Gambar 2.12).



Gambar 2. 12 Sesar mendatar kiri pada Gunung Ragas

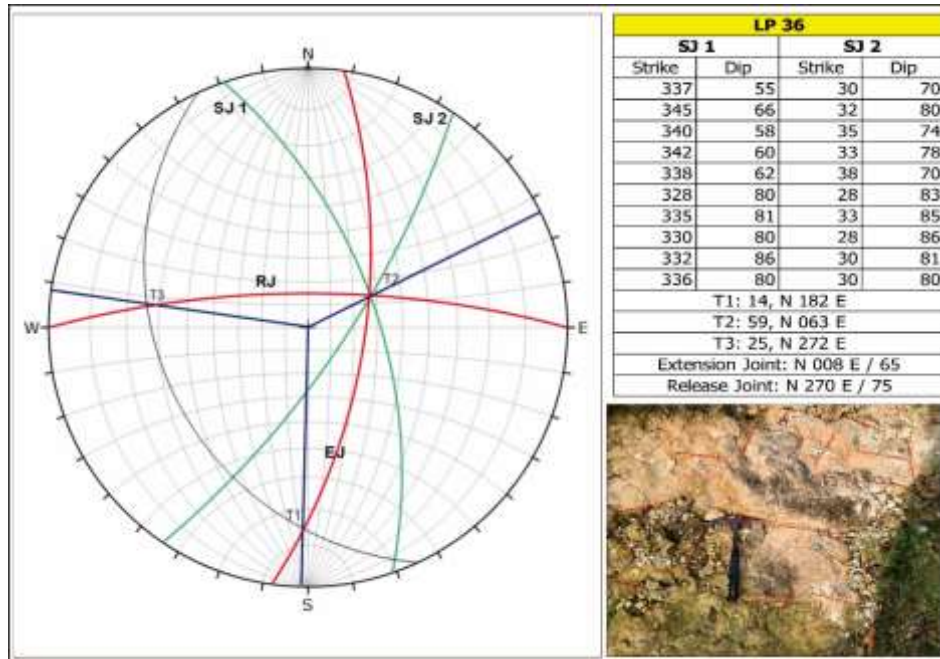
2.2.3.3 Kekar di daerah penelitian

Pada litologi *wackestone*, dijumpai kekar tidak terisi mineral pada Formasi Bulu (gambar 2.13) dengan T1 1°/N 001° E, T2 81°/N 091° E, dan T3 7°/N 271° E.



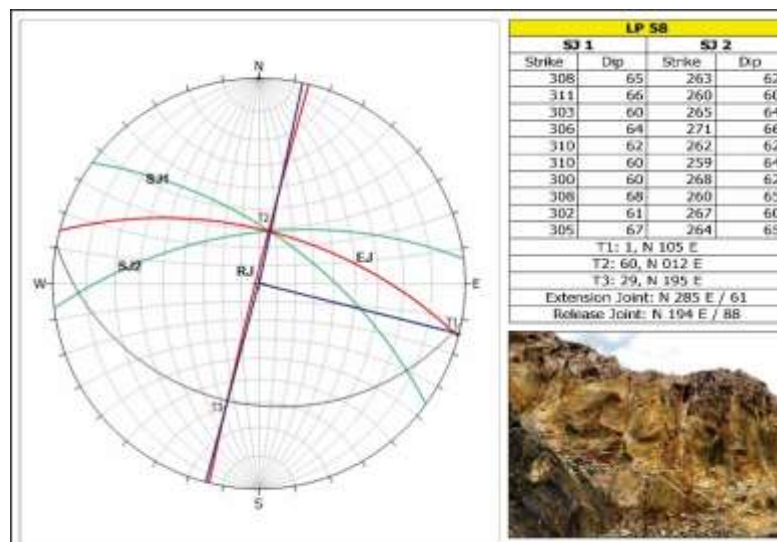
Gambar 2. 13 Kekar berpasangan pada litologi *wackestone*, Formasi Bulu

Selain pada litologi *wackestone*, didapatkan juga kekar pada *grainstone* di lokasi dengan T1 14°/N 182° E, T2 59°/N 063° E, dan T3 25°/N 272° E.



Gambar 2. 14 Kekar berpasangan pada litologi *grainestone*, Formasi Bulu

Pada litologi batuan beku trachyte, dijumpai kekar tidak terisi mineral pada lokasi pengamatan Gunung Ragas. Pada lokasi ini dijumpai kekar dengan T1 1°/N 105° E, T2 60°/N 012° E, dan T3 29°/N 195° E.



Gambar 2. 15 Kekar berpasangan pada lokasi pengamatan Gunung Ragas litologi trachyte

BAB 3

BATUAN BEKU

3.1. Petrografi Batuan Beku

Batuan beku di Kompleks Gunungapi Muria dapat dibedakan menjadi beberapa nama batuan, diantaranya leucite-olivine basanit, leucitite, phono-tephrite, trachyandesite, trachyandesite basaltic, dan trachyte, yang kemudian disatukan menjadi beberapa satuan batuan. Sebagian besar batuan mengandung sejumlah besar piroksen, feldspatoid, K-feldspar, dan plagioklas, mineral opak, dan kaca vulkanik. Beberapa sampel juga mengandung hornblende, biotit, muskovit, dan sedikit mineral sekunder seperti serisit, mineral lempung, klorit, calcire dan oksida besi. Jenis piroksen, berdasarkan analisis petrografi diwakili oleh hipersten, enstatit, augit, dan aegirin, dan hanya diamati sebagai piroksen untuk piroksen mikrokristalin. Kelompok feldspatoid, sebagian besar hadir sebagai leucite dan nepheline, dan sedikit nosean.

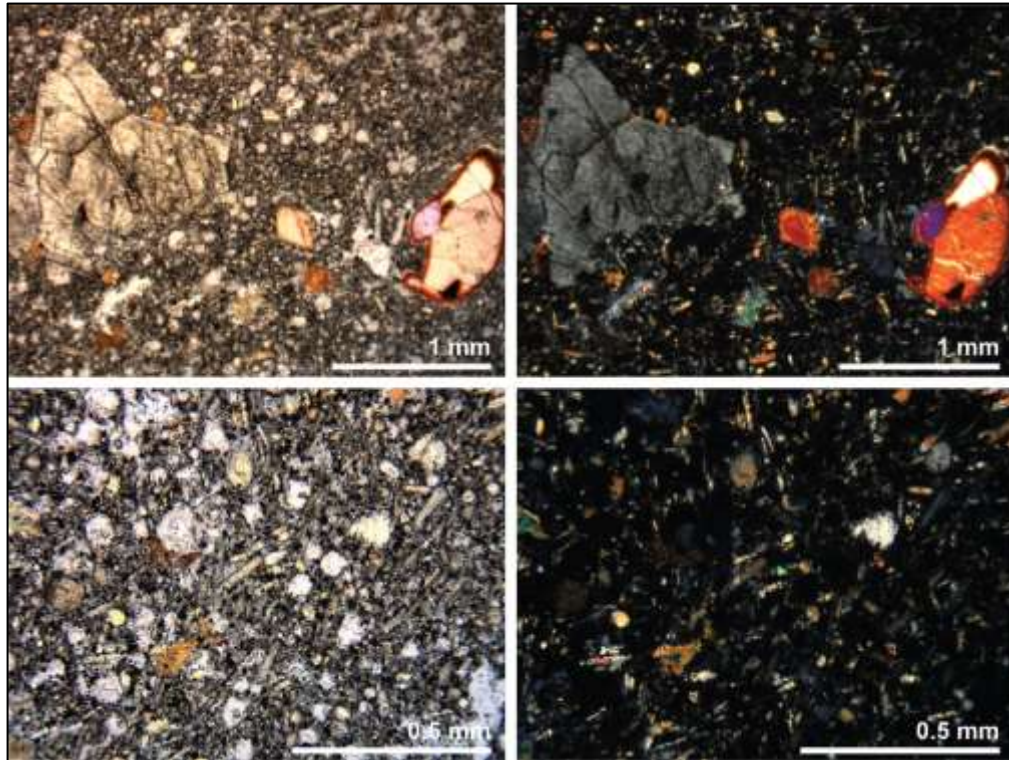
3.1.1. Satuan Basanite Leusit-olivine Samosari



Gambar 3. 1 Singkapan basanite leusit-olivine di kompleks gunung Muria

Satuan basanite leusit-olivine terletak di lereng sisi barat daya Gunung Muria pada Desa Samosari, Batealit, Jepara. Singkapan berupa intrusi dangkal dengan warna segar hitam dan lapuk berupa coklat kemerahan. Satuan ini memiliki ciri indeks warna 25-30%, derajat kristalinitas holokristalin, fanerik kasar-halus dengan ukuran fenokris berkisar 1-5 mm, bentuk kristal didominasi oleh euhedral pada massa dasar sedangkan fenokris sebagian euhedral sebagian anhedral, relasinya inequigranular porfiritik. Secara umum

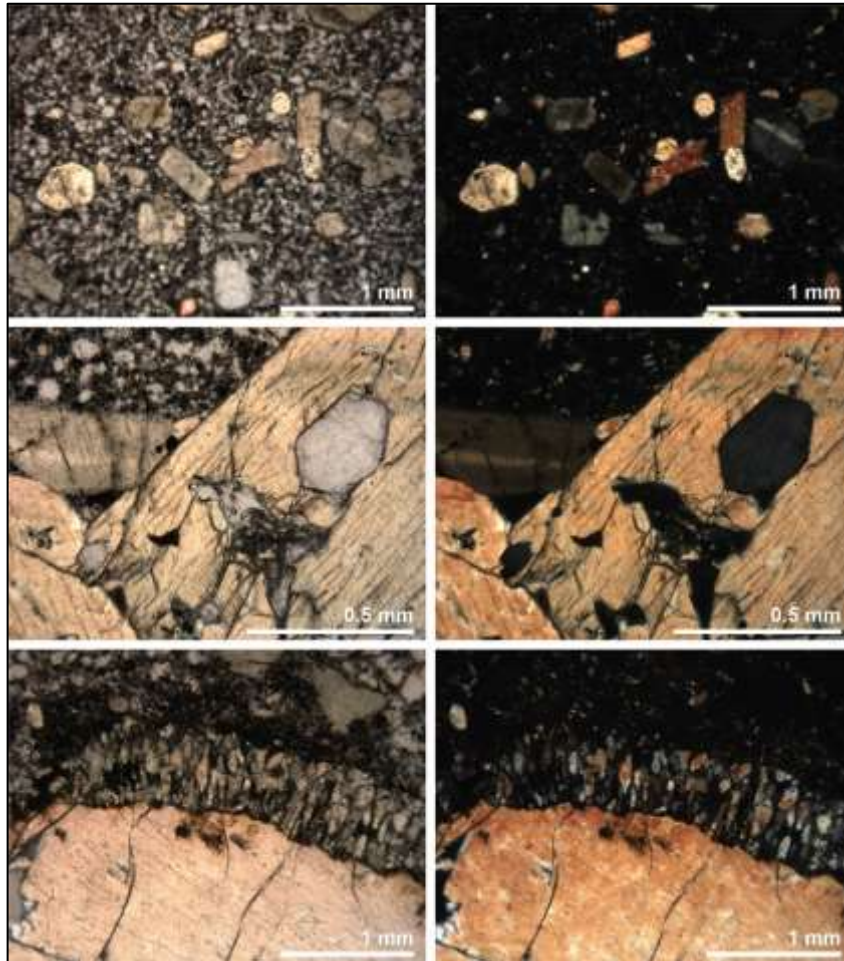
penyusun batuan ini terdiri atas leusit, augite, olivine, dan plagiokas yang hadir secara melimpah dengan sedikit kalium feldspar, nepheline, dan mineral opak. Mengacu pada *National Technical Team* (2000) berdasarkan hasil radiometri, satuan ini berumur absolut 0,53-0,59 juta tahun yang lalu atau berumur Pleistosen Awal.



Gambar 3. 2 Sayatan tipis fenokris augite dan olivine (atas) dan massa dasar yang tersusun atas leusit, augite, mikrolit plagioklas, dan mineral opak (bawah) dalam basanite leusit-olivine sampel (D1). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang

3.1.2 Satuan Leucitite Sumanding

Satuan leucitite terletak di lereng sisi barat laut-utara Gunung Muria. Lokasi satuan ini berada di desa Sumanding, Kecamatan Kembang, Kabupaten Jepara. Singkapan batuan berupa lava yang berada di atas breksi piroklastik dengan struktur *columnar joint*. Secara megaskopis, satuan ini menunjukkan warna hitam keabu-abuan (segar). Leucitite yang dijumpai di daerah penelitian memiliki kristalinitas holokristalin dengan fenokris berukuran 0.5-5 mm, bentuk kristal didominasi euhedral dan sebagian subhedral, relasi inequigranular porfiritik. Secara umum satuan ini tersusun atas augite, olivine, plagioklas sebagai fenokris dan massa dasar didominasi oleh leusit serta mineral opak. Mineral aksesori berupa apatite hadir menginklusi mineral olivine dan augite. Mengacu pada *National Technical Team* (2000) berdasarkan hasil radiometri, satuan ini berumur absolut 0,34-0,42 juta tahun yang lalu atau berumur Pleistosen awal.



Gambar 3. 3 Mikroskopis representatif (atas), inklusi apatite pada augite (tengah), dan rim reaction yang terjadi pada olivine (bawah) dalam leucitite sample (F1). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.



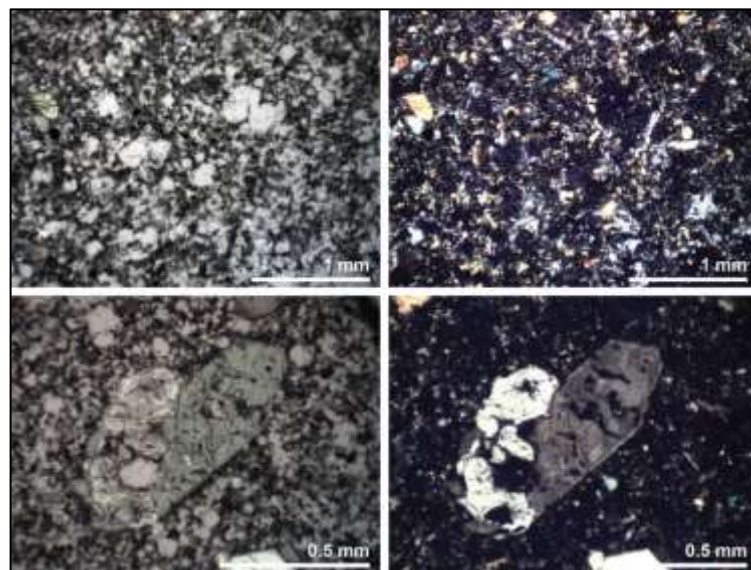
Gambar 3. 4 Kenampakan kontak antara aglomerat dengan leucitite

3.1.3. Satuan Phonolite-Tephrite Medani



Gambar 3. 5 Singkapan dan hand specimen satuan Phono-tephrite Medani

Satuan phono-tephrite Medani terletak di sisi timur laut Gunung Muria. di Desa Medani, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Jepara. Satuan ini memiliki singkapan batuan berwarna segar abu-abu sedangkan lapukan berwarna coklat tua dengan indeks warna 45-53%. Tingkat pelapukan pada satuan ini tinggi. Derajat kristalinitas hipokristalin dengan granularitas afanitik-fanerik sedang ($<1-4$ mm), bentuk kristal sebagian euhedral dan sebagian subhedral, relasi inequigranular vitroverik. Secara umum tersusun oleh plagioklas, piroksen, hornblende, aegirine-augite, enstatite, leusite, mineral opa, dan massa gelas. Kelompok mineral piroksen, plagioklas dan leusit memiliki persentase paling banyak dalam komposisi Tephrite Medani.



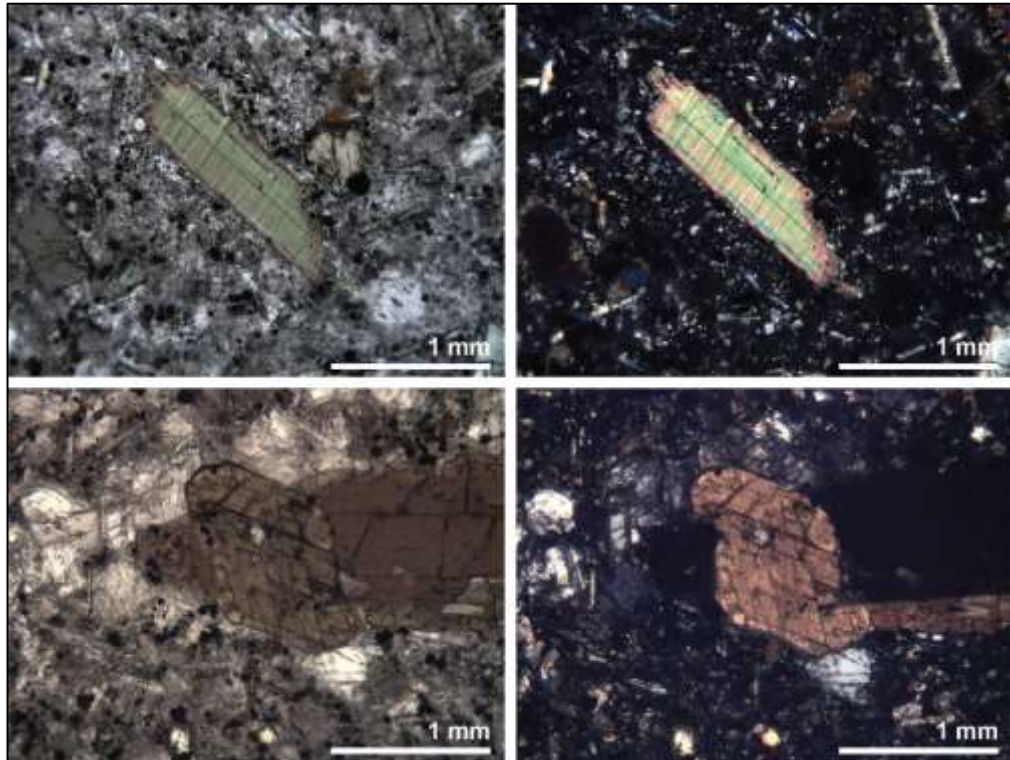
Gambar 3. 6 Mikroskopis massa dasar yang tersusun oleh leucite, piroksen, plagioklas, dan massa dasar (atas) dan fenokris aegirine-augite yang diinklusi oleh apatite (bawah). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.

3.1.4. Satuan Phono-tephrite Tempur

Satuan Phono-tephrite Tempur terletak di pusat Gunung Muria. Phono-tephrite Tempur berada di Desa Tempur, Kecamatan Keling, Kabupaten Jepara. Phono-tephrite memiliki singkapan batuan berwarna segar coklat muda - abu-abu sedangkan berwarna lapuk coklat tua. Derajat kristalinitas hipokristalin dengan granularitas afanitik-fanerik sedang ($<1-4,2$ mm). Berdasarkan hasil analisa petrografi, latite termasuk pada batuan beku alkali vulkanik. Batuan ini menunjukkan warna absorpsi netral-krem dengan indeks warna 36%. Memiliki bentuk kristal euhedral-subhedral dengan relasi inequigranular vitroverik. Terdapat tekstur khusus berupa glomeroporfiritik dan batuan ini disusun oleh mineral plagioklas, piroksen, leusit, hornblende, hiperstene, augite, biotite, sanidine, mineral opa, dan massa gelas.



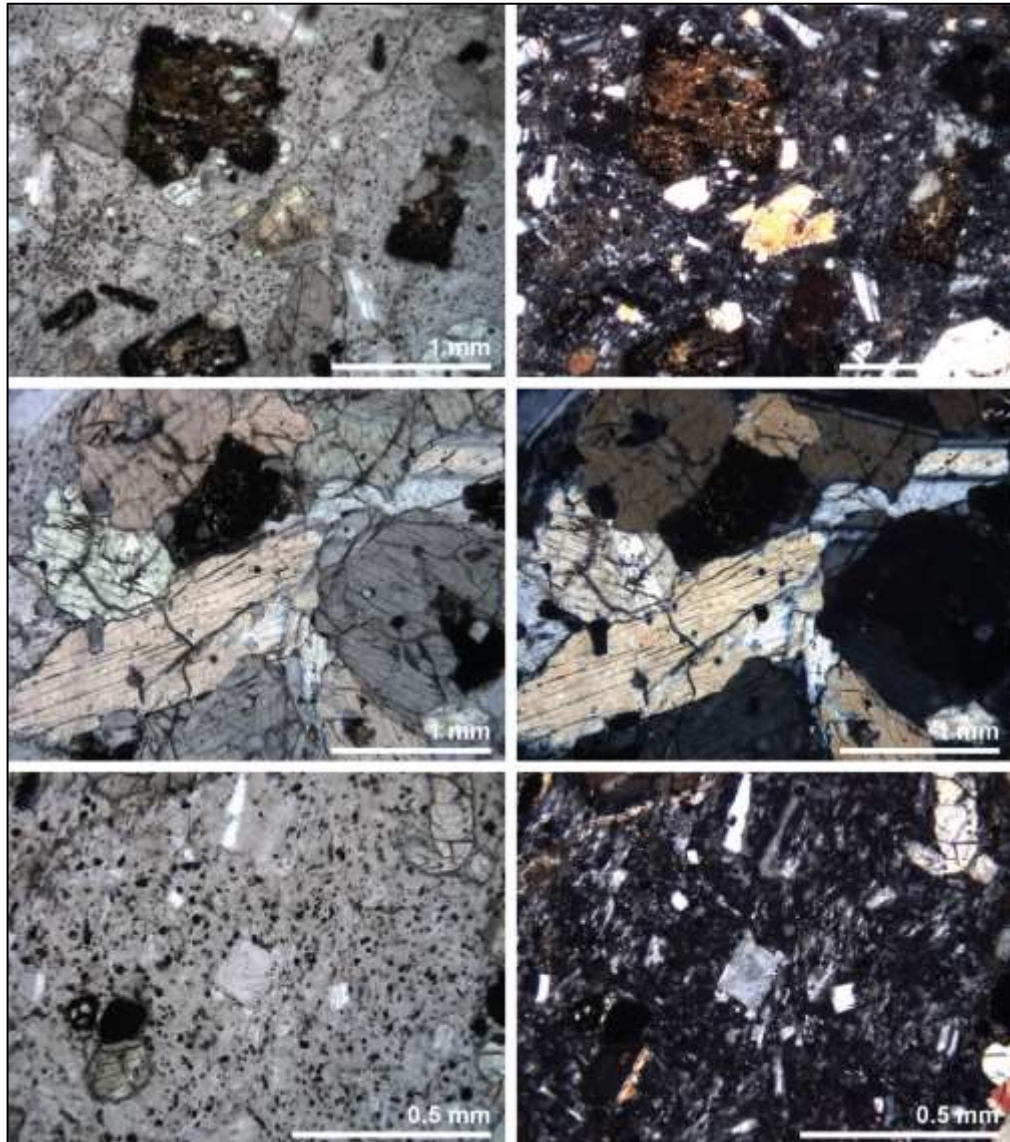
Gambar 3. 7 Singkapan phono-tephrite Tempur



Gambar 3. 8 Mikroskopis fenokris biotite (atas) dan hornblend (bawah) diantara massa dasar berupa gelas, leusit, mineral opak, dan massa gelas.

3.1.5 Satuan Trachyandesite Rahtawu

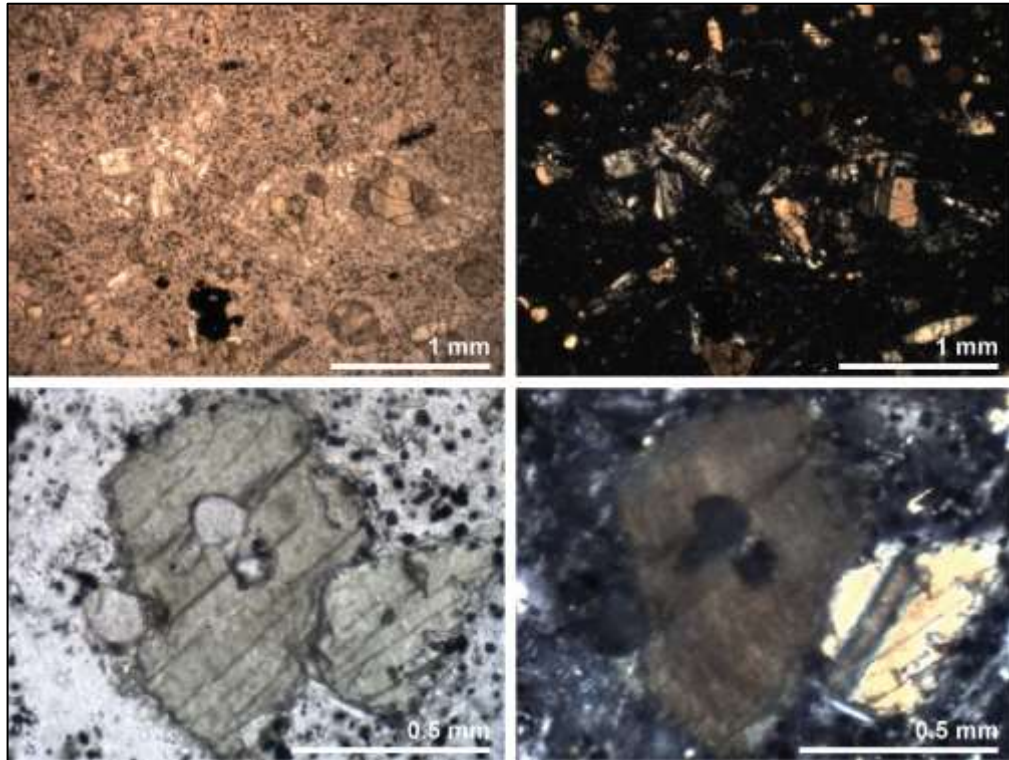
Satuan trachyandesite terletak di kawah bagian selatan Gunung Muria, tepatnya pada Desa Rahtawu, Kudus. Secara megaskopis, warna litologi abu-abu kecoklatan (segar) dan coklat terang (lapuk), hipokristalin, derajat granularitas fanerik sedang-halus dengan ukuran 1-4 mm. Hasil analisa petrografi menunjukkan fenokris tersusun atas biotite, augite, sanidine, dan plagioklas. Feldspathoid, seperti leucite, nepheline, dan nosean hadir dalam massa dasar dengan presentase yang berkisar 5-10%. Inklusi apatite dapat dijumpai terutama di biotite dan augite. Mengacu pada *National Technical Team* (2000) berdasarkan hasil radiometri, satuan ini berumur absolut 0,53-0,59 juta tahun yang lalu atau berumur Pleistosen awal.



Gambar 3. 9 Mikroskopis fenokris biotite lapuk dan augite (atas), inklusi apatite pada augite (tengah), dan massa dasar yang tersusun atas k-feldspar, plagioklas, dan mineral opak yang menunjukkan tekstur aliran (bawah) dalam trachyandesite sampel (C1). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.

3.1.6. Satuan Trachyandesite Gunungsari

Berdasarkan hasil analisa petrografi, Sayatan tipis trachyandesit memiliki warna absorpsi krem kecoklatan dengan indeks warna 40%. Memiliki kristalinitas holokristalin dengan granularitas afanitik-fanerik sedang (<1-2 mm). Terdapat tekstur khusus berupa glomeroporfiritik. Batuan ini disusun oleh mineral plagioklas, sanidine, leucite, augite, amfibole, mineral opak, apatite, dan massa gelas. Massa dasar gelas menjadi komposisi yang paling dominan, yaitu sebanyak 40%.

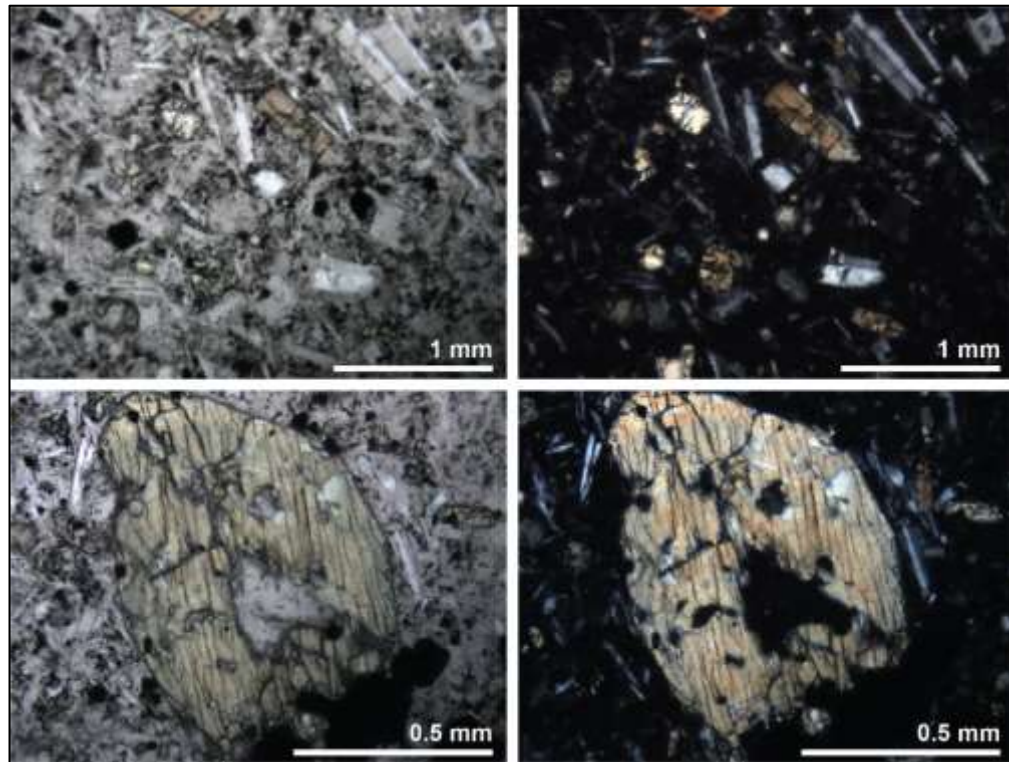


Gambar 3. 10 Mikroskopis piroksen, plagioklas, dan massa dasar gelas (atas) dan fenokris mineral augit (bawah) dalam trachyandesite sampel (E3). Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.

Berdasarkan hasil analisa petrografi, Basalt Gunung Sari memiliki warna absorpsi kuning pucat dengan indeks warna 49%. Basalt Gunung Sari memiliki kristalinitas hipokristalin dengan granularitas afanitik-fanerik sedang (<0.1-1.8 mm). Batuan ini mempunyai tekstur khusus berupa glomeroporfiritik dan tersusun oleh mineral plagioklas, piroksen, augite, hornblende, mineral opak, dan massa gelas. Kehadiran mineral plagioklas dan piroksen menjadi mineral yang memiliki persentase paling banyak pada batuan ini.

3.1.7. Satuan Basaltic Trachyandesite Clering

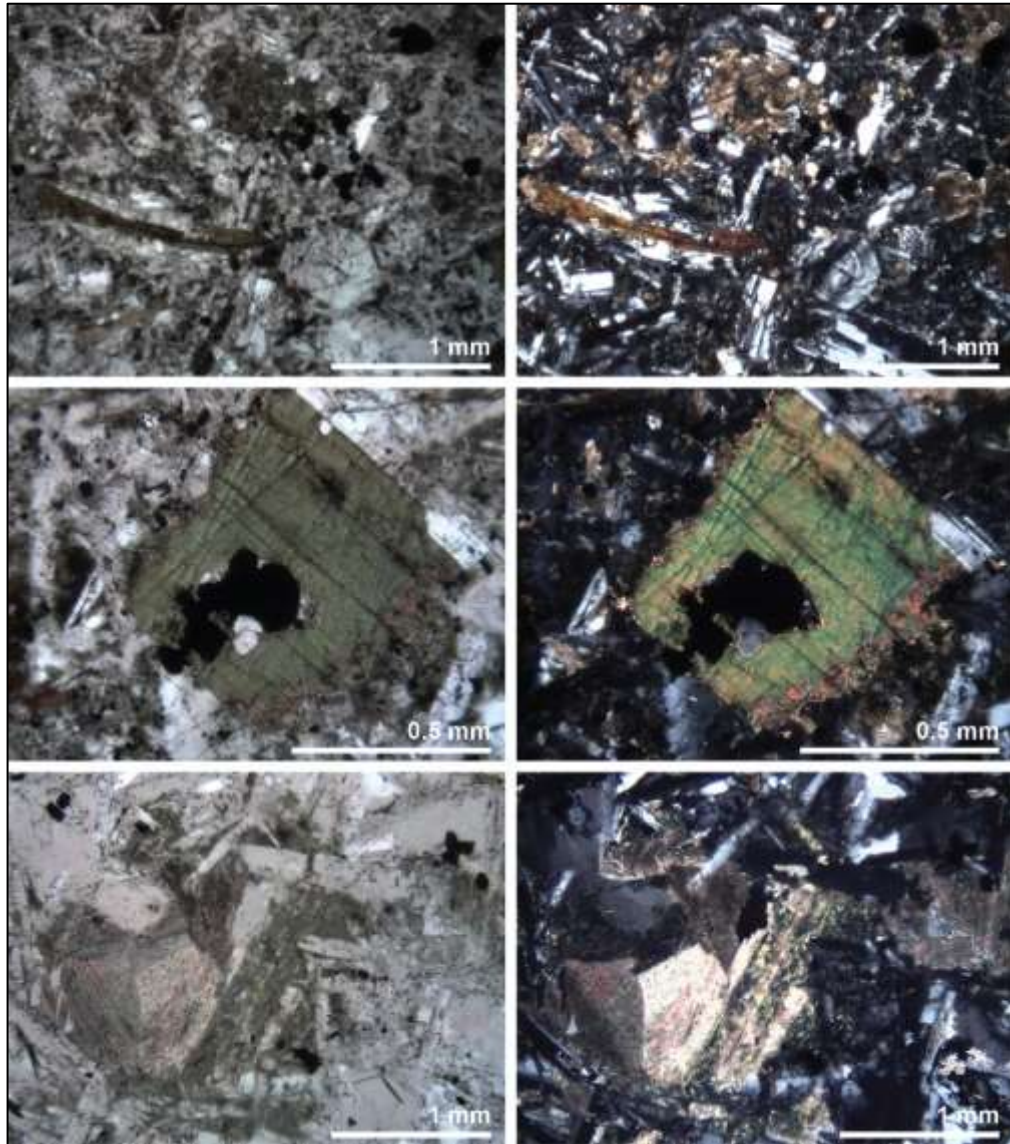
Satuan Basalt Clering terletak di sisi timur laut Gunung Muria atau berada di tenggara Gunung Genuk. Satuan Basalt Clering berada di Desa Clering, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Jepara. Basalt memiliki derajat kristalinitas hipokristalin dengan ukuran kristal <1-1 mm. Hasil analisa petrografi menunjukkan bahwa batuan ini memiliki tekstur khusus intergranular dan glomeroporfiritik dengan komposisi mineral plagioklas, augite, piroksen, sanidine, nephelin, hornblende, massa gelas dan mineral aksesori berupa mineral opak. Mineral plagioklas dan piroksen dominan dijumpai pada satuan ini. Mengacu pada National Technical Team (2000) berdasarkan hasil radiometri ini berumur absolut 1.65 ± 0.10 juta tahun yang lalu atau berumur Pliosen akhir.



Gambar 3. 11 Mikroskopis massa dasar yang tersusun oleh mikrolit plagioklas, augite, k-feldspar, dan massa gelas (atas) dan fenokris augite dalam basaltic trachyandesite. Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.

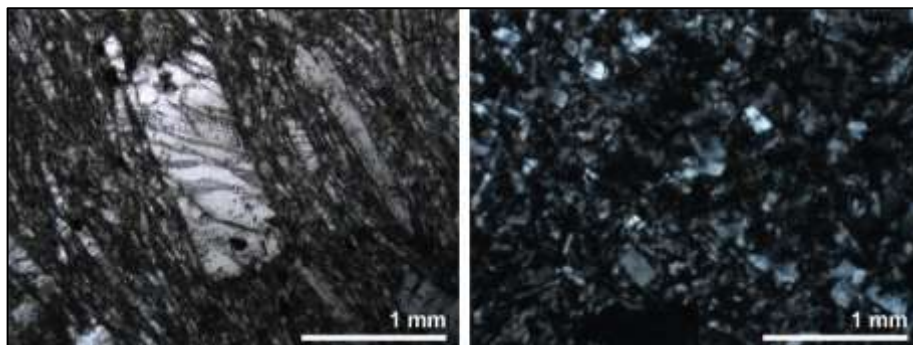
3.1.8. Satuan Basaltic Trachyandesite Rahtawu

Satuan basaltic trachyandesite Rahtawu terletak di kawah bagian selatan Gunung Muria, tepatnya pada Desa Rahtawu, Kecamatan Gebog, Kabupaten Kudus. Satuan basaltic trachyandesite Rahtawu berada di bagian timur laur dari satuan trachyandesit. Secara megaskopis, warna litologi abu-abu kecoklatan (segar) dan coklat tua (lapuk), hipokristalin, derajat granularitas fanerik sedang-halus. Hasil analisa petrografi menunjukkan fenokris tersusun oleh biotite, plagioklas, massa gelas, dengan mineral aksesori berupa mineral opak dan Apatite. Mineral sekunder yang hadir dalam batuan berupa serisite, chloerite dan calcite. Batuan telah mengalami ubahan dengan pola ubahan selectively pervasive, intensitas ubahan sedang dan proporsi ubahan sedang (25-75% mineral berubah). Proses alterasi membentuk mineral klorite, serisite, dan kalsit yang menggantikan plagioklas dan piroksen. Tipe alterasi berupa Propilitik. Mengacu pada National Technical Team (2000) berdasarkan hasil radiometri, satuan ini berumur absolut $0,67 \pm 0,034$ juta tahun yang lalu atau berumur Pleistosen awal.



Gambar 3. 12 Mikroskopis massa dasar kristal plagioklas, mineral opak, biotite, dan mineral lempung (atas), apatite dan mineral opak dalam biotite (tengah), dan mineral kalsit-chlorite-lempung (bawah) dalam satuan basaltic trachyandesite. Foto kiri dalam posisi nikol sejajar dan kanan dalam posisi nikol silang.

3.1.9. Satuan Trachyte Ujungwatu-Clering



Gambar 3. 13 Mikroskopis trachyte dalam sayatan Satuan Trachyte Ujungwatu (kiri) dan Satuan Trachyte Clering (kanan). Foto dalam posisi nikol silang.

Satuan Trachyte Ujungwatu terletak di sisi utara Gunung Muria atau berada di utara Gunung Genuk. Satuan Trachyte Ujungwatu berada di desa Ujungwatu, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Jepara. Trachyte Ujungwatu memiliki derajat kristalinitas hipokristalin dengan granularitas afanitik-fanerik sedang (<1-2 mm), memiliki relasi inequigranular-vitroverik. Hasil analisa petrografi menunjukkan bahwa batuan ini memiliki tekstur khusus trakitik berupa adanya pensejajaran mikrolit sanidine pada masa dasar. Komposisi batuan terdiri atas mineral plagioklas, sanidine, massa gelas dan mineral aksesori berupa mineral opak. Mineral sanidine dominan dijumpai pada satuan ini sebesar 72%. Mengacu pada National Technical Team (2000) berdasarkan hasil radiometri, ini berumur absolut 0,77-1 juta tahun yang lalu atau berumur Pleistosen-Pliosen akhir.

Satuan Trachyte Clering terletak di sisi timur laut Gunung Muria atau berada di timur Gunung Genuk. Satuan Trachyte Clering berada di desa Clering, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Jepara. Trachyte Clering memiliki derajat kristalinitas hipokristalin dengan ukuran kristal <1-2,5 mm. Hasil analisa petrografi menunjukkan bahwa batuan ini memiliki tekstur khusus trakitik berupa adanya pensejajaran mikrolit sanidine pada masa dasar. Komposisi batuan terdiri atas mineral plagioklas, sanidine, nephelin, leusite, piroksen, olivine, massa gelas dan mineral aksesori berupa mineral opak. Mikrolit sanidine dominan dijumpai pada satuan ini sebesar 46%. Mengacu pada National Technical Team (2000) berdasarkan hasil radiometri, berumur absolut 0,77-1 juta tahun yang lalu atau berumur Pleistosen-Pliosen akhir.

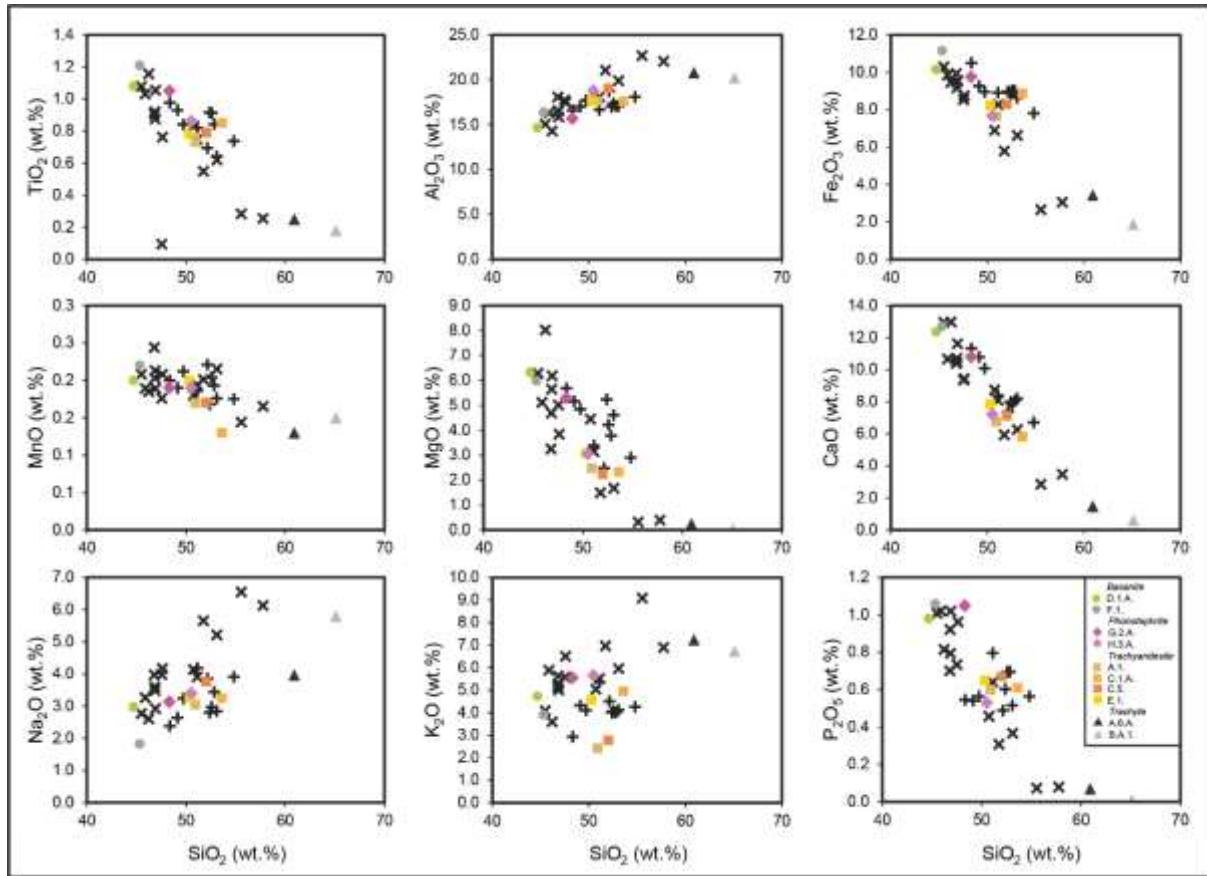
Tabel 3. 1 Komposisi mineralogi tipe batuan di kompleks Gunungapi Muria

No	Lokasi	Kode Batuan	Nama Batuan	Mineral Primer													M Aksesori		M. Gelas	Mineral sekunder					Total
				Oi	Px	Aug	Hip	Aeg	Ens	Hb	Bt	Plg	Sdn	Leu	Nep	Nos	Mus	Opak		Apatit	Clay M.	Ser	Chlo	Cal	
1	Clering, Donorejo, Jepara	A1	Trachyandesite		28	5				10		35	5		2			10		5					100
2	Clering, Donorejo, Jepara	A6	Trachyt	2	8							20	46	5	1			12		6					100
3	Ujingwatu, Donorejo, Jepara	B1A	Trachyt								12	72					6		10						100
4	Rahtawu, Gebog, Kudus	C1A	Trachyandesite			18					11	18	8		11	5		16	3	10					100
5	Rahtawu, Gebog, Kudus	C5	Trachyandesite								12	23					7	2	10		9	20	17		100
6	Samosari, Batealit, Jepara	D1A	Leucite Basanite	17		13					14	2	23	6			6	4	14					1	100
7	Gunungsari, Tlowungu, Pati	E1	Trachyandesite			17				6	18	13	3				9	4	30						100
8	Gunungsari, Tlowungu, Pati	E3	Basalt		27	16				6	24						9		18						100
9	Sumanding, Kembang, Jepara	F1	Basanite	16		19					10		24				14	7	10						100
10	Medani, Cluwak, Jepara	G1	Tephrite		12			20	6	7	18		15				10		12						100
11	Medani, Cluwak, Jepara	G2	Phonolitic Tephrite		23			28			20	7	5				7		10						100
12	Tempur, Keling, Jepara	H1	Latite		8	12	4			8	4	28	18				6		12						100
13	Tempur, Keling, Jepara	H3	Phonolitic Tephrite		16	12				12	4	25	15				6		10						100
14	Clering, Donorejo, Jepara	AMR05	Nepheline Latite		10	5				5		25	15		3		10		27						100
15	Clering, Donorejo, Jepara	AMR06	Basalt		28	5				10		35	5		2		10		5						100
16	Clering, Donorejo, Jepara	AMR78	Trachyt									15	70				5		10						100
17	Clering, Donorejo, Jepara	AMR 65	Trachyt		10							15	42				8		20					5	100
18	Clering, Donorejo, Jepara	AMR68	Nepheline Trachyt		10							15	45		5		15		10						100
19	Clering, Donorejo, Jepara	AMR107	Phonolitic Tephrite		20	5						35	10	8			12		10						100
20	Clering, Donorejo, Jepara	AMR08	Basalt		12	5		3		5	5	34	10				10		16						100
21	Clering, Donorejo, Jepara	AMR09	Basalt							3		35	10				8		44						100
22	Clering, Donorejo, Jepara	AMR28	Latite		10			15		5		27	15				10		18						100
23	Clering, Donorejo, Jepara	AMR30	Latite		15	14				10	5	16	12				8		20						100
24	Clering, Donorejo, Jepara	AMR49	Phonolitic Tephrite		7	5				3		34	18	8			10		15						100

3.2 Geokimia

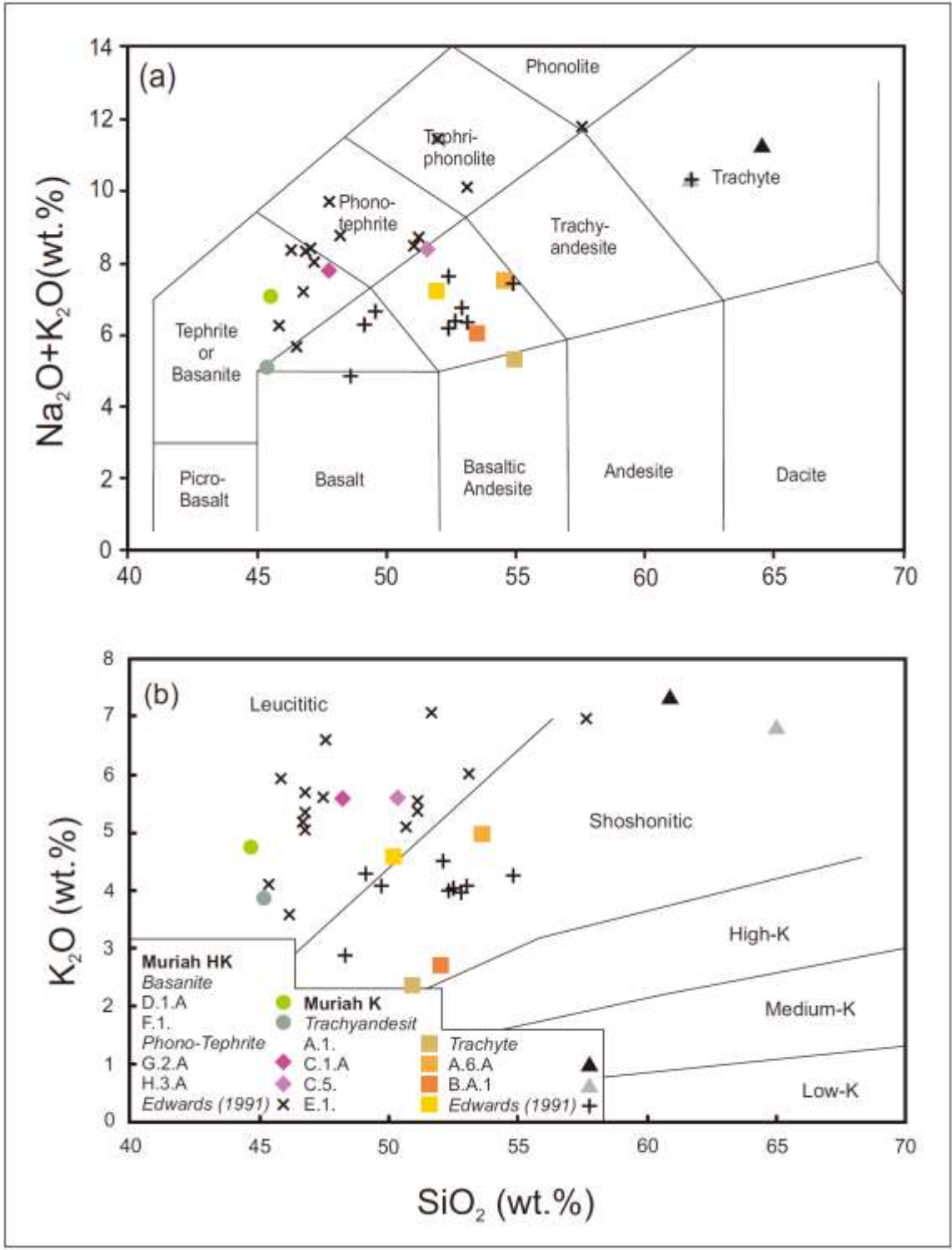
Berdasarkan analisa geokimia laboratorium, didapatkan pengeplotan diagram Harker seperti di bawah ini (Gambar 3.14), dapat diketahui jika diagram tersebut menginformasikan bahwa unsur SiO_2 berbanding lurus dengan Na_2O , Al_2O_3 dan K_2O yang menunjukkan korelasi positif, dan berbanding terbalik dengan CaO , Fe_2O_3 , MgO , MnO , TiO_2 , P_2O_5 yang menunjukkan korelasi negatif. Perbandingan TiO_2 dengan SiO_2 menunjukkan bahwa sampel berbanding terbalik, sampel dengan kandungan silika tinggi menunjukkan adanya unsur Ti yang semakin rendah. Nilai Loss on Ignition (LOI) menunjukkan kisaran 0.18-1.21%. Selanjutnya, jika dilihat kandungan mafic mineral lain seperti Fe_2O_3 dengan SiO_2 , ditunjukkan bahwa sampel memiliki trend yang berbanding terbalik, sampel dengan kandungan silika tinggi menunjukkan adanya unsur Fe yang semakin rendah. Namun pada batuan basanite dan phonotephrite didapatkan Fe_2O_3 yang tinggi dengan SiO_2 semakin rendah. Nilai Loss on Ignition (LOI) menunjukkan kisaran 1.87-11.15%.

Perbandingan MgO dengan SiO_2 menunjukkan bahwa sampel berbanding terbalik, sampel dengan kandungan silika tinggi menunjukkan adanya unsur Ti yang semakin rendah. Nilai Loss on Ignition (LOI) menunjukkan kisaran 0.18-1.21%. Kandungan TiO_2 , Fe_2O_3 dan MgO dengan nilai yang tinggi berada pada litologi basanite dan phonotephrite, sedangkan pada litologi trachyte didapatkan kandungan TiO_2 , Fe_2O_3 dan MgO yang rendah. Trachyte pada kompleks Muria secara umum memiliki karakteristik geokimia dengan nilai SiO_2 60.90-65.10%. Berdasarkan perbandingan pada diagram Harker didapatkan informasi bahwa nilai K_2O 6.74-7.24% dan nilai Na_2O pada trachyte berkisar 3.97-5.80%.



Gambar 3. 14 Diagram Harker major element kompleks Muria

Ditinjau dari aspek petrologi, batuan dengan kandungan kelompok mineral foid atau feldspatoid biasanya memiliki kandungan silika sangat rendah dengan kandungan K_2O sangat tinggi. Gambar 3.15 memperlihatkan adanya perbedaan hasil pengeplotan yang antara Kompleks Muria High K dan Muria K. Hasil pengeplotan data K_2O+Na_2O VS SiO_2 ke dalam tabel Peccerillo-Taylor (1976), Muria K masuk dalam wilayah seri Shoshonit. Artinya batuan gunung api yang membangun Muria K berasal dari magma berafinitas Shoshonit. Afinitas magma ini berkaitan dengan kemunculan mineral modal leusit dan nephelin pada batuan gunung api Genuk. Komposisi batuan gunung api Genuk dihasilkan oleh magma seri Shosonit antara trachyte-trachyandesit. Batuan Gunung Api Genuk/Muria K menjadi batuan dengan nilai SiO_2 paling tinggi (50,90-65,10 (wt.%.)) dibandingkan dengan batuan Muria HK. Sedangkan Muria HK yang tersusun oleh batuan basanite-phono tephrite termasuk pada magma berafinitas leucititic.



Gambar 3. 15 a) Diagram Total Alkali-Silika (TAS) dan b). Diagram K₂O versus SiO₂ (menggunakan klasifikasi Le Bas et al. 1986, Peccerillo and Taylor 1976. Pada diagram ini juga disertakan data Analisa dari Edwards (1991)

3.3 Lingkungan Tektonik

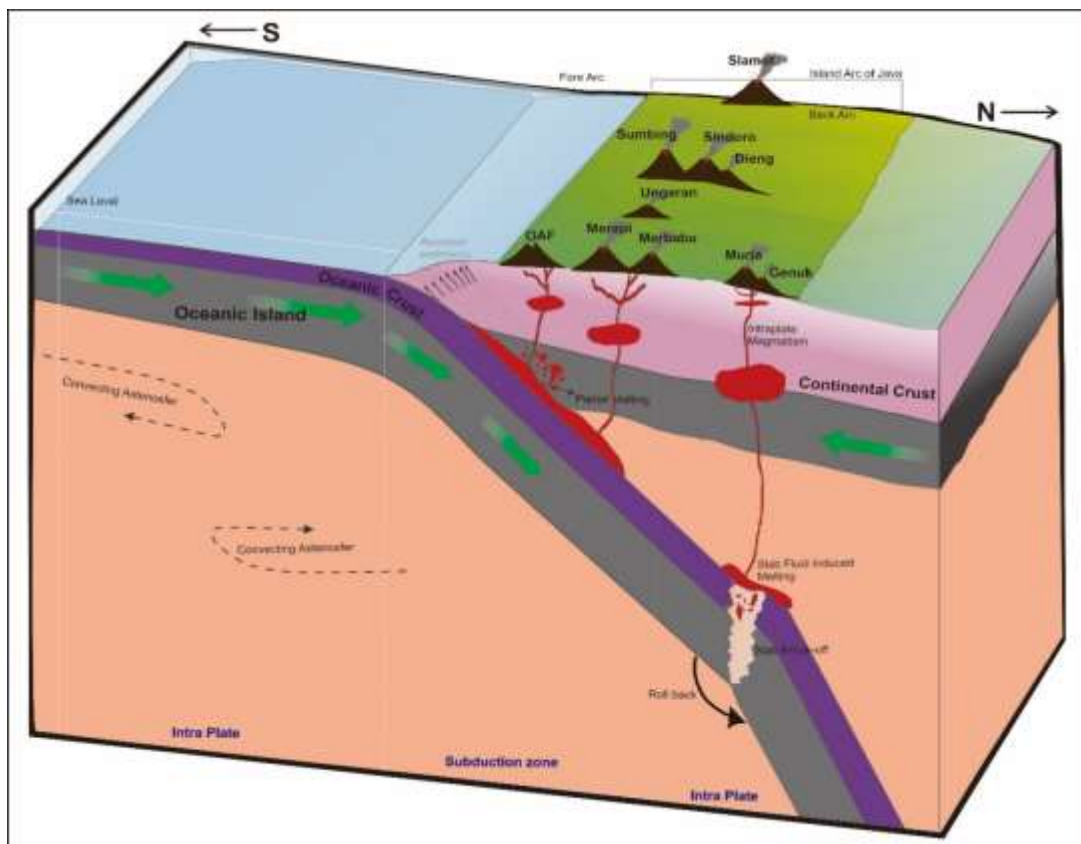
Sistem palung-busur Sunda memperlihatkan perbedaan dibanding Blok Sumatra Utara dan Andaman, diantaranya adalah pertama, kandungan geokimia magma pada blok ini banyak menimbulkan teka teki atau pertanyaan (Whitford et al 1979; Nicholls and Whitford 1983; Kundu and Gahalaut 2011), Adanya seismic gap pada fokus gempa kedalaman 300 km dan 500 km pada Blok Busur Jawa dan terdapatnya spektrum batuan vulkanik Kuartar berafinitas High-K Calc-Alkaline dan High-K Alkaline Nicholls and Whitford, 1983; Edwards et al. 1991; Setijadji et al., 2006; Kundu and Gahalaut, 2011) di atas seismic gap tersebut (Widiyantoro et al 2011; Kundu and Gahalaut 2011)

Gunung Muria yang terletak di utara Pulau Jawa memiliki posisi yang unik. Terletak di zona subduksi aktif juga di cekungan busur belakang. Edwards (1999) menyebutkan gunung ini berada di timur Sundaland pada perpotongan Cekungan Madura, Cekungan Busur Belakang Jawa, dan Zona Ekstensi Bawean. Setting tektonik ini menunjukkan adanya hubungan antara subduksi dan proses intraplate.

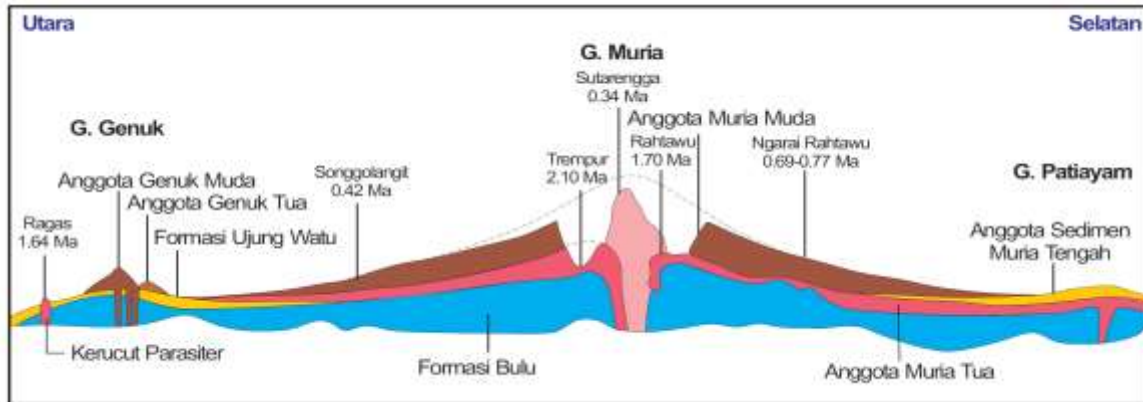
Perkembangan tektonik pada Jaman Tersier mengakibatkan terbentuknya cekungan-cekungan di Laut Jawa (*pull-apart basin*), bersamaan aktifitas tektonik peregangan mendatar (*extension*) (Astjario, 2007). Selain terjadi tekanan berlebihan pada litosfir saat itu, juga terjadi pelelehan mantel litosfir. Situasi ini yang merubah komposisi magma dari kandungan potasium rendah ke arah kandungan potasium tinggi. Ditafsirkan bahwa generasi magma di gunungapi Muria sangat beragam tergantung dari temperatur proses pelelehan magma (Sukyar drr, 1998 dalam Astjario,2007). Kesimpulan ini diperkuat dengan hasil penelitian mengenai perkembangan busur magmatis Indonesia bagian barat oleh Soeria Atmadja drr (1998) dalam Astjario(2007), sejak jaman Paleosen, Eosen Awal, Miosen Awal, Miosen Akhir dan jaman Pliosen yang mengindikasikan siklus puncak aktifitas vulkanik kalk-alkali tinggi padamasing-masing pada jaman tersebut.

Menurut Sukyar drr (1998) dalam Astjario (2007), magma yang mengandung potasium tinggi terbentuk pada temperatur lebih rendah dibandingkan dengan magma yang mengandung potasium rendah. Oleh sebab itu terjadi pengurangan temperatur pada pelelehan mantel selaras dengan berjalannya waktu. Peristiwa tektonik yang mengakibatkan peregangan (*extension*) menghasilkan pelelehan magma dengan panas tinggi dan magma berpotasium rendah. Selanjutnya terjadi peristiwa tektonik yang

mengalami perubahan secara berangsur dan mengakibatkan peregangan berhenti serta beralih menjadi bertekanan (*compression*) yang menghasilkan magma berpotasium tinggi. Analisa unsur jejak yang dilakukan oleh Prasetya (2010) menunjukan sumber dari magma Gunung Muria berasal dari dua setting tektonik yang berbeda. Pertama, pengaruh zona subduksi di selatan Pulau Jawa yang bertanggung jawab memproduksi konsentrasi fluida LILE dari pelelehan lempeng India yang menujam dan sedimen baik dari Sundaland yang bersifat kontinen maupun sedimen laut di atas lempeng India. Kedua, pengaruh pembentukan magma dari *subcontinental lithosphere* di lingkungan intraplate di bawah Sundaland. Arus konveksi dari mantle menyebabkan terjadinya pencampuran dua magma menjadi *subduction-modified magma source* yang membentuk magma Muria.



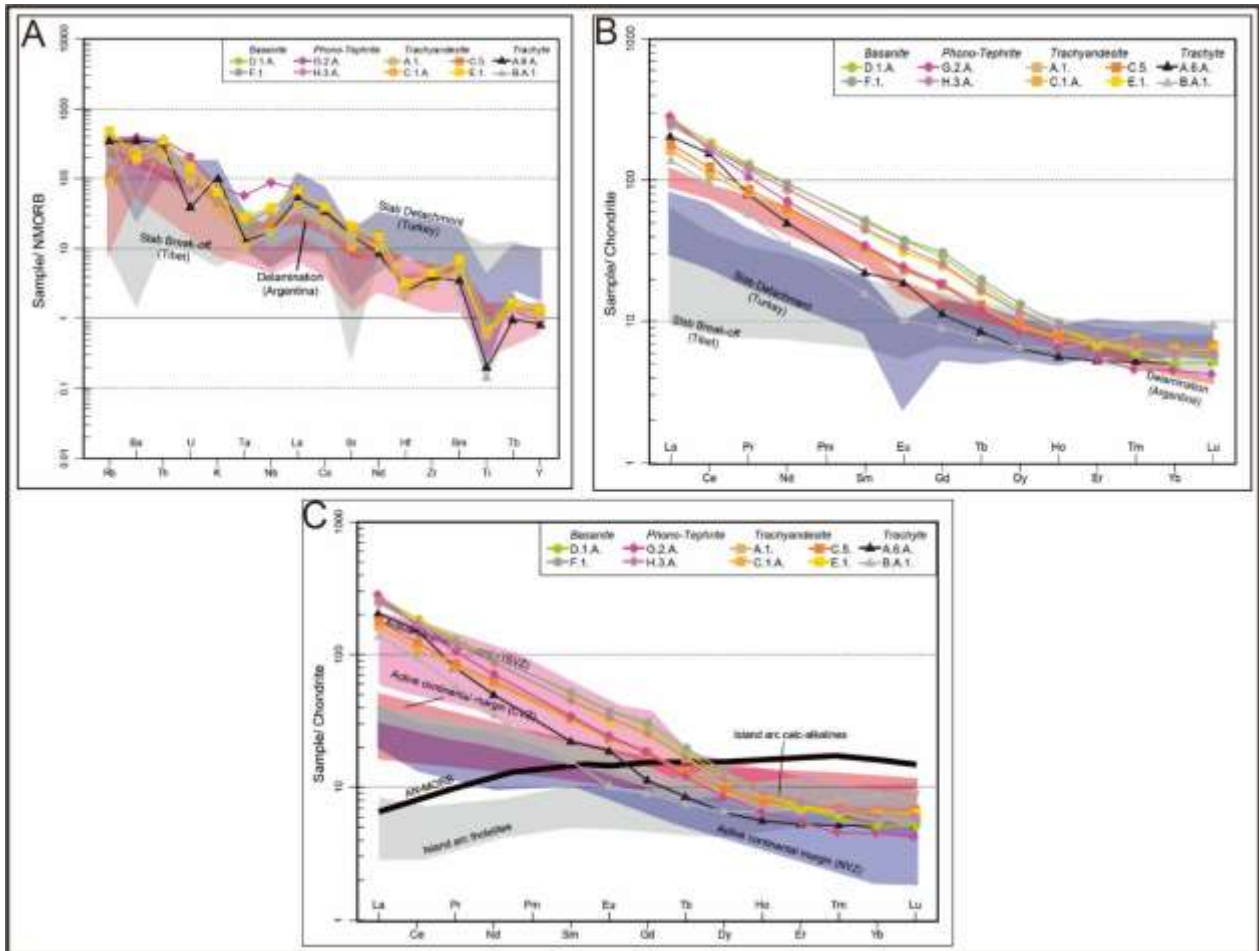
Gambar 3. 16 Visualisasi 3D kondisi setting tektonik yang mempengaruhi pembentukan magma Kompleks Muria



Gambar 3. 17 Kenampakan penampang utara selatan pada kompleks gunungapi Muria (menurut

Untuk mengetahui tatanan tektonik yang sesuai dengan Kompleks Muria, dilakukan pendekatan-pendekatan lain dengan membandingkan tektonik Muria dengan tektonik negara lain yang memiliki kesamaan ciri yaitu tatanan tektonik *slab break-off*, *slab detachment*, dan *delamination*. Gambar 3.18.a merupakan kenampakan diagram spider NMORB yang menjelaskan perbandingan karakteristik trace element pada Tibet, Argentina, dan Turkey memiliki keadaan lingkungan tektonik yang sama, yaitu berada pada lingkungan *slab*. Pada kandungan Niobium (Nb), ketiga negara tersebut memiliki kecenderungan trend unsur Nb yang menurun tetapi pada lingkungan Muria kandungan Nb memiliki kecenderungan trend relatif tinggi. Selain unsur Nb, terdapat unsur Hafnium (Hf) yang memiliki kecenderungan tinggi pada Tibet, Argentina, dan Turkey namun rendah pada kompleks Muria.

LUTJ (*Light Rare Earth Element*) terdiri atas 8 unsur yaitu lanthanum (La), cerium (Ce), praseodymium (Pr), neodmium (Nd), promethium (Pm), samarium (Sm), europium (Eu), gadolinium (Gd) dan HUTJ (*Heavy Rare Earth Element*) terdiri atas 7 unsur yaitu terbium (Tb), dysprosium (Dy), holmium (Ho), erbium (Er), thulium (Tm), ytterbium (Yb), dan lutetium (Lu). Mengacu pada gambar 3.18.b, dijelaskan bahwa perbandingan karakteristik *Rare Earth Element* pada Tibet, Argentina, dan Turkey memiliki keadaan lingkungan tektonik yang sama, yaitu berada pada lingkungan *slab*. Pada kandungan Europium (Eu), kompleks Muria dan ketiga negara tersebut memiliki kecenderungan trend relatif rendah dibandingkan dengan unsur lainnya. Hal lainnya dijelaskan pada Diagram Spider Chondrite (Gambar 3.18.c) bahwa kompleks Muria berada pada lingkungan tektonik *Active continental margin* (NVZ).



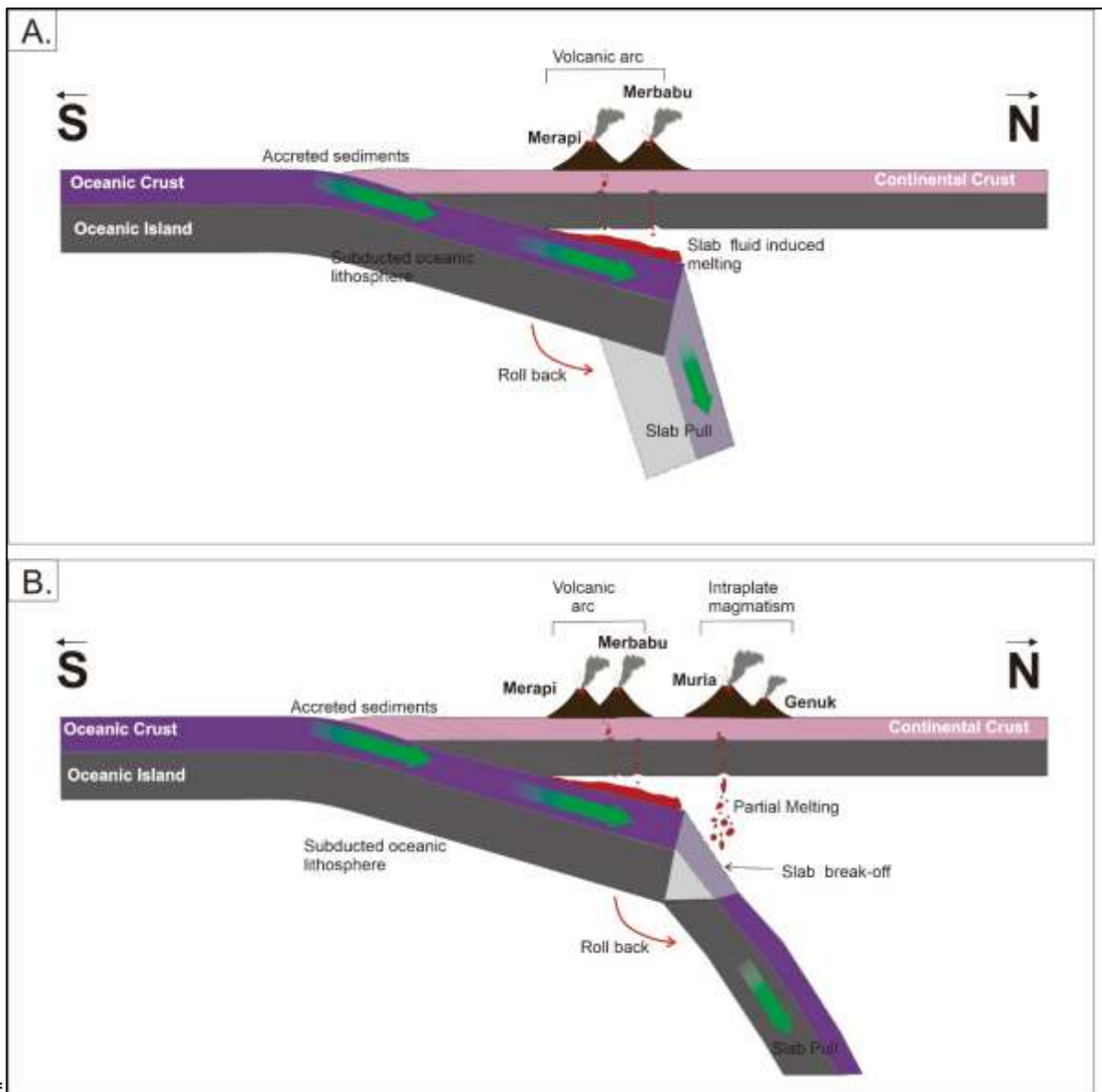
Gambar 3. 18 (a) Spider diagram comparing the trace element content of the Mount Muria complex with other areas (b). Chondrite-normalised REE plots diagram according to Turkey, Tibet and Argentina comparing to REE content of Mount Muria complex (c). Chondrite-normalised REE plots diagram determining magma type

Sistem palung-busur Sunda memperlihatkan perbedaan dibandingkan Blok Sumatera Utara dan Andaman, diantaranya adalah a) kandungan geokimia magma pada blok ini menimbulkan pertanyaan karena kandungan geokimia yang khas (Whitford et al 1979; Nicholls and Whitford 1983; Kundu and Gahalaut 2011), b) adanya *seismic gap* pada fokus gempa kedalaman 300 km dan 500 km pada blok busur Jawa dan terdapatnya spektrum batuan vulkanik Kuartar berafinitas High-K Calc-Alkaline dan High-K Alkaline Nicholls and Whitford, 1983; Edwards et al. 1991; Setijadji et al., 2006; Kundu and Gahalaut, 2011) di atas seismic gap tersebut (Widiyantoro et al 2011; Kundu and Gahalaut 2011).

Dari banyak penelitian, mengindikasikan bahwa pembentukan magma gunungapi kompleks Muria setidaknya terkait dengan 2 lingkungan tektonik (Nicholls and Whitford, 1983; Edwards et al. 1991; Setijadji et al., 2006; Kundu and Gahalaut, 2011), yaitu:

1. Magmatisme yang berasosiasi dengan lingkungan busur kepulauan (subduksi),
2. Magmatisme pada internal lempeng (*within plate*).

Walaupun demikian, pada awal tahun 80-90 an (Nicholls and Whitford, 1983; Edwards et al. 1991), berpendapat bahwa untuk lingkungan internal lempeng, kemungkinan dipengaruhi oleh *backarc rifting* (extensional), sedangkan saat ini berkembang (Setijadji et al., 2006; Kundu and Gahalaut, 2011), bahwa magmatisme di internal plate dikontrol oleh *slab tear* atau *detachment*.

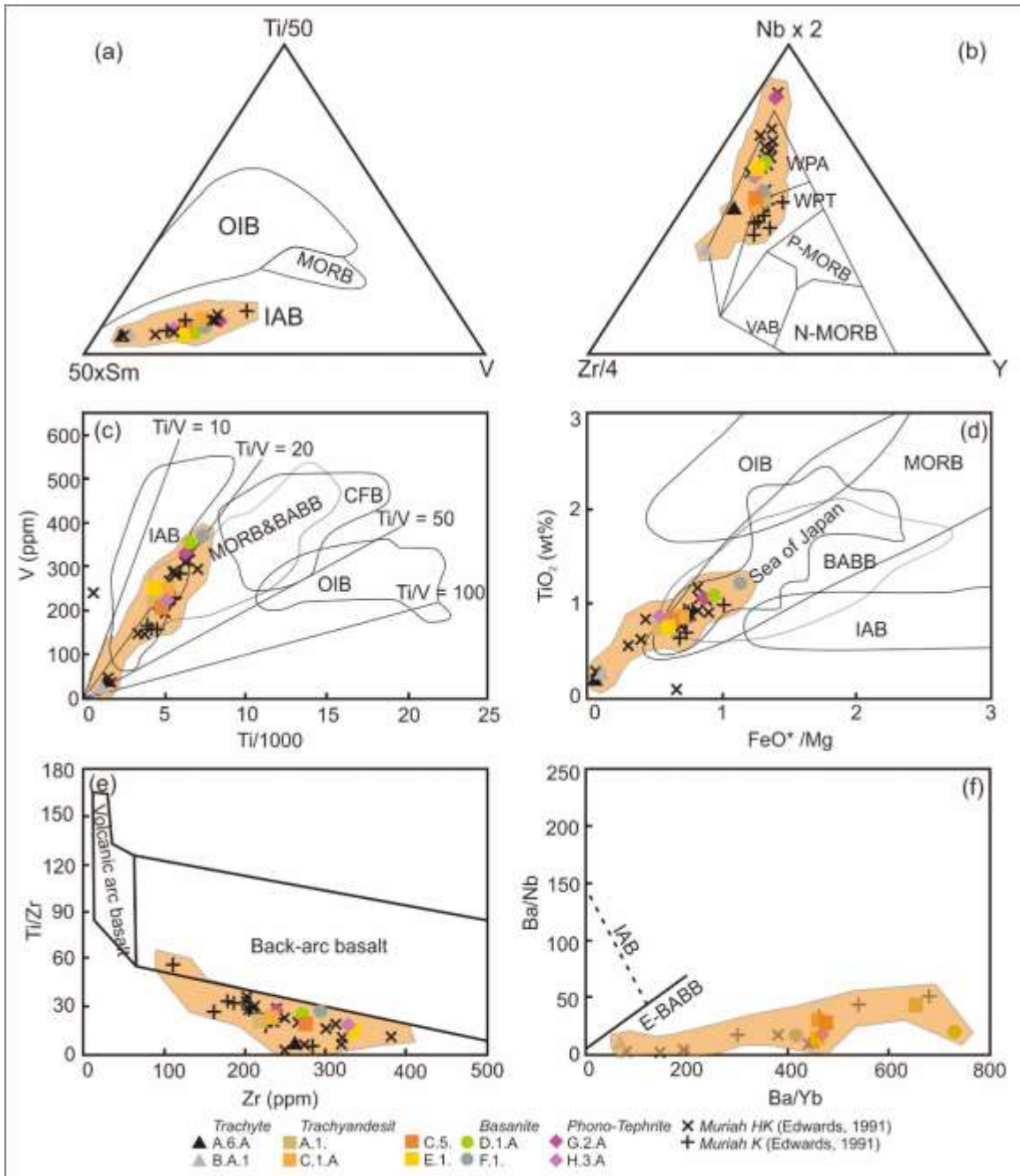


* **Gambar 3. 19** Diagram evolusi tektonik di tinggian kompleks Muria yang menunjukkan adanya proses *roll back* sebagai penyebab tatanan tektonik *slab break-off* di daerah Kompleks Muria

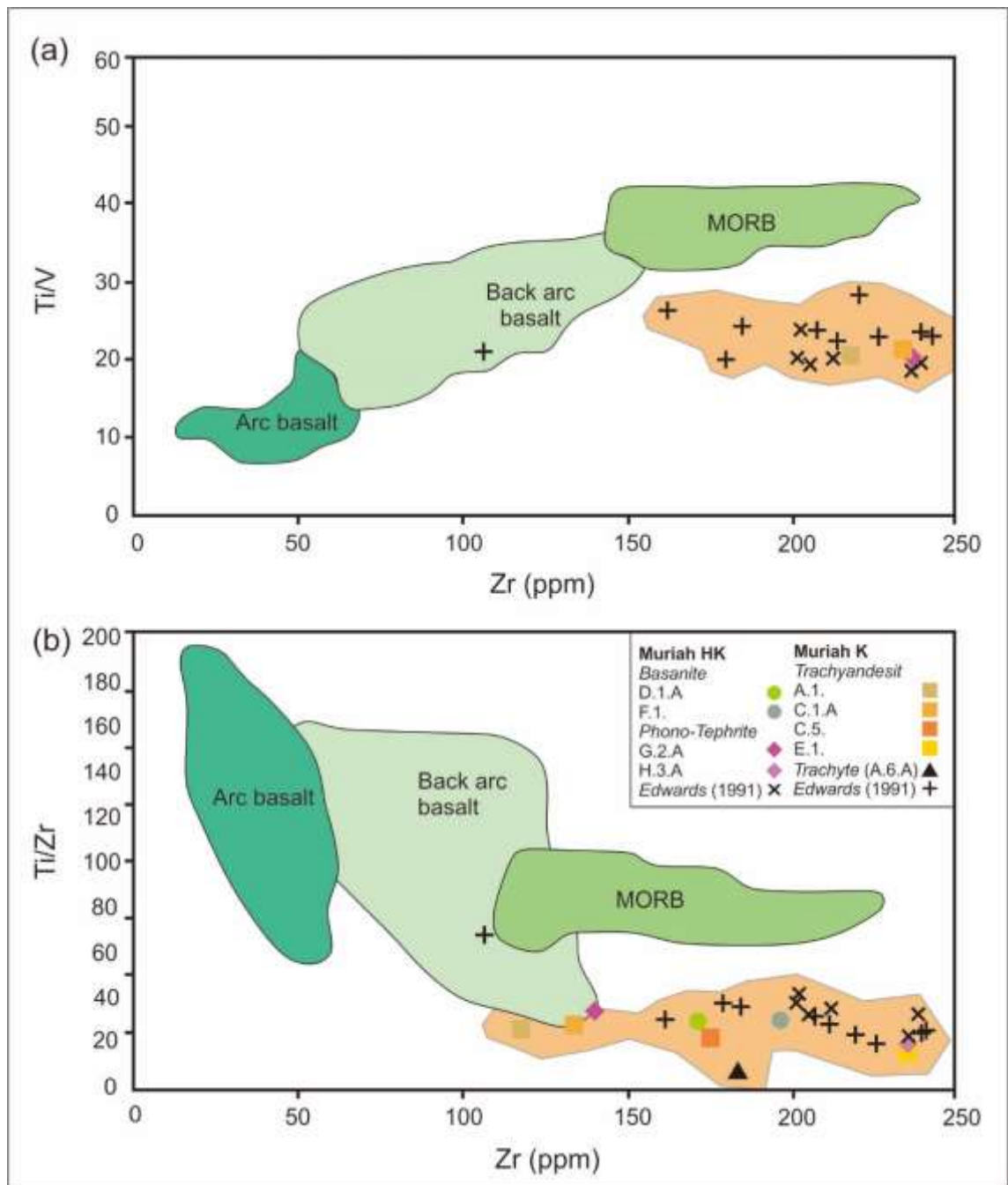
Pada awalnya terjadi proses subduksi yang mengakibatkan Lempeng Samudra menunjam terhadap Lempeng Benua. Akibat dari proses tersebut terjadinya peleburan atau *melting* yang mengakibatkan terbentuknya pegunungan-pegunungan pada bagian *back arc*, pada ilustrasi di atas ditunjukkan oleh Gunung Merapi dan Gunung Merbabu (Gambar 3.19.a). Tunjaman tersebut terus berlangsung hingga terjadi perbedaan kecepatan subduksi atau yang lebih dikenal sebagai proses *slab pull*. *Slab pull* tersebut terjadi akibat adanya perbedaan kecepatan waktu subduksi, dapat berubah menjadi lebih cepat ataupun menjadi lebih lambat dari kecepatan semula. Pada penelitian ini kecepatan menjadi lebih cepat. Perbedaan kecepatan tersebut mengakibatkan ujung dari lempeng Samudra mengalami proses *roll back* atau perputaran yang mengubah posisi tunjaman dari lempeng Samudra. Proses *roll back* yang terjadi secara terus menerus mengakibatkan jalur subduksi tersebut menjadi patah atau dapat dikenal dengan *slab break-off*. *Slab break-off* yang menjadi bagian patahan dari subduksi mengalami peluruhan sebagian atau *partial melting* yang menjadikan magma naik sehingga terjadi pembentukan gunung-gunung di Kompleks Muria. Kompleks Muria tersebut dibagi lagi menjadi 2 fase yaitu fase Muria tua (Gunung Genuk) dan fase Muria muda (Gunung Muria) (Gambar 3.19.b).

Berdasarkan diagram tektonik-magmatisme di bawah ini (Gambar 2.20), pada Gambar 2.20.a dapat disimpulkan bahwa daerah kompleks Muria berada pada lingkungan *Island Arc Basalt* (IAB) dibuktikan dengan kandungan Ti yang rendah dan nilai Sm yang tinggi. Dapat dilihat pada Gambar 2.20.b bahwa daerah kompleks Muria berada pada lingkungan *Within-Plate Alkaline Basalt* (WPA) dibuktikan dengan nilai Nb yang tinggi dan kandungan Y yang rendah, hal tersebut selaras dengan pembentukan Muria yang berada pada lingkungan *Intraplate* magmatisme (Gambar 2.19). Pada Gambar 2.20.c menjelaskan bahwa, berdasarkan kandungan Vanadium (V) yang tinggi dan Titanium yang relatif rendah didapatkan bahwa kompleks Muria berada pada lingkungan peralihan antara *Island Arc Basalt* (IAB) dan *Midge Ocean Ridge Basalt* (MORB). Titanium dioksida jika dibandingkan dengan Besi oksida/magnesium seperti Gambar 2.20.d, dapat memberikan informasi jika pada Kompleks Muria memiliki kadar TiO yang rendah namun FeO/Mg tinggi termasuk lingkungan tektonik MORB. Pada Kompleks Muria, jika dilakukan perbandingan Ti/Zr dengan Zr seperti Gambar 2.20.e, kecenderungan dari trend perbandingan unsur tersebut memberikan informasi bahwa kompleks Muria tidak termasuk

Volcanic Arc Basalt tetapi mendekati *Back Arc Basalt*. Gambar 2.20.f menjelaskan kadar Barium/Niobium dibandingkan dengan Barium/Ytterbium, nilai Ba/Nb rendah sedangkan Ba/Yb sangat tinggi yang membuat kawasan Kompleks Muria termasuk E-BABB.



Gambar 3. 20 a) Diagram diskriminan tektonik pada contoh batuan beku di Muria a) menggunakan diagram ternary Ti/50-50xSm-V dari Vermeesch (2006), b) Diagram ternary 2xNb-Zr/4-Y dari Meschede (1986), c) Diagram V vs Ti/1000 (Shervais, 1982), d) TiO₂ vs FeO/MgO (Shoto et al (2006); e) Diagram Ti/Zr vs Zr (Wang et al (2013b), dan f) Diagram Ba/Nb vs Ba/Yb (Leat al al., 2000; Li et al., 2013). WPA=Within-Plate Alkaline Basalt, WPT=Within Plate Tholeiites, VAB= Volcanic Arc Basalt, N-MORB=Normal Mid-Oceanic Basalt.



Gambar 3. 21 Diagram Ti/V vs Zr, dan Ti//Zr vs Zr (menggunakan diagram dari Gribble et al., 1996 menunjukkan plot sampel berada pada area di bawah MORB dan bback arc basalt.

BAB 4

LOGAM TANAH JARANG DI KOMPLEKS MURIA

4.1 Terminologi Logam Tanah Jarang

Logam Tanah Jarang (LTJ) atau yang dikenal sebagai *Rare Earth Elements* atau *Rare Earth Metals* merupakan bagian dari kelompok *trace elements* atau unsur jejak yaitu unsur yang kehadirannya tidak lebih dari 0.1 wt % pada kerak bumi. Logam Tanah Jarang terdiri dari 17 unsur logam, yaitu 15 unsur logam kelompok Lantanida ditambah Scandium (Sc) dan Yttrium (Y). LTJ dibagi 2 yaitu:

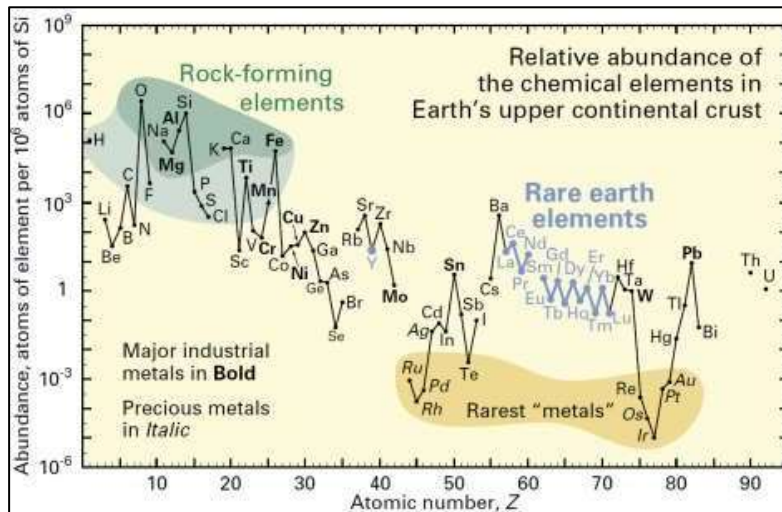
Keterangan:

- Unsur Utama, Kelimpahan dalam kerak > 1 wt%
- Unsur Minor, Kelimpahan dalam kerak 0.1-1 wt%
- Compatible trace elements
- HFS incompatible trace elements
- LIL incompatible trace elements
- Heavy REE
- Light REE

Gambar 4. 1 Logam Tanah Jarang pada tabel periodik unsur Mendeleev

Light REE atau LTJ ringan, yaitu LTJ yang mempunyai nomor atom kecil atau rendah terdiri dari Lantanium (La), Serium (Ce), Praseodim (Pr), Neodimium (Nd), Prometium (Pm), Samarium (Sm), dan Europium (Eu). Satunya adalah *Heavy REE*, yaitu unsur yang mempunyai nomer atom lebih tinggi, diantaranya Yttrium (Y), Gadolinium (Gd), Terbium (Tb), Disprosium (Dy), Holmium (Ho), Erbium (Er), Tulium (Tm), Yitirbium (Yb), dan Lutetium (Lu).

Disebut Logam Tanah Jarang bukan karena jumlahnya yang jarang atau kadarnya kecil, tetapi lebih disebabkan karena LTJ sebagian besar terkonsentrasi pada batuan karbonatit dan batuan beku peralkalin yang sebarannya di bumi termasuk sangat jarang ($\pm 0.5\%$ di permukaan bumi) atau sedikit dibanding sebaran logam lainnya. Logam Tanah Jarang menjadi kelompok terpisah dari *trace elements* lainnya karena mempunyai sifat-sifat kimia yang relatif sama dan umumnya terbentuk pada lingkungan geologi yang juga relatif sama.



Gambar 4. 2 Grafik yang memperhatikan kelimpahan unsur di kerak bumi

Perkiraan rata-rata Logam Tanah Jarang dalam kerak bumi yang terkecil adalah Tulium (Tm) itu sekitar 0.5 ppm dan yang umumnya besar adalah Serium (Ce) yaitu sekitar 60-an ppm. Kalau ditotal seluruh REE sekitar 200-an ppm. Angka ini lebih tinggi dari *cut-off grade* atau *mining grade* beberapa unsur logam langka lainnya seperti Au, Ag, Zn di daerah prospek pertambangan.

Tabel 4. 1 Kadar Logam Tanah Jarang di kerak Bumi menurut beberapa peneliti

<i>Rare Earth Element</i>	Wedephol (1995)	Lide (1997)	McGill (1997)
Lanthanum (La)	30	39	5 to 18
Cerium (Ce)	60	66.5	20 to 46
Praseodymium (Pr)	6.7	9.2	3.5 to 5.5
Neodymium (Nd)	27	41.5	12 to 24
Samarium (Sm)	5.3	7.05	4.5 to 7
Europium (Eu)	1.3	2	0.14 to 1.1
Gadolinium (Gd)	4	6.2	4.5 to 6.4
Terbium (Tb)	0.65	1.2	0.7 to 1
Dysprosium (Dy)	3.8	5.2	4.5 to 7.5
Holmium (Ho)	0.8	1.3	0.7 to 1.2
Erbium (Er)	2.1	3.5	2.5 to 6.5

Thulium (Tm)	0.3	0.52	0.2 to 1
Ytterbium (Yb)	2	3.2	2.7 to 8
Lutetium (Lu)	0.35	0.8	0.8 to 1.7
Yttrium (Y)	24	33	28 to 70
Scandium (Sc)	16	22	5 to 10
Total	184.3	242.17	

4.1.1 Mineral Bijih Logam Tanah Jarang

LTJ di alam bersenyawa dengan unsur lain membentuk mineral bijih. Mineral utama umumnya bersenyawa sebagai mineral karbonat dan posfat, diantaranya:

- 1) Bastnaesite (Ln,Y)(CO₃)F mengandung 60-70% REO (oksida tanah jarang). Unsur paling dominan adalah serium (Ce) dan Lantanium (La), unsur lainnya yang umum adalah Nd, Sm, Eu serta Y, Gd, Lu dan Pr.
- 2) Monazite (Ce, La, Pr, Nd, Th, Y) (PO₄) menandung 50-78% REO. Ce sebanyak 45–48%; La (24%); Nd (17%); Pr (5%); Sm, Gd dan Y (0,05%); Th (6 % -12%)
- 3) Xenotime YPO₄ mengandung 54-65% logam tanah jarang
- 4) Apatite (Ca,La)₅(PO₄)₃(F,Cl,OH)

Tabel 4. 2 Mineral bijih yang mengandung Logam Tanah Jarang

Mineral	Formula*	REO wt.% ^{†‡}
Aeschnyrite	(Ln,Ca, Fe, Th)(Ti,Nb) ₂ (O,OH) ₆	36
Allanite (orthite)	(Ca,Ln) ₂ (Al,Fe) ₃ (SiO ₄) ₃ (oh)	30
Anatase	TiO ₂	3
Ancylite	SeLn(CO ₃) ₂ (OH).H ₂ O	46
Apatite	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	19
Bastnasite	LbCO ₃ F	76
Brannerite	(U,Ca,Ln)(Ti,Fe) ₂ O ₆	6
Britholite	(Ln,Ca) ₅ (SiO ₄ ,PO ₄) ₃ (OH,F)	62
Cerianit	(Ce,Th)O ₂	81 [§]
Cheralite	(Ln,Ca,Th)(P,Si)O ₄	5
Churchite	YPO ₄ .2H ₂ O	44
Eudialyte	Na ₁₅ Ca ₆ (Fe,Mn) ₃ Zr ₃ (Si,Nb)Si ₂₅ O ₇₃ (OH,Cl,H ₂ O) ₅	10
Euxenite	(Ln,Ca,U,Th)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆	<40 [†]
Fergusonite	Ln(Nb,Ti)O ₄	47
Florencite	LnAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₆	32 [§]
Gadolinite	LnFeBe ₂ Si ₂ O ₁₀	52
Huanghaite	BaLn(CO ₃) ₂ F	38
Hydroxylbasatnasite	LnCO ₃ (OH,F)	75
Kainosite	Ca ₂ (Y,Ln) ₂ Si ₄ O ₁₂ CO ₃ .H ₂ O	38
Laparite	(Ln,Na,Ca)(Ti,Nb)O ₃	36
Monazite	(Ln,Th)PO ₄	71
Mosandrite	(Ca,Na,Ln) ₁₂ (Ti,Zr) ₂ Si ₇ O ₃₁ H ₆ F ₄	<65 [§]
Parisite	CaLn ₂ (CO ₃) ₃ F ₂	64
Samarskite	(Ln,U,Fe) ₃ (Nb,Ta,To) ₅ O ₁₆	12
Synchisite	CaLn(CO ₃) ₂ F	51
Thalenite	Y ₃ Si ₃ O ₁₀ (OH)	63 [§]
Xenotime	YPO ₄	61 [§]
Yttrotantalite	(Y,U,Fe)(Ta,Nb)O ₄	<24 [§]

*Source for mineral formulas: Mandarino 1999, with Ln = Lanthanide elements

[†]Sources for REO content: Frandel 1958; Overstreet 1967; Anon. 1980; Kapustin 1980; Mazzi & Munno 1983; Mariano 1989a.

[‡]Where more than one analysis is available, the analysis with the highest REO content is reported (e.g., REO for monazite from the Mountain Pass Carbonatite is reported; monazite from pegmatites and metamorphic rocks generally has lower REO).

[§]Stoichiometric calculation of REO content.

Mineral bijih utama LTJ yang diproduksi di China dan Amerika Serikat, diambil dari mineral Bastnaesite yang utamanya berasal dari batuan beku alkali, sedangkan di negara lain terutama Australia, Brasil, India, Afrika Selatan, Thailand dan Malaysia ditemukan pada mineral Monasit yang utamanya ditemukan pada batuan granitik.

4.1.2 Batuan Pembawa Logam Tanah Jarang

Terdapat beberapa jenis batuan dan lingkungan geologi tertentu, dimana logam tanah jarang pada umumnya ditemukan. Batuan beku yang paling berpotensi adalah karbonatit dan batuan alkalin. Batuan beku alkalin dan karbonatit relatif jarang ditemukan (hanya sekitar 0.5% dari semua batuan beku di permukaan bumi). Batuan ini merupakan batuan yang sangat penting karena berasosiasi dengan sejumlah endapan *critical raw materials*, diantaranya LTJ, niobium, fluorspar, tantalum, scandium dan zirkonium. Dua per tiga proyek eksplorasi LTJ ada pada batuan beku alkalin dan karbonatite.

Tabel 4. 3 Rentang kandungan LTJ dalam batuan beku (Henderson, 1984)

Tipe Batuan	ΣUTJ (ppm)
Kimberlit	115-4613
Karbonatite	72-15515
Seri Ijolite (urtite-melteigite)	145-1334
Lamprophyre	261-1033
Komatiite	10.1-59.1
Peridotitic Komatiite	10.1-24.9
Basaltic Komatiite	16.7-59.1
Asosiasi tholeiite	21.6-146
Batuan Alkali	
Mafik	69-1453
Intermediete & felsic	92-1750
Kelompok Alkali Basalt	
Mafik	90-610
Transisional basalt	90-243
Alkali Basalt	130-250
Basanite, nepheline basalt, nephelinite	202-597
Intermediete (trachyte, phonolite, syenite)	154-1750
Asosiasi dengan transisional basalt	159-390
Asosiasi dengan alkali basalt	235-988
Asosiasi dengan basanite, dkk	380-1750
Felsik	
Asosiasi dengan alkali/transisional basalt	316-738
Kelompok Shoshonite	
Shoshonite	69-240
Batuan Intermediet & Felsik asosiasi dengan shoshonite	124-387
Kelompok K-rich basalt	
K-rich batuan mafik	255-1453

Batuan intermediate asosiasi dengan K-rich mafik	92-688
Kontinental tholeiite	15.2-322
<i>Island arc & back-arc</i> tholeiite	10-262
Kompleks intrusi tholeiite	2.7-547

4.1.2.1 Batuan Karbonatit

Batuan karbonatit merupakan batuan beku yang “*exotic*”, batuan beku yang mengandung mineral karbonat >50% (Streckeisen, 1978, 1979) dan secara kimiawi umumnya mengandung SiO₂ <20% (Woolley and Kempe, 1989);

Berdasarkan kandungan kimiawinya, karbonatit (Le Maitre, 2002) dapat dibagi menjadi:

- 1) Calcicarbonatite (CaO>80%)
- 2) Magnesiocarbonatite (CaO<80%, MgO>50%)
- 3) Ferrocronatite (CaO<80%, FeO+Fe₂O₃+MnO>50%)

Batuan karbonatit dapat hadir sebagai batuan plutonik maupun vulkanik.

4.1.2.2 Batuan Beku Alkalin

Batuan beku alkalin merupakan batuan beku yang mempunyai kandungan kimia alkali (Na₂O dan K₂O) tinggi yang tidak hanya untuk mengakomodir pembentukan mineral feldspar saja (plagioklas dan alkali-feldspar). Batuan beku alkalin yang rendah silika dimanifestasikan dengan kehadiran mineral-mineral feldspatoid (nefelin, leusit, sodali, kankrinit), Na-piroksen/amfibol (aegirine, riebeckite, arfvedsonite), dan fase kaya alkali lain yang tidak umum hadir pada batuan beku lain. Contoh batumannya adalah basanit, teprit, fonolit (syenit nefelin), nefelinit (ijolite). Bagian batuan alkalin yang potasik atau ultrapotasik diantaranya kimberlit, lamproit dan shonsonit. Terminologi batuan alkalin sedikit ambigu ketika digunakan untuk batuan felsik (granitoid). Beberapa petrologist menggunakan istilah peralkalin untuk batuan granitoid yang mempunyai kandungan alkali tinggi (Al₂O₂ < Na₂O + K₂O). Batuan granitoid peralkalin umumnya mempunyai kandungan tinggi LTJ, U, Th, dan *high-field strength elements* (HFSE) seperti zirkonium, niobium, tantalum dan kadang halogen (Cl, F).

4.1.2.3 Asosiasi Endapan Primer LTJ

Endapan primer LTJ sebagian besar terbentuk sebagai endapan magmatik yang berasosiasi dengan:

- 1) Pegmatit, umumnya sebagai intrusi dike felsik yang banyak mengandung *incompatible elements* termasuk LTJ.

- 2) Endapan LYJ primer lain berasosiasi dengan proses hidrotermal seperti pada endapan *Iron Oxide Copper Gold* (IOCG) juga proses hidrotermal yang terkait dengan pembentukan karbonatit, dan sebagian skarn. Endapan LTJ ringan pada IOCG umumnya berasosiasi dengan mineral Alanit-(Ce), juga berasosiasi dengan sedikit monasit-(Ce) dan chevkinite-(Ce).

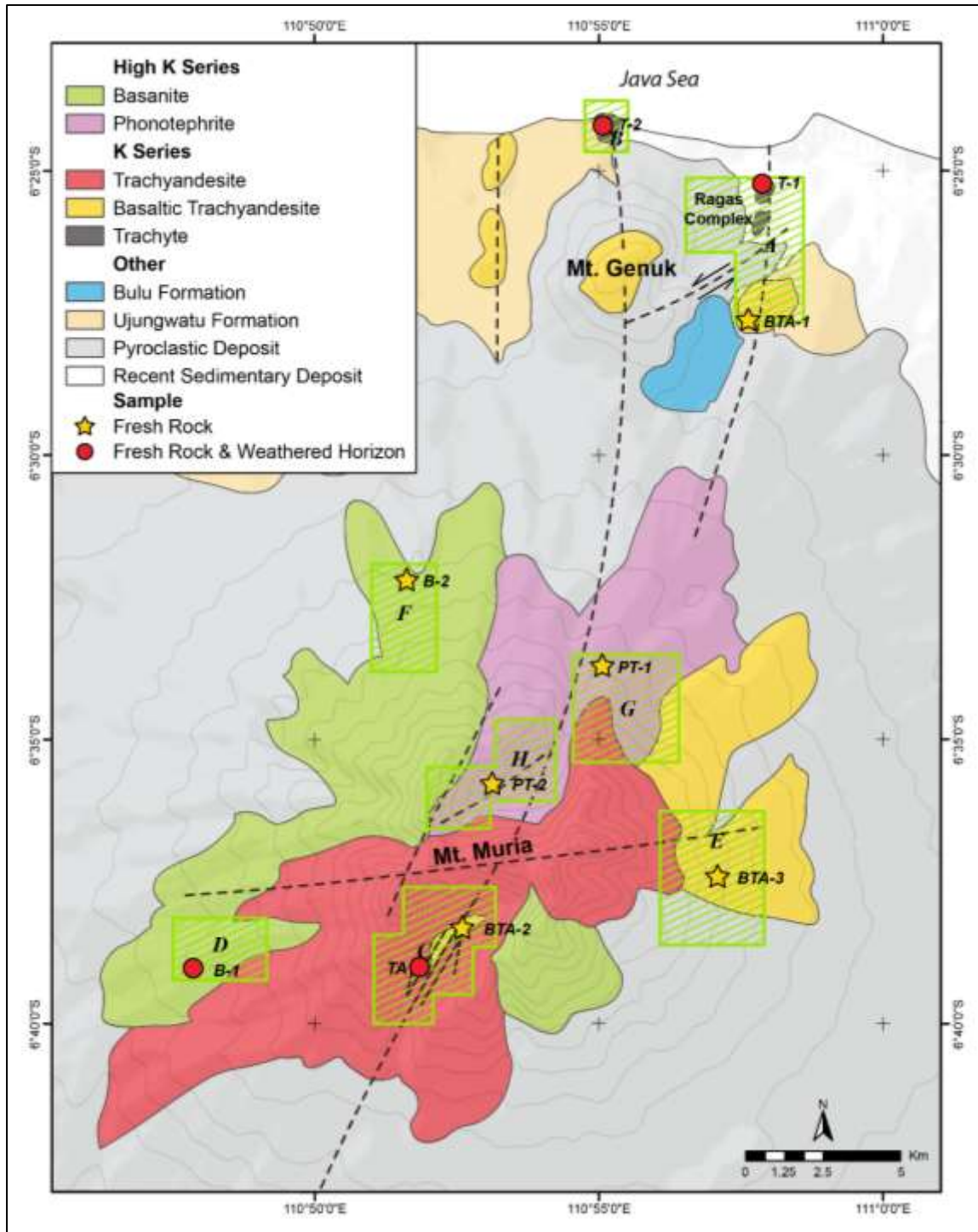
4.1.2.4 Logam Tanah Jarang pada Lingkungan lainnya

Sedangkan endapan LTJ yang ditemukan sebagai endapan sekunder diantaranya berupa:

1. Endapan placer. Endapan placer LTJ yang utama adalah monazite [(Ce,La,Nd,Th)PO₄] dan kadang xenotime (YPO₄). Umum terakumulasi bersama mineral berat lain seperti ilmenite, rutil, zircon. Monasit dan Xenotime banyak dijumpai pada tailing penambangan Sn (cassiterite). Monasit mempunyai kandungan thorium (Th) yang cukup besar.
2. Lateritik dan *Ion-adsorption*. Pada zona lateritik, LTJ umumnya membentuk fase (mineral) fosfat, oksida (Fe dan Mn) dan mineral lempung. Unsur yang dominan pada endapan laterit adalah Ytrium dan Lantanum serta Ce. *Ion-Adsorption Clays* terbentuk karena mineral LTJ yang mudah larut (ex. REE-fluorcarbonate) ditemukan pada *soil* hasil pelapukan batuan granitoid, dimana LTJ diabsorb pada mineral kaolinit, haloisit, dan illit (umum di zona supergen). Bijih umumnya *low grade*, mengandung sekitar 0.05-0.5% REO dan cenderung terkayakan *heavy* LTJ (Gd-Lu);
3. Endapan batubara mengandung LTJ, *coal fly ash* yang dianggap sebagai limbah memiliki konsentrasi unsur tanah jarang dapat setara bahkan melebihi yang dikandung oleh mineral bijih LTJ. Misalnya pada tambang batubara di Tabas Coalfield, Iran.

4.2 Distribusi Potensi Logam Tanah Jarang

Dari sebaran batuan beku di kompleks Gunung Muria, diperkirakan terdapat beberapa lokasi yang dianggap mempunyai potensi akan kandungan logam tanah jarang. Lokasi-lokasi tersebut diantaranya adalah: 1) Prospek Clering, 2) Prospek Ujung Watu, 3) Prospek Rahtawu, 4) Prospek Samosari, 5) Prospek Tanjungsari, 6) Prospek Sumanding, 7) Prospek Tempur, dan 8) Prospek Karangsari (Gambar 4.3).



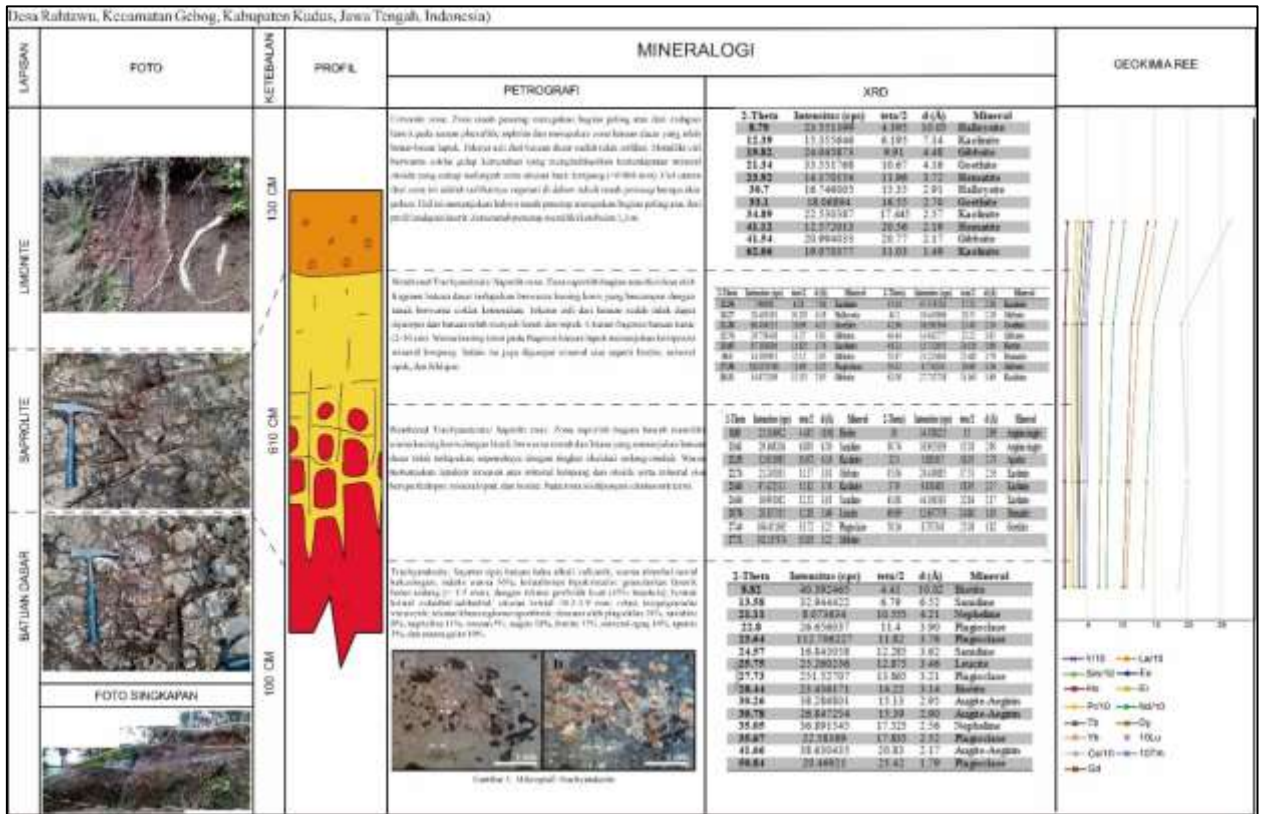
Gambar 4. 3 Peta sebaran potensi Logam Tanah Jarang di Kompleks Gunung Muria. A. Clering; B. Ujungwatu; C. Rahtawu; D. Samosari; E. Tanjungsari; F. Sumanding; G. Medani; H. Tempu

Tabel 4. 4 Data geokimia kadar unsur Logam Tanah Jarang pada batuan beku dan soil

SAMPLE		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	V	LOI
DESCRIPTION		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
BTA-1	Basaltik trakiandesit	106	184.5	20.5	75.9	13.1	3.52	9.64	1.23	6.18	1.13	2.94	0.44	2.51	0.4	29.5	216	2.56
T-1-Bed	Trakit	133.5	261	20.3	62.8	9.05	2.91	6.15	0.84	4.35	0.83	2.29	0.35	2.2	0.35	22.6	39	1.77
T-1-Wth-C	Horizon C Trakit	138	287	20.8	65.6	9.72	2.95	6.79	0.85	4.48	0.84	2.27	0.34	2.22	0.34	23.8	88	3.05
T-2-Bed	Trakit	90.2	159	14.85	43.3	6.36	1.58	4.94	0.74	4.42	0.98	3.07	0.54	3.86	0.64	29.8	20	1.07
T-2-Wth-A	Horizon A Trakit	134.5	273	20.7	65.7	9.51	2.1	7.25	1.02	5.8	1.24	4	0.67	4.75	0.81	39	68	9.17
TA-Bed	Trakiandesit	105.5	184.5	20.5	75.3	13	3.55	10.05	1.29	6.34	1.13	3.06	0.43	2.61	0.4	30.6	242	1.09
TA-Wth-C	Horizon C Trakiandesit	111	197.5	21.6	77.5	13.6	3.53	10.55	1.33	6.6	1.18	3.11	0.45	2.65	0.41	32.7	269	2.07
TA-Wth-B	Horizon B Trakiandesit	123.5	188	23.7	85.5	14.65	3.79	11.3	1.41	6.81	1.21	3.14	0.45	2.74	0.42	32.9	270	4.43
TA-Wth A	Horizon A Trakiandesit	150	262	28.7	103	18.1	4.74	13.75	1.66	8.31	1.51	3.96	0.54	3.39	0.51	41.1	352	7.96
BTA-2	Basaltik Trakiandesit	116.5	207	21.9	78.5	13.55	3.64	9.93	1.29	6.52	1.18	3.28	0.48	2.93	0.46	33.9	207	1.69
B-1-Bed	Leusitik Basanit	176	314	33.4	120.5	20.7	5.75	15.6	1.83	8.15	1.32	3.05	0.4	2.22	0.35	35.9	355	0.57
B-1-Wth-C	Horizon A LB	213	418	38.6	137.5	23.5	6.48	17.65	2.1	9.28	1.48	3.48	0.45	2.83	0.45	37.8	244	12.6
BTA-3	Basaltik Trakiandesit	171	294	31	108	18.3	4.81	13.5	1.62	7.78	1.32	3.19	0.44	2.78	0.43	36.9	248	1.61
B-2	Leusitite	159	288	32.2	118.5	21.2	5.89	16.85	1.98	9.02	1.45	3.49	0.45	2.58	0.39	40.3	371	1.48
PT-1	Phonotephrite	187.5	286	27.5	90.9	14.2	3.79	10.15	1.21	5.78	0.98	2.42	0.31	1.99	0.29	26.1	330	0.72
PT-2-Bed	Phonotephrite	166.5	289	30.3	109.5	18.35	5.17	13.75	1.66	7.82	1.34	3.36	0.46	2.76	0.42	36.3	226	1.22
PT-2-Wth-C	Horizon C Phonotephrite	147	254	26.3	89.8	14	3.79	9.85	1.2	6.02	1.07	2.81	0.42	2.62	0.39	28.8	154	5.47
JPUW 1-0	Pasir Besi	68.6	122.5	13	48.6	7.9	1.79	5.84	0.62	3.04	0.48	1.24	0.16	0.95	0.14	13	3160	
Kerak (Wedephol 1995)		30	60	6.7	27	5.3	1.3	4	0.65	3.8	0.8	2.1	0.3	2				
Kerak (Lide 1997)		39	66.5	9.2	41.5	7.05	2	6.2	1.2	5.2	1.3	3.5	0.52	3.2				

4.2.1 Prospek Rahtawu, Kecamatan Gebog, Kabupaten Kudus

Lokasi penelitian berada di koordinat 486848, 9267026 tepatnya di Desa Rahtawu, Kec. Gebog, Kab. Kudus, Jawa Tengah. Batuan yang dijumpai berupa Andesit, dengan deskripsi berwarna abu-abu gelas, abu-abu hijau, hipokristalin, fanerik sedang-afanitik, vitroverik, plagioklas, k-feldspar, amfibole, massa dasar gelas.

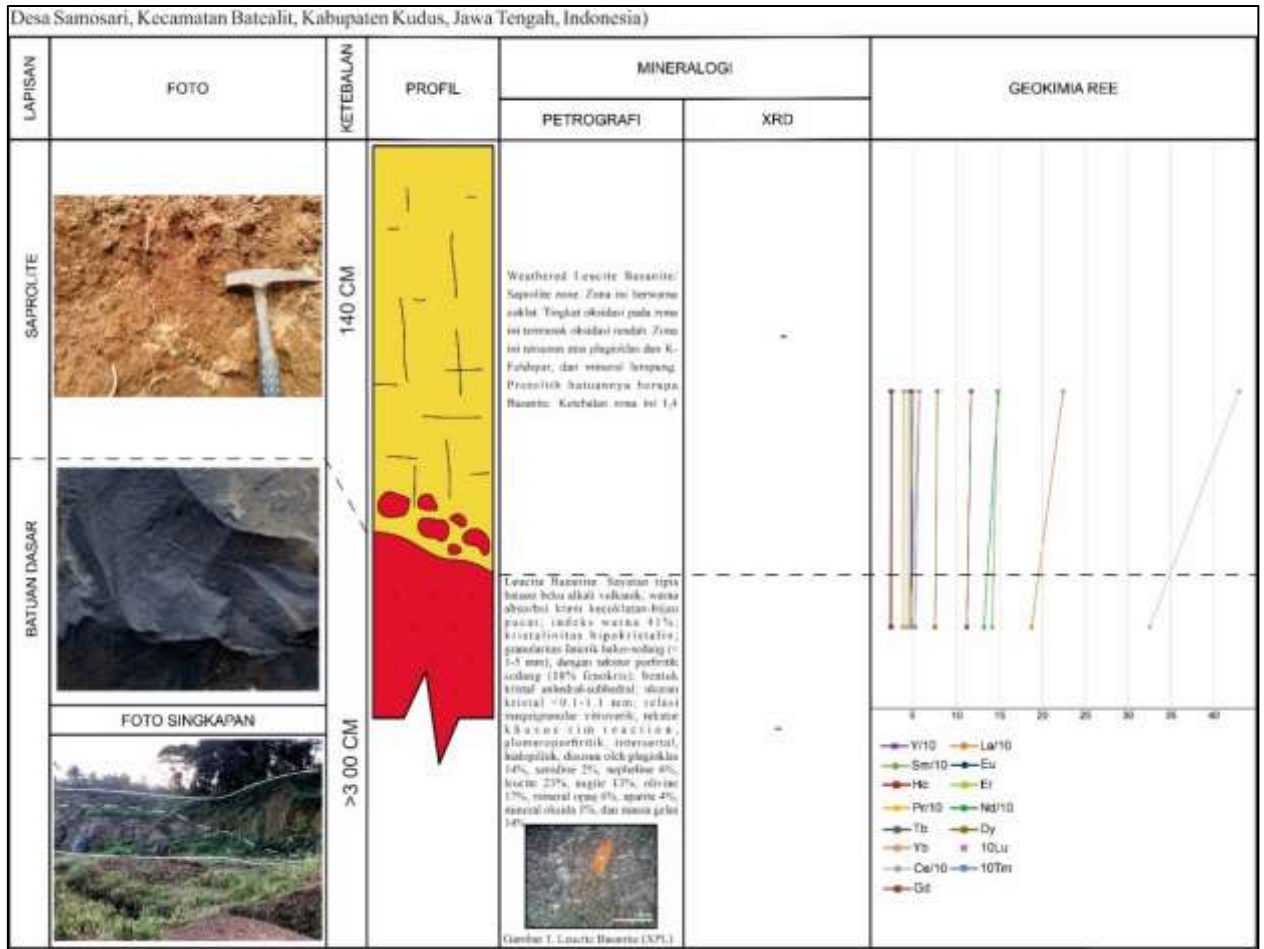


Gambar 4. 4 Data geokimia kadar unsur logam tanah jarang pada batuan beku dan soil Rahtawu

Selain itu, di lokasi yang tidak berada jauh dari lokasi pertama berada pada koordinat 486626, 9264455 di Desa Rahtawu, Kec. Gebog, Kab. Kudus, Jawa Tengah. Pada lokasi ini dijumpai batuan berupa Basanite, dengan berwarna Abu-abu gelap, coklat krem, hipokristalin, fanerik sangat kasar-afanitik, subhedral-anhedral, vitroverik, yang memiliki komposisi plagioklas, k-feldspar, feldspathoid, olivine, piroksen.

4.2.2 Prospek Samosari, Kecamatan Batealit, Kabupaten Jepara

Pada koordinat 477644, 9265004 dijumpai batuan Basanite di Desa Samosari, Kec. Batealit, Kab. Jepara, Jawa Tengah. Batuan Basanite ini memiliki warna Abu-abu gelap, coklat krem, hipokristalin, fanerik sangat kasar-afanitik, subhedral-anhedral, vitroverik, dengan komposisi berupa plagioklas, k-feldspar, feldspathoid, olivine, piroksen. Kemudian, 10 meter dari singkapan Basanite dijumpai Residual soil, berwarna coklat, oksidasi rendah, terdapat mineral sisa berupa plagioklas dan K-Feldspar, hadir mineral lempung, protolith batuanannya berupa trakit, ketebalan 1,4 meter



Gambar 4. 5 Data geokimia unsur Logam Tanah Jarang pada batuan beku dan soil Samosari

4.2.3 Prospek Gunungsari, Kecamatan Tlogowungu, Kabupaten Jepara

Daerah prospek berada di koordinat 494594, 9267778 tepat di Desa Gunungsari, Kecamatan Tlogowungu, Kabupaten Pati, Jawa Tengah. Batuan yang dijumpai berupa Trakitandesit/Phonolite, berwarna coklat kemerahan, holokristalin, fanerik halus-sedang, Euhedral-subhedral, inequigranular: porfiritik, dengan komposisi piroksen, plagioklas, feldspathoid, biotite, massa dasar kristal: plagioklas.

4.2.4 Prospek Medani, Kecamatan Cluwak, Kabupaten Pati

Lokasi penelitian berada di koordinat 490915, 9274673, tepatnya di Desa Medani, Kec. Cluwak, Kab. Pati, Jawa Tengah. Batuan yang dijumpai berupa Trakitandesit, abu-abu tua, hipokristalin, fanerik halus-sedang, Euhedral-subhedral, inequigranular, vitroferik, dengan komposisi berupa piroksen, plagioklas, feldspathoid, massa dasar gelas, plagioklas, amfibol. Di lokasi penelitian juga dijumpai Saphrolit yang berwarna putih-kuning, oksidasi sedang, terdapat mineral sisa berupa mineral mafic, hadir mineral lempung, protolith batuananya berupa trakiandesit, ketebalan >3 meter. Selain itu juga dijumpai Residual soil yang berwarna coklat tua kemerahan, oksidasi sedang, terdapat mineral sisa berupa mineral

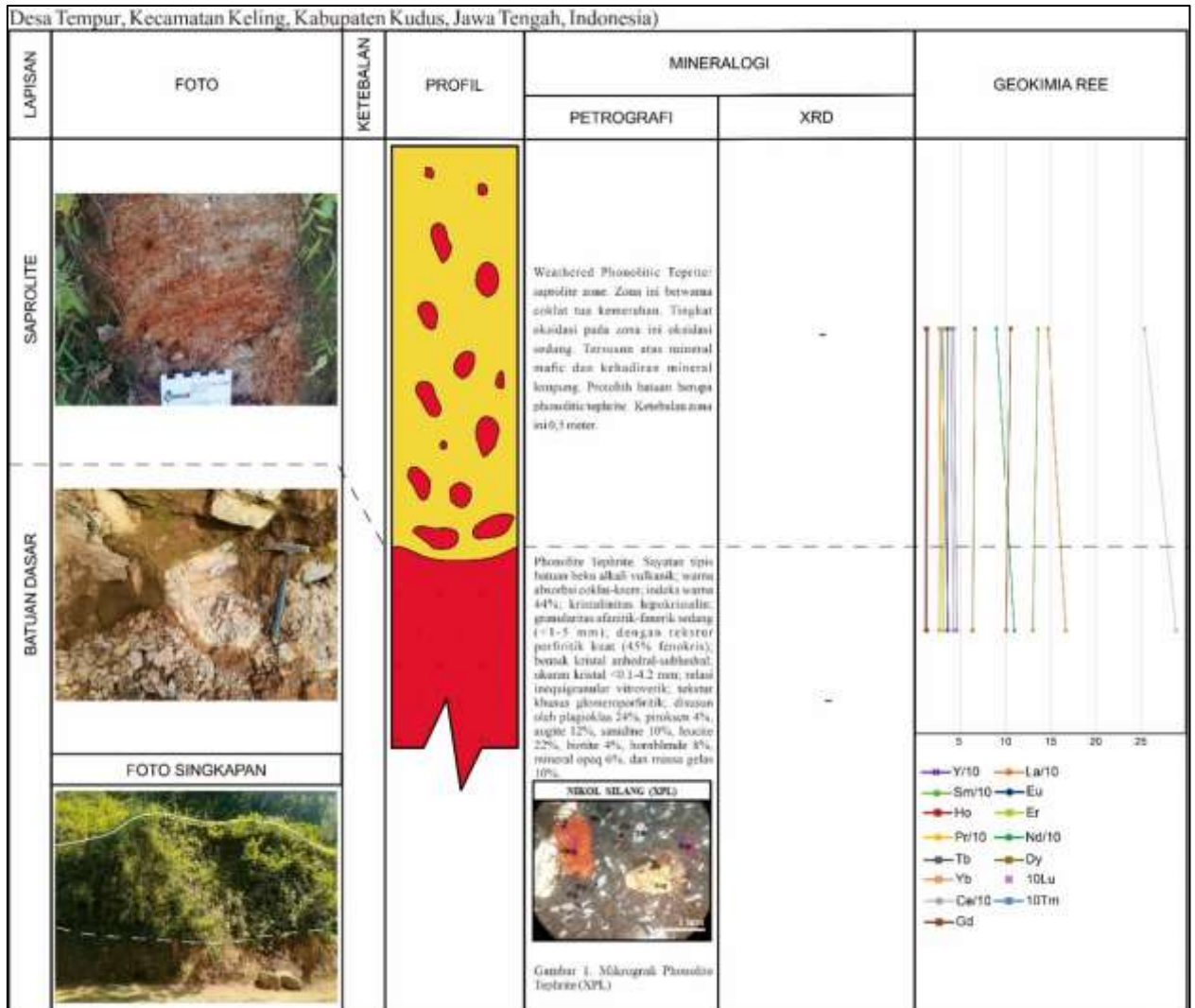
mafic, hadir mineral lempung, protolith batuannya berupa trakiandesit, ketebalan 0,5 meter.



Gambar 4. 6 Singkapan batuan beku dan soil di Desa Medani

4.2.5 Prospek Tempur, Kecamatan Keling, Kabupaten Jepara

Lokasi penelitian berada di koordinat 489813, 9272949 tepatnya di Desa Tempur, Kecamatan Keling, Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. Di lokasi ini dijumpai Tephrite dengan warna abu-abu gelap (f), masif, hipokristalin, afanitik-fanerik sedang, euhedral, inequigranular-vitroverik, yang memiliki komposisi berupa glass, amfibol, piroksen, Feldfatoid, K-Feldspar, plagioklas.



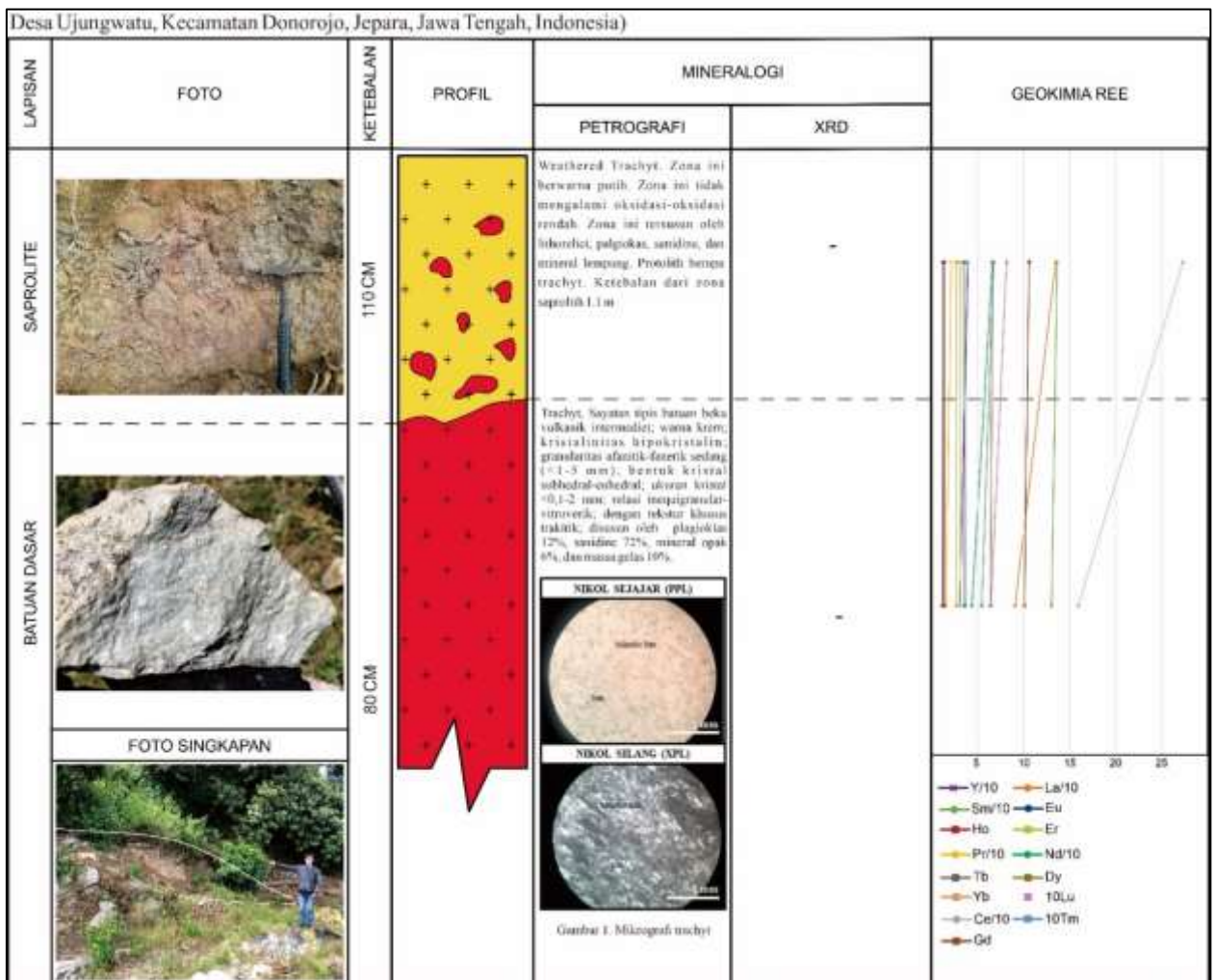
Gambar 4. 7 Data geokimia kadar unsur logam tanah jarang pada batuan beku dan soil di Desa Tempur

4.2.6 Prospek Clering, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Jepara

Lokasi berada di koordinat 496132, 9290247 tepatnya berada di Desa Clering, Kecamatan Donorojo, Jepara, Jawa Tengah. Batuan di daerah penelitian ini memiliki nama batuan Trachyt, berwarna abu-abu - putih (segar) dan berwarna coklat (lapuk), memiliki struktur sheeting joint, kristalinitas berupa hipokristalin, ukuran kristal afanitik-fanerik sedang (<math><1-5\text{ mm}</math>), bentuk kristal euhedral, kemas batuan berupa inequigranular-vitroverik, tersusun atas komposisi glass 25%, amfibol 10%, K-feldspar (sanidin) 35%, plagioklas 20%, feldspatoid 10%. Kemudian pada bagian bawah singkapan batuan terdapat Saphrolit yang berwarna putih, tidak mengalami oksidasi-oksidasi rendah, terdapat mineral sisa berupa plagioklas dan K-Feldspar, hadir mineral lempung, protolith batumannya berupa trakit, ketebalan 1,9 meter.

4.2.7 Prospek Ujungwatu, Kecamatan Donorejo, Kabupaten Jepara

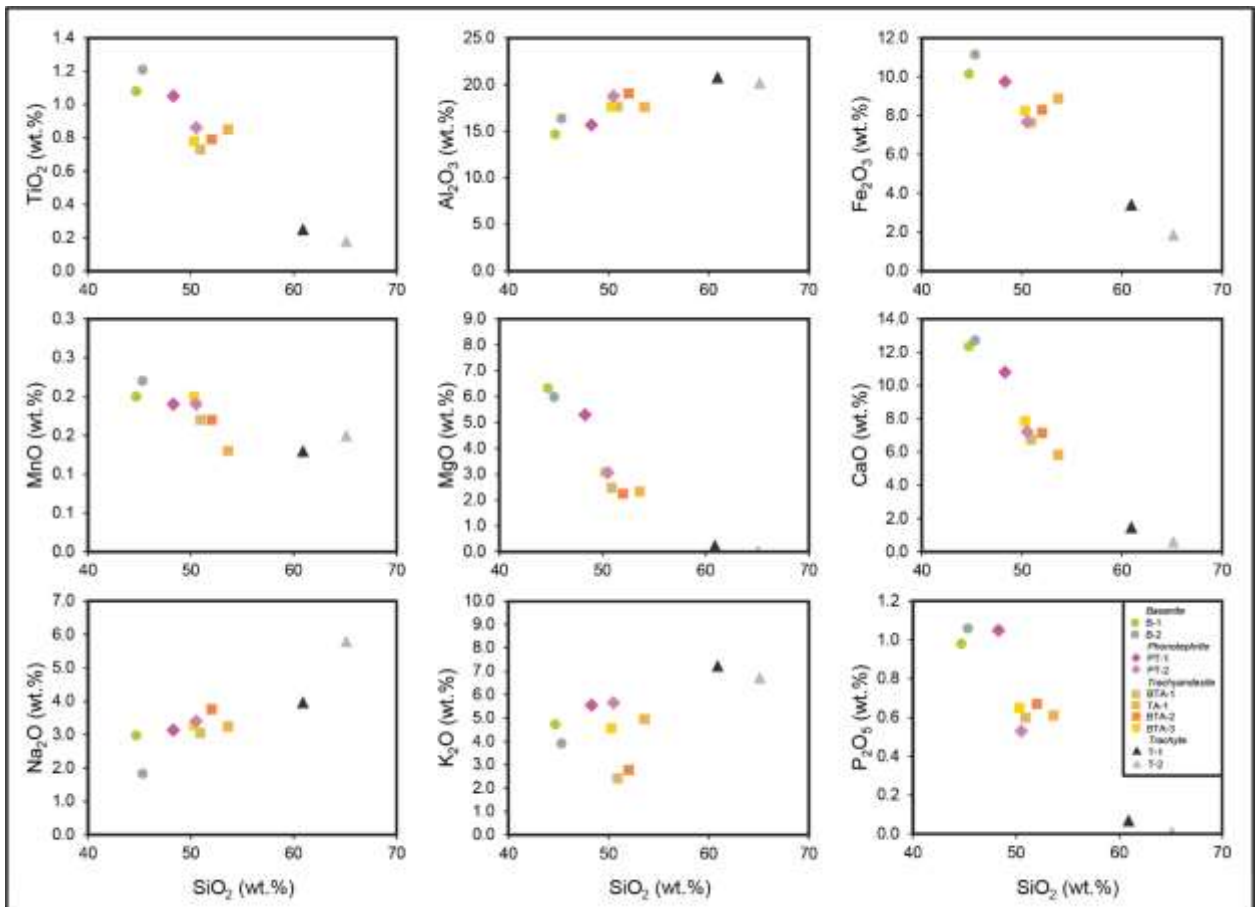
Lokasi penelitian ini berada pada koordinat 491031, 9292193 tepatnya di Benteng Portugis di desa Ujungwatu, Kecamatan Donorejo, Jepara, Jawa Tengah, Indonesia. Pada lokasi penelitian ini dijumpai batuan berupa Trachyte, dengan warna segar abu-abu muda dan warna lapuk coklat kukuningan, memiliki struktur sheeting joint, kristalinitas berupa hipokristalin, ukurna kristal afanitik-fanerik sedang (<1-5 mm), bentuk kristal euhedral, kemas berupa inequigranular-vitroverik, tersusun atas glass 35%, amfibol 10%, K-feldspar (sanidin) 35%, plagioklas 20%.



Gambar 4. 10 Data Geokimia kadar unsur Logam Tanah Jarang pada batuan beku dan soil di Ujungwatu

Selain itu dijumpai pula Residual soil, berwarna coklat, oksidasi rendah, terdapat mineral sisa berupa plagioklas dan K-Feldspar, hadir mineral lempung, protolith batuannya berupa trakit, ketebalan 1,4 meter.

4.3 Mineralisasi Logam Tanah Jarang di Kompleks Gunung Muria

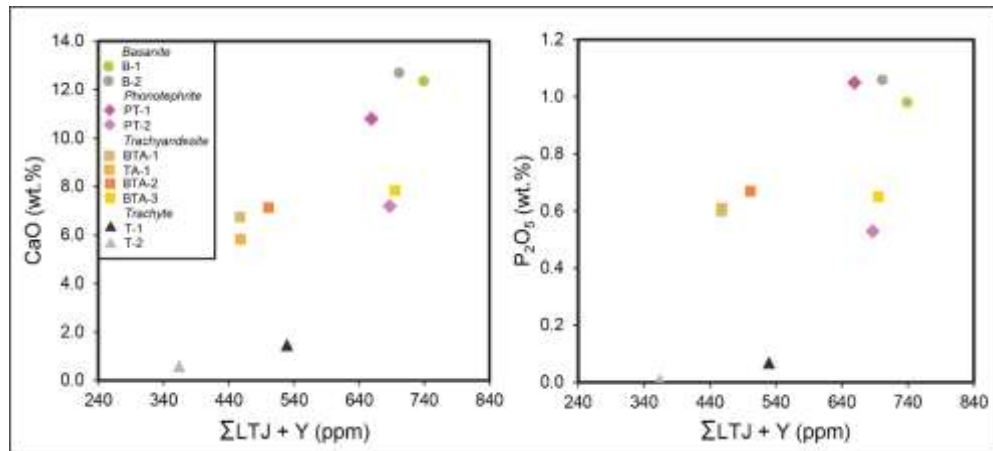


Gambar 4. 11 Diagram Harker batuan segar dari Kompleks Gunung Muria

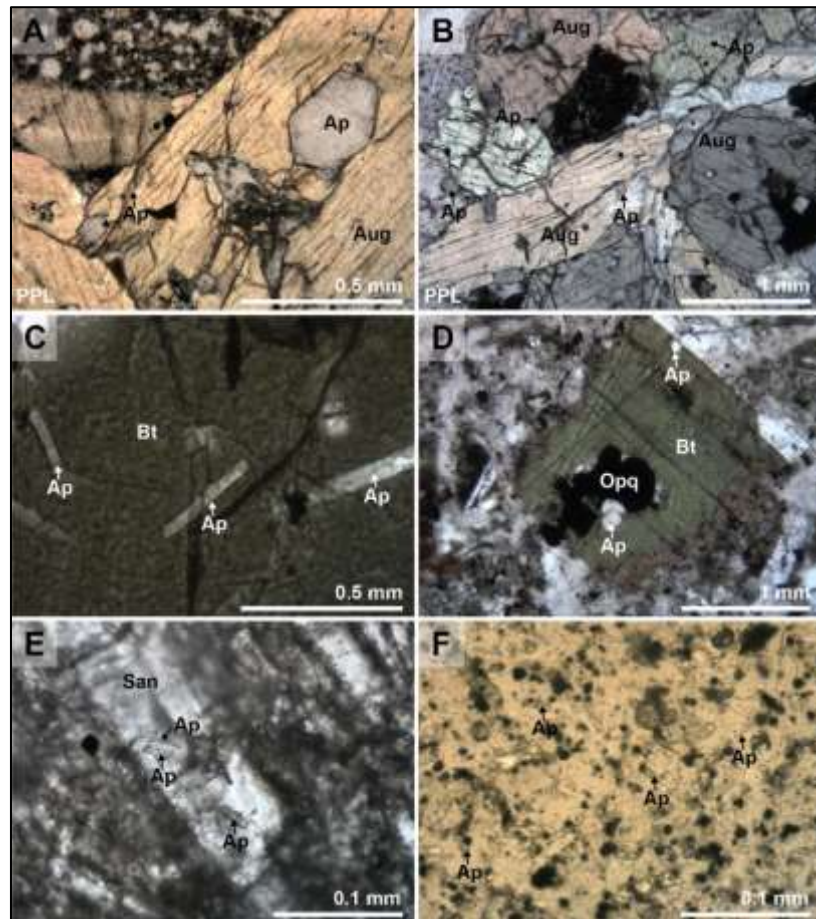
10 sampel batuan segar yang terdiri dari dua basanite (B-1 dan B-2), dua phonotephrite (PT-1 dan PT-2), satu trachyandesite (TA), tiga basaltic trachyandesite (BTA-1, BTA-2, dan BTA-3), dan dua trakit (T-1 dan T-2). Hasil analisa *whole-rock geochemistry* ditunjukkan pada tabel 4.4 Batuan segar dari Kompleks Gunung Muria memiliki kandungan SiO_2 berkisar 44.70-65.10 wt.%. Secara umum diagram harker (Gambar 4.11) menunjukkan TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , dan P_2O_5 memiliki korelasi negatif seiring dengan peningkatan SiO_2 , sedangkan K_2O , Na_2O , dan Al_2O_3 meningkat (korelasi positif) seiring dengan bertambahnya SiO_2 .

Korelasi negatif antara TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , P_2O_5 , dan SiO_2 menandakan bahwa magma mengalami *fractional crystallization* selama diferensiasi berlangsung. Penurunan Fe_2O_3 , MgO , CaO , dan P_2O_5 menandakan terpisahnya mineral mafik dan apatite dari magma. Diagram versus (Gambar 4.12) menunjukkan Logam Tanah Jarang memiliki korelasi positif dengan P_2O_5 dan CaO . Hal tersebut menandakan bahwa fraksinasi apatite menyerap LTH dari magma. Dapat disimpulkan bahwa mineralisasi LTH pada batuan segar di Kompleks Gunung Muria terjadi pada mineral apatite. Hal ini didukung dengan

melimpahnya apatite pada massa dasar dan juga ditemukannya inklusi apatite pada piroksen dan biotite.



Gambar 4. 12 Diagram versus total LTJ dengan CAO dan P₂O₅



Gambar 4. 13 Inklusi apatite pada A) augite di basanite (B-1); B) augite di trachyandesite (TA); C) biotite di phonotephrite (PT-2); D) biotite di basaltic trachyandesite (BTA-2); E) sanidine di trakit (T-1); dan apatite pada massa dasar di basaltic trachyandesite (BTA-3).

Tabel 4. 5 Perhitungan presentase apatite menggunakan norm CIPW dan kandungan total LTJ

		T-1	T-2	TA	BTA-1	BTA-2	BTA-3	PT-1	PT-2	B-1	B-2
Apatite	%	0.16	0.02	1.41	1.39	1.55	1,51	2.43	1.23	2.27	2.46
ΣLTJ + Y	ppm	529.52	364.28	458.26	457.49	501.06	695.07	659.12	686.69	739.17	701.30
LTJRingan	ppm	489.56	315.29	402.35	403.52	441.09	627.11	609.89	618.82	670.35	624.79
LTJ Berat	ppm	17.36	19.19	25.31	24.47	26.07	31.06	23.13	31.57	32.92	36.21

Diagram harker (Gambar 4.14) antara SiO₂ dengan LTJ ringan (La-Eu) memiliki dua tren yang berbeda. Sampel trakit dan trachyandesite menunjukkan semakin bertambahnya SiO₂ terjadi penurunan tren terhadap semua jenis LTJ ringan (La-Eu). Sampel basanite menunjukkan tren penurunan pada La, Ce, Pr, dan Nd sedangkan Sm dan Eu menunjukkan tren positif seiring dengan bertambahnya SiO₂. Sampel phonotephrite menunjukkan nilai SiO₂ naik bersamaan dengan peningkatan nilai LTJ ringan (Ce-Eu), kecuali La yang memiliki tren penurunan terhadap penambahan SiO₂.

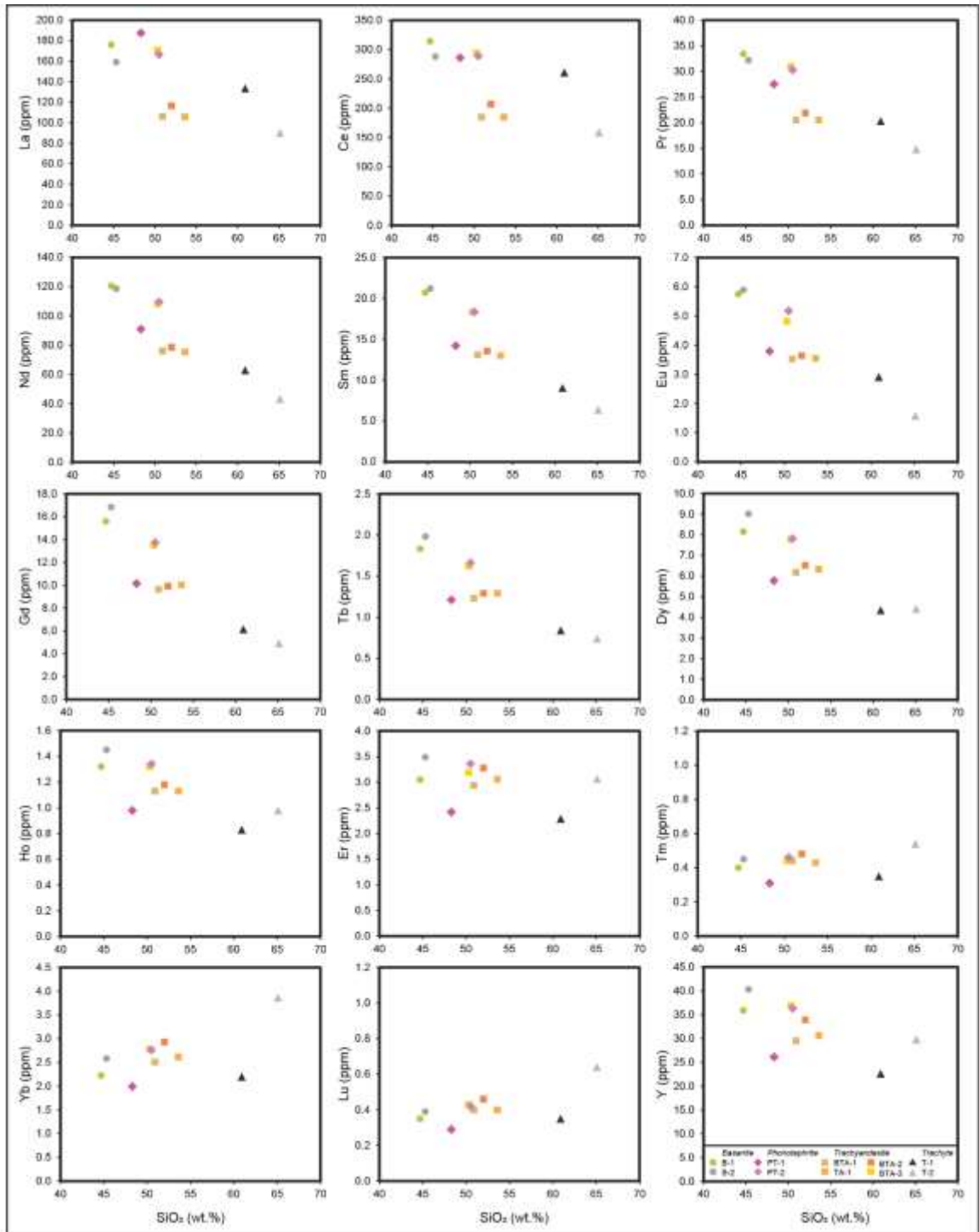
Kandungan rendah-tingginya LTJ ringan pada sampel di Kompleks Gunung Muria sebanding dengan besar presentase mineral apatite. Hal tersebut dapat diamati dari nilai LTJ ringan pada sampel basanite dan phonotephrite memiliki kandungan lebih tinggi dibandingkan dengan sampel trachyandesite dan trakit. Nilai La tertinggi dijumpai pada sampel phonotephrite (PT-1). Nilai Ce, Pr, dan Nd tertinggi dijumpai pada sampel basanite (B-1). Nilai Sm dan Eu tertinggi dijumpai pada sampel basanite (B-2). Kandungan LTJ ringan terendah dijumpai pada sampel trakit (T-2).

Diagram harker (Gambar 4.14) antara SiO₂ dengan LTJ berat (Gd-Lu) juga memiliki dua tren yang berbeda. Sampel basanite dan phonotephrite memiliki tren berbanding lurus karena nilai SiO₂ naik bersamaan dengan peningkatan LTJ berat. Sampel trakit menunjukkan dua tren yaitu peningkatan SiO₂ selaras dengan kenaikan Dy, Ho, Er, Tm, Yb, dan Lu, serta berbanding terbalik dengan Gd dan Tb. Pada sampel trachyandesite, LTJ berat seperti Gd, Tb, Dy, dan Ho menunjukkan penurunan seiring dengan kenaikan SiO₂, sedangkan Er, Tm, Yb, dan Lu tidak mengalami peningkatan maupun penurunan seiring dengan penambahan SiO₂.

Total LTJ berat tertinggi dijumpai pada sampel basanite. Satu sampel phonotephrite (PT-1) memiliki kandungan total LTJ berat lebih rendah dibandingkan sampel trachyandesite. Pada sampel trachyandesit (T-2) dijumpai kandungan Tm, Yb, dan Lu yang lebih tinggi daripada sampel lainnya. Sementara nilai tertinggi Gd, Tb, Dy, Ho, dan Er dijumpai pada sampel basanite (B-2).

Diagram harker (Gambar 4.14) antara SiO₂ dan Y pada sampel basanite, phonotephrite, dan trakit menunjukkan tren kenaikan seiring bertambahnya SiO₂, sedangkan

pada sampel trachyandesite menunjukkan penurunan Y seiring bertambahnya SiO₂. Nilai tertinggi Y terdapat pada sampel basanite (B-2), sedangkan nilai terendah dijumpai pada sampel trakit (T-1).

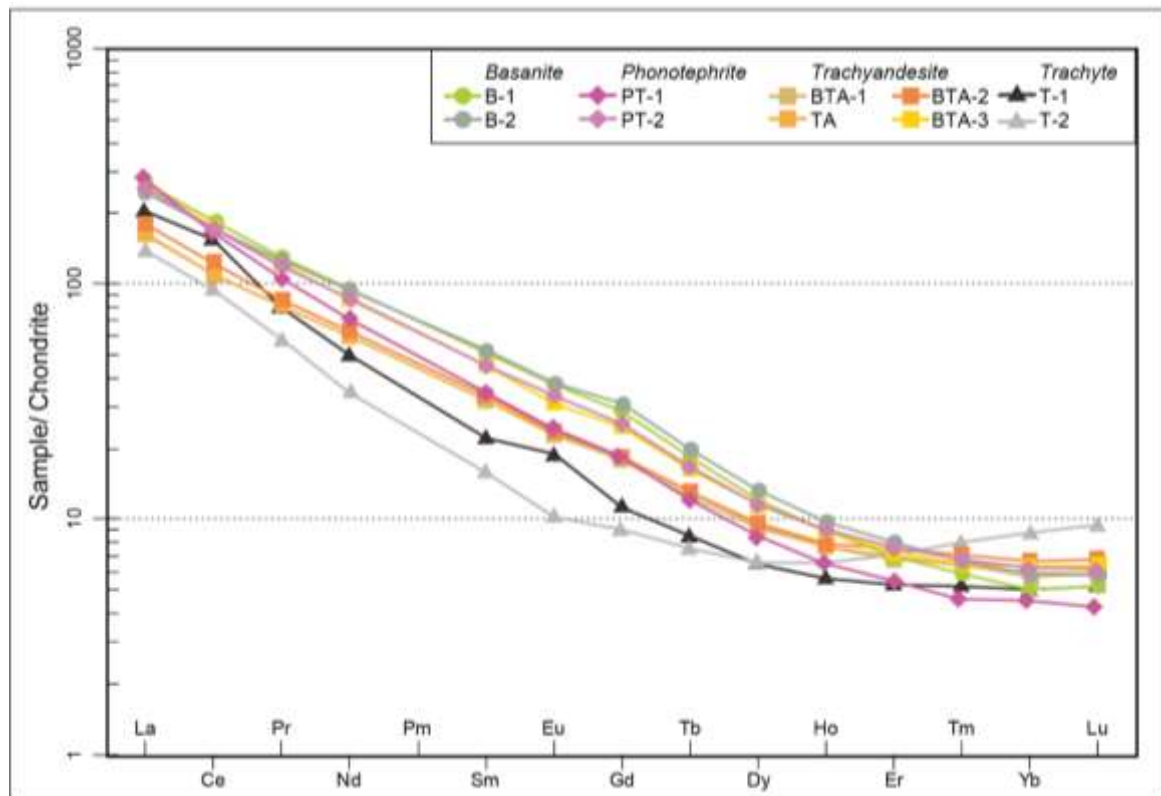


Gambar 4. 14 Diagram Harker Logam Tanah Jarang pada batuan Kompleks Gunung Muria

Kandungan LTJ dalam batuan dipengaruhi oleh dua faktor yaitu mobilitas dan fraksinasi LTJ selama proses diferensiasi magma. LTJ berat memiliki sifat relative lebih *mobile* dibandingkan dengan LTJ ringan. Untuk mengamati tingkat fraksinasi dan

pengayaan LTJ berat dan ringan, perlu dilakukan normalisasi chondrite. Normalisasi chondrite 4.15 memperlihatkan pola yang sama pada sampel basanite, phonotephrite, dan trachyandesite yaitu relatif curam pada LTJ ringan dan pola curam-datar pada HREE. Sampel trakit memperlihatkan tren yang sama dengan sampel lainnya, tetapi pada sampel T-2 menunjukkan adanya tren kenaikan pada LTJ berat. Selain itu pada sampel T-1 terlihat anomali Eu positif.

Pola LTJ ringan yang relatif curam, menandakan bahwa LTJ ringan mengalami tingkat fraksinasi yang lebih tinggi sehingga terjadi pengayaan LTJ ringan pada batuan di Kompleks Gunung Muria. Pola LTJ berat curam (Gd, Tb, dan Dy) memperlihatkan terjadinya fraksinasi, sedangkan pola LTJ berat (Ho, Er, Tm, Yb, dan Lu) yang relative datar menunjukkan fraksinasi yang lebih rendah. Sehingga dapat disimpulkan batuan di Kopleks Gunung Muria tidak terjadi pengayaan LTJ berat.



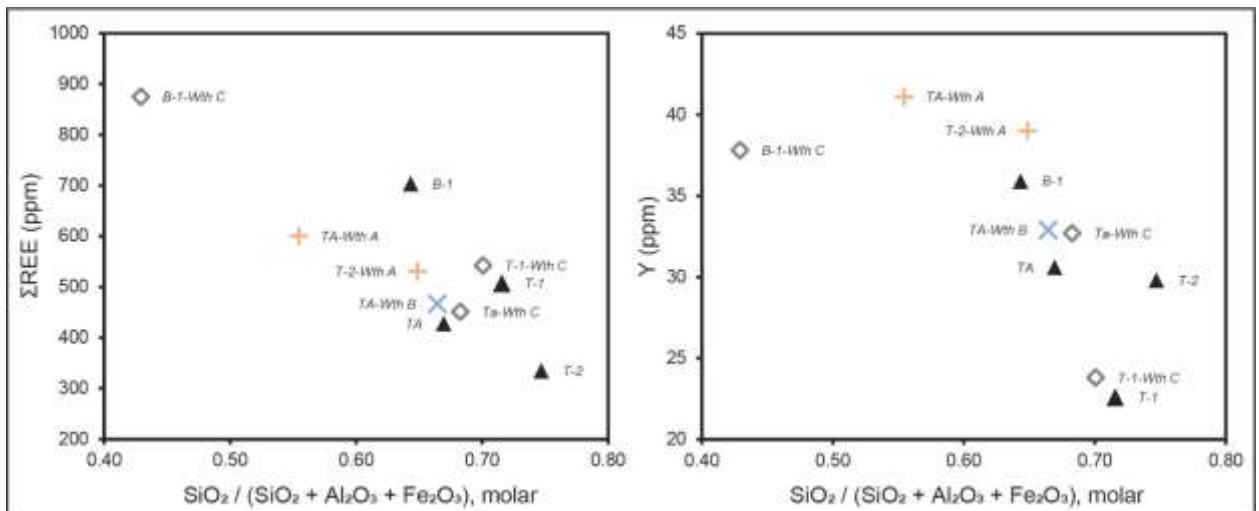
Gambar 4. 15 Diagram spider batuan segar di Kompleks Gunung Muria berdasarkan normalisasi chondrite (Sun & McDonough, 1995)

4.4 Pengayaan Logam Tanah Jarang pada Tipe Endapan Laterit

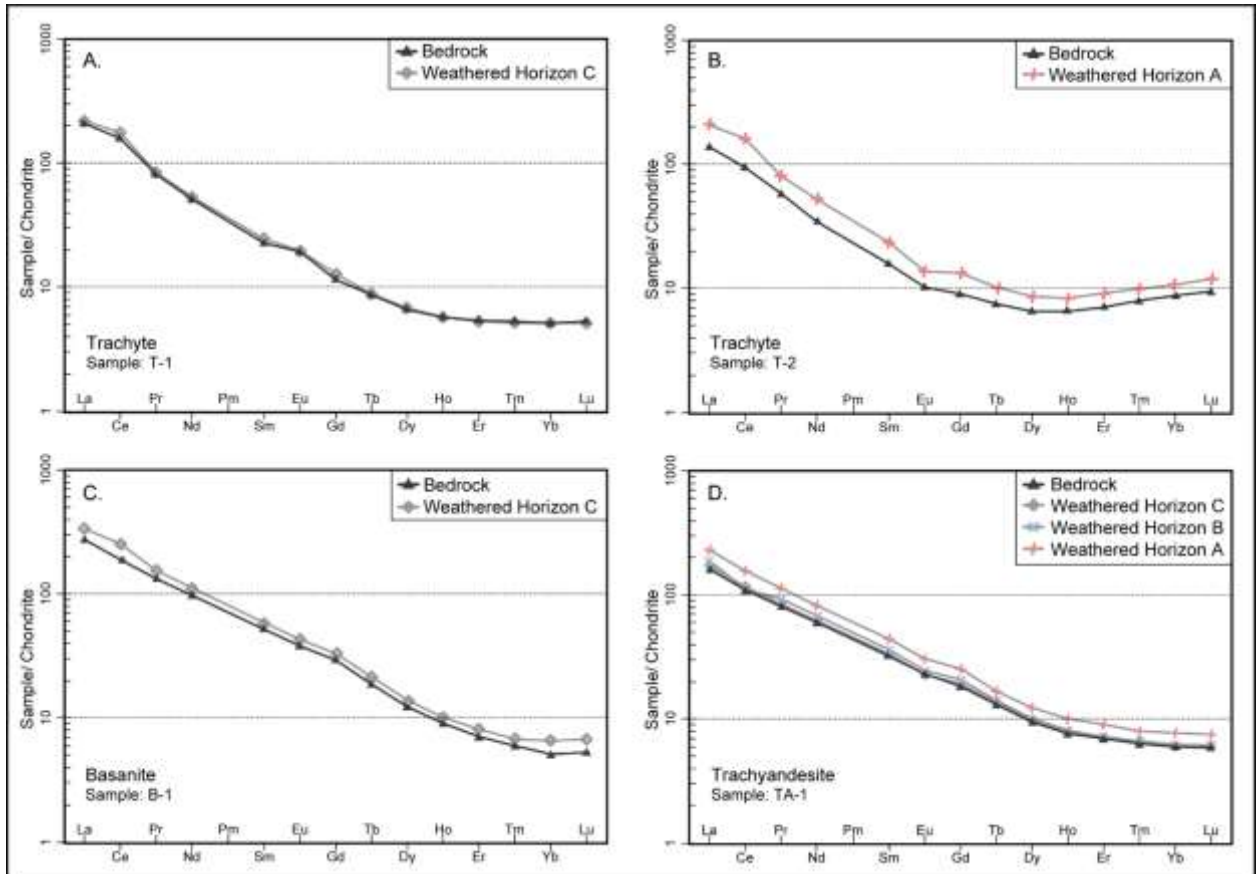
Enam sampel lapukan yang terdiri dari dua horizon A (TA-Wth-A & T-2-Wth-A), satu horizon B (TA-Wth-B), dan tiga horizon C (T-1-Wth-C, TA-Wth-C, B-1-Wth-C) diteliti guna mencari tahu potensi terjadinya pengayaan LTJ pada lapukan batuan yang ada di kawasan Kompleks Gunung Muria. Ketebalan horizon A bervariasi dari 15 cm sampai

1.2 m. Ketebalan horizon B mencapai 6 m, sedangkan horizon C berkisar 1-8 m.

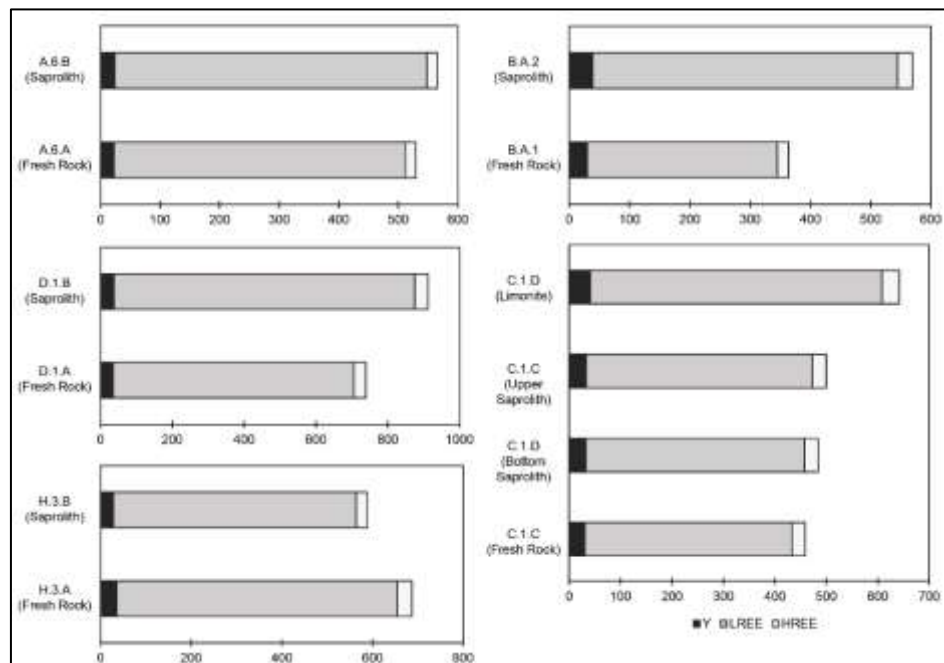
Berdasarkan data XRD dan petrografi, LTJ pada tipe endapan laterit di Kompleks Gunung Muria terdistribusi pada mineral hasil pelapukan berupa mineral lempung dibandingkan mineral resisten seperti zircon dan monasit. Hal tersebut dikarenakan ketidakhadiran mineral zircon dan monasit pada sampel batuan segar yang dianalisa juga pada horizon lapukan batuan. Kaolinite dan halloysite mendominasi lapukan batuan dikarenakan batuan pada Kompleks Gunung Muria terutama tersusun oleh plagioklas dan k-feldspar. Hasil analisa XRD pada lapukan batuan menunjukkan kaolinite lebih banyak ditemukan dibandingkan mineral lempung lainnya. Illite dijumpai pada lapukan trakit ($K_2O > 6.5$ wt.%) dan pada trakiandesit absent ($K_2O < 5.0$ wt.%) hal ini menandakan bahwa diperlukan sejumlah K untuk membentuk illite. Namun, tidak ada korelasi antara kelimpahan illite dengan pengayaan LTJ. Meskipun kemampuan absorpsi LTJ oleh halloysite tidak terlalu berbeda dari kaolinite (Mukai, dkk., 2020), hanya mineral kaolinite yang dijumpai pada semua lapisan horizon pelapukan. Jadi dapat disimpulkan kaolinite berperan penting dalam pengayaan LTJ pada tipe endapan laterite.



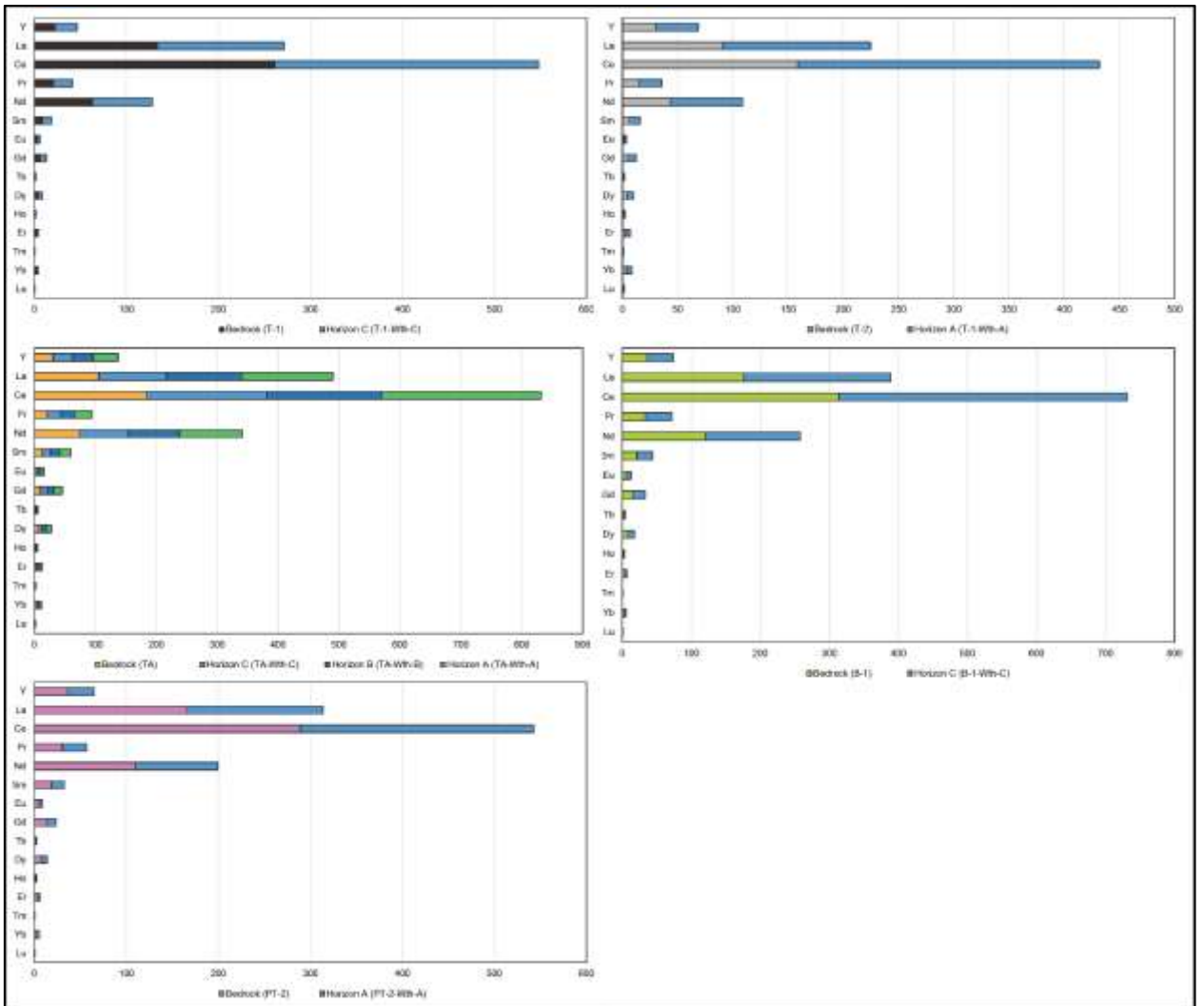
Gambar 4.16 Diagram versus laterisasi ($SiO_2 / (SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3)$) terhadap REE dan Y, nilai laterisasi semakin kecil menunjukkan tingkat pelapukan semakin tinggi



Gambar 4. 17 Normalisasi chondrite (Sun & McDonough, 1995) pada lapukan batuan di Kompleks Gunung Muria



Gambar 4. 18 Diagram total LTJ + Y pada batuan di Kompleks Gunung Muria



Gambar 4. 19 Diagram LTJ pada batuan di Kompleks Gunung Muria

BAB 5

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan data mineralogi dan geokimia, batuan vulkanik di kompleks Gunungapi Muria dapat dibagi menjadi dua kelompok, yaitu Kompleks Muria dengan seri HK (*High Potassic*) dan Kompleks Genuk dengan seri K (*Potassic*). Batuan beku di Kompleks Gunungapi Muria dapat dibedakan menjadi beberapa nama batuan, diantaranya leucite-olivine basalt, leucitite, phonotephrite, trachyandesite, trachyandesite basaltic, dan trachyte, yang kemudian disatukan menjadi beberapa satuan batuan. Berdasarkan diskriminasi geotektonik, magmatisme dan vulkanisme Kompleks Gunungapi Muria disebabkan oleh pencampuran *overriding* mantle wedge dan peleburan sebagian slab *breakoff*.

Kompleks Gunungapi Muria mempunyai potensi terjadinya mineralisasi unsur Logam Tanah Jarang, baik pada batuan beku yang masih segar maupun yang telah mengalami pelapukan. Mineralisasi Logam Tanah Jarang pada batuan segar di Kompleks Gunung Muria berasosiasi dengan kehadiran mineral apatite. Adanya pelapukan juga menambah terjadinya unsur-unsur tersebut pada bagian soil atau laterit di atas batuan yang mengalami pelapukan. Tipe endapan laterit di Kompleks Gunung Muria terdistribusi pada mineral hasil pelapukan berupa mineral lempung dibandingkan mineral resisten seperti zircon dan monasit.

5.2 Rekomendasi

Perlunya dilakukan eksplorasi pada lokasi-lokasi yang mengandung unsur Logam Tanah Jarang dan unsur lainnya seperti K, dan V yang memperlihatkan anomali lebih tinggi, seperti dilakukan pemboran dan analisa geokimia yang lebih banyak agar menghasilkan data batuan alkalin yang komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Astjario P, D. Kusnida. 2007. Penafsiran Struktur Geologi Semenanjung Muria Dari Data Citra Satelit. *Jurnal Geologi Kelautan* Volume 5, No. 2, Agustus 2007
- Balaram, V. 2018. Rare Earth Elements: A Review of Applications, Occurrence, Exploration, Analysis, Recycling, and Environmental Impact. *GeoscienceFrontiers*, vol 10., p 12-85-1303
- Bemmelen Van, R. W., 1949. *The Geology of Indonesia*. Martinus Nyhof, The Haque.p. 29, 593
- Best, Myrion G. 2003. *Igneous and Metamorphic Petrology*. Malden: Blackwell Science Ltd, p. 35
- Bronto, Sutikno, et al. 2007. Gunung Api Maar di Semenanjung Muria. *Jurnal Geologi Indonesia*, Vol. 2 No. 1 Maret 2007, p. 43-54
- Castor, S.B., Hendrik, J.B., 2006. Rare earth elements. dalam: Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M., Krukowski, S.T. (Eds.), *Industrial Minerals and Rocks: Commodities, Markets, and Uses*, vol. 7. Society for Mining Mineralogy, UnitedStates, p 769-792.
- Cocker, Mark D. 2012. Lateritic, Supergene Rare Earth Element (REE) Deposits. *Proceeding of the 48th Annual Forum on the Geology of Industrial Minerals*. Arizona: 30 April- 4 Mei, p. 5
- Dostal, Jaroslav. 2016. Rare Metal Deposits Associated with Alkaline/Peralkaline Igneous Rocks. *Economic Geology*, vol. 18, p. 33-54
- Dostal, Jaroslav. 2017. Rare Earth Element Deposits of Alkaline Igneous Rocks. *Resources*, MDPI, p 3-4
- Edwards, Caroline, Martin Menzies, Matthew Thirlwall. 1999. Evidence from Muriah, Indonesia, for the Interplay of Supra-Subduction Zone and Intraplate Processes in the Genesis of Potassic Alkaline Magmas. *Journal of Petrology*. Vol 32, p 556-557
- Fitton, J.G., B.G.J. Upton. 1987. *Alkaline Igneous Rock*. London: Blackwell Scientific Publication. P. ix-xiii
- Frost, B. Ronald, Carol D. Frost. 2014. *Essentials of Igneous and Metamorphic Petrology*. New York. Cambridge University Press. P. 56
- Henderson, Paul. 1984. *Rare Earth Element Geochemistry*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, p. 1-2
- Hoshino, M., K. Sanematsu, Y. Watanabe. 2016. UTJ Mineralogy and Resources.

- Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earth*, Vol. 49, p.
- Kanazawa, Yasuo, Masaharu Kamitani. 2006. Rare Earth Minerals and Resources in The World. *Journal of Alloys and Compounds*, p. 1340
- Kundu Bhaskar, Gahalus, V.K., 2011. Slab detachment of subducted Indo-Australian plate beneath Sunda arc, Indonesia. *Journal of Earth System Science volume 120*, pp 193–204
- Le Maitre, R.W. (editor) (2002). *Igneous Rocks — A Classification and Glossary of Terms (2nd edition)*. Cambridge: Cambridge University Press
- Montana, Annibale, Rodolf Crespi, Giuseppe Liborio. 1978. *Simon & Schuster's Guide to Rocks and Minerals*. New York: Simon & Schuster Inc
- Nicholls I. A And D.J. Whitford. 1983. "Potassium-Rich Volcanic Rocks Of The Muriah Complex, Java, Indonesia: Products Of Multiple Magma Sources?" *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 18 (1983) pp 337-359.
- NTT. (2000). *Geological Maps of Mt. Muria Complex, Central Java*. Batan.
- Prasetya Febriyan Kusuma. 2010. *Chemical and Petrography Analysis in Petrogenesis Study of Muria Volcano, Central Java*. Publication Draft Diponegoro University, Semarang, Indonesia
- Peccerillo Angelo, S. R. Taylor. 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology volume 58*. pp 63–81
- Price, Jason B., et al. 2014. Wall-Rock Alteration, Structural Control, and Stable Isotope Systematics of the High-Grade Copper Orebodies of the Kennecott District, Alaska. *Economic Geology* 109.3 pp : 581-620.
- Read, S.A.L, P.J. Millar, N.S. Luxford, A.J. Olsen. 2005. *Field Description of Soil and Rock*. New Zealand: NZGSI
- Skinner, Brian J.. "Mineral deposit". *Encyclopedia Britannica*, 13 Aug. 2015, <https://www.britannica.com/science/mineral-deposit>. Diakses 19 Februari 2021.
- Setijadji Lucas Donny, Et Al., 2006. Cenozoic Island Arc Magmatism In Java Island (Sunda Arc, Indonesia): Clues On Relationships Between Geodynamics Of Volcanic Centers And Ore Mineralization. *Resource Geology, Vol. 56, No. 3*, 267–292, 2006
- Soeria atmadja, R., Maury, R.C., Bellon, H., Pringgoprawiro, H., Polve, M., Priadi, B., 1994. Tertiary magmatic belt in Java. *Journal of Southeast Asian earth science*, vol 9. Great Britain. Pergamon press.
- Sukhyar, Mamay, S., Agus, B., dan Hirabayashi, J. 1998. New chemical data of gas and rocks from Muria volcanic complex Central Java, Indonesia. *Symposium on Japan – Indonesia*

IDNDR Project.

- Suwarti, T., Wikarno, R. 1992. *Peta Geologi Lembar Kudus Skala 1: 100.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1992
- Team, I. R. 2021. *IUPAC*. Retrieved from Periodic Table of Elements: <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>. Diakses pada 28 Januari 2020
- Umam, Zaenuri. 2018. Inventarisasi, Identifikasi, dan Penilaian Warisan Geologi Semenanjung Muria Bagian Utara, Kabupaten Pati dan Kabupaten Jepara, Jawa Tengah. *Laporan Tugas Akhir*. Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Whitford, D. J., Nicholls, I. A., & Taylor, S. R. 1979. Spatial variations in the geochemistry of Quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 70(3), 341-356.
- Wibowo Basuki. 2011. Kajian Evolusi Geokimia Dan Kaitannya Dengan Tingkat Bahaya Vulkanik Gunung Muria Terhadap Tapak PLTN Muria. *Prosiding Seminar Keselamatan Nuklir 2011*.
- Yuwono, Yustinus Suyatno. 1987. Contribution à l'étude du volcanisme potassique de l'Indonésie: Exemples du sud-ouest de Sulawesi et du volcan Muria (Java). *Diss. Brest*.
- Zakiya Aska, dkk. 2018. Reaktivasi Sesar Muria: Analisis Potensi Vulkanisme Maar Sebagai Implikasi Tektonik Muria Berdasarkan Citra Satelit Dan Kegempaan Di Semenanjung Muria, Jawa Tengah. *Proceeding Seminar Nasional Kebumihan Ke-11*. Yogyakarta
- Zuidam, Van. 1985. *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. ITC, Smits Publ., Enschede, The Netherlands.