

**ANALISIS KOMPOSISI UNSUR MATERIAL VULKANIK
LAMPUNG TUFF MENGGUNAKAN *PORTABLE* XRF
SEBAGAI PENDUKUNG METODE KEMAGNETAN
BATUAN DALAM MENENTUKAN SIFAT
MAGNETIKNYA**



**NOVIA DESWIRA
NIM. 22034025/2022**

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

**ANALISIS KOMPOSISI UNSUR MATERIAL VULKANIK
LAMPUNG TUFF MENGGUNAKAN *PORTABLE* XRF
SEBAGAI PENDUKUNG METODE KEMAGNETAN
BATUAN DALAM MENENTUKAN SIFAT
MAGNETIKNYA**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh:
NOVIA DESWIRA
NIM. 22034025/2022**

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

PERSETUJUAN SKRIPSI

**ANALISIS KOMPOSISI UNSUR MATERIAL VULKANIK *LAMPUNG TUFF*
MENGUNAKAN *PORTABLE* XRF SEBAGAI PENDUKUNG METODE
KEMAGNETAN BATUAN DALAM MENENTUKAN
SIFAT MAGNETIKNYA**

Nama : Novia Deswira
NIM : 22034025
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

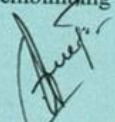
Padang, 11 Mei 2026

Mengetahui:
Ketua Departemen Fisika



Prof. Dr. Azrizal, M. Si.
NIP.196606031992031001

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Dr. Hamdi, M. Si.
NIP.196512171992031003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Novia Deswira
NIM : 22034025
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ANALISIS KOMPOSISI UNSUR MATERIAL VULKANIK *LAMPUNG TUFF* MENGGUNAKAN *PORTABLE XRF* SEBAGAI PENDUKUNG METODE KEMAGNETAN BATUAN DALAM MENENTUKAN SIFAT MAGNETIKNYA

Dinyatakan Lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi

Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

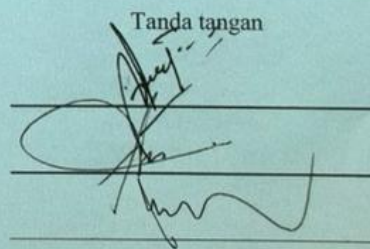
Universitas Negeri Padang

Padang, 11 Mei 2026

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Dr. Hamdi, M. Si.
Anggota	: Dr. Ahmad Fauzi, M. Si.
Anggota	: Dr. Harman Amir, M. Si.

Tanda tangan



SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

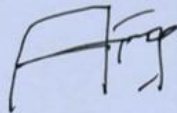
Nama : Novia Deswira
NIM : 22034025/2022
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa, skripsi saya dengan judul “Analisis Komposisi Unsur Material Vulkanik Lampung *Tuff* Menggunakan *Portable XRF* Sebagai Pendukung Metode Kemagnetan Batuan Dalam Menentukan Sifat Magnetiknya” adalah benar merupakan karya sendiri, bukan hasil plagiat dari karya orang lain. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis dan diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang lazim.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Padang, 11 Mei 2026

Diketahui oleh,
Kepala Departemen Fisika



Prof. Dr. Asrizal, M.Si.
NIP. 196606031992031001

Saya yang menyatakan,



Novia Deswira
NIM. 22034025

Analisis Komposisi Unsur Material Vulkanik *Lampung Tuff* Menggunakan *Portable XRF* Sebagai Pendukung Metode Kemagnetan Batuan Dalam Menentukan Sifat Magnetiknya

Novia Deswira

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara dengan aktivitas vulkanik tinggi karena pada jalur Cincin Api Pasifik yang menghasilkan berbagai material piroklastik dengan karakteristik fisik dan kimia yang beragam, termasuk di Provinsi Lampung. Namun, kajian mengenai hubungan antara komposisi unsur dan sifat kemagnetan batuan vulkanik masih terbatas, khususnya dengan metode yang efisien kompleks tanpa preparasi yang memerlukan waktu yang lama dan perlakuan khusus. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang mampu mengkaji karakteristik batuan secara cepat dan efisien melalui kombinasi analisis sifat magnetik dan komposisi unsur.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi nilai suseptibilitas magnetik, menganalisis komposisi unsur kimia, serta mengkaji hubungan antara suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur pada material vulkanik *Lampung Tuff* di Provinsi Lampung. Metode yang digunakan meliputi pengukuran suseptibilitas magnetik frekuensi rendah (χ_{lf}) dan frekuensi tinggi (χ_{hf}) menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter Type B (MS2B)*, serta analisis komposisi unsur menggunakan *X-Ray Fluorescence Portable (Portable XRF)*.

Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi nilai suseptibilitas magnetik yang mencerminkan perbedaan konsentrasi dan jenis mineral magnetik pada setiap lokasi. Nilai suseptibilitas magnetik mengindikasikan klasifikasi mineral ke dalam kelompok antiferromagnetik dan ferrimagnetik, dengan nilai χ_{fd} (%) yang rendah yang menunjukkan dominasi ukuran butir sedang hingga kasar (PSD–MD). Analisis *Portable XRF* menunjukkan bahwa komposisi unsur didominasi oleh unsur ringan (LE), SiO_2 , dan Al_2O_3 , serta unsur lain seperti K, CaO, Fe_2O_3 , Rb, Sr, Zr, Ba, dan Nb. Hubungan antara suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur menunjukkan bahwa karakteristik kemagnetan batuan vulkanik tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan unsur kimia, tetapi juga oleh jenis mineral magnetik, ukuran butir, serta proses geologi vulkanik. Oleh karena itu, kombinasi metode suseptibilitas magnetik dan *Portable XRF* mampu memberikan informasi yang saling melengkapi dalam mengkaji unsur penyusun batuan vulkanik *Lampung Tuff*.

Kata kunci: *Lampung Tuff*, suseptibilitas magnetik, *Portable XRF*, komposisi unsur, mineral magnetik, material vulkanik.

Analysis of Elemental Composition of Lampung Tuff Volcanic Material Using Portable XRF As A Supporting Method For Rock Magnetism Determining It's Magnetic Properties

Novia Deswira

1ABSTRACT

Indonesia is a country with high volcanic activity due to its location along the Pacific Ring of Fire, which produces various pyroclastic materials with diverse physical and chemical characteristics, including those found in Lampung Province. However, studies on the relationship between elemental composition and the magnetic properties of volcanic rocks remain limited, particularly using efficient methods that do not require complex and time-consuming sample preparation. Therefore, an approach is needed to analyze rock characteristics quickly and efficiently through a combination of magnetic property analysis and elemental composition.

This study aims to identify magnetic susceptibility values, analyze the chemical elemental composition, and examine the relationship between magnetic susceptibility and elemental composition in Lampung Tuff volcanic material in Lampung Province. The methods used include low-frequency (χ_{lf}) and high-frequency (χ_{hf}) magnetic susceptibility measurements using a Bartington Magnetic Susceptibility Meter type B (MS2B), as well as elemental composition analysis using Portable X-Ray Fluorescence (Portable XRF).

The results show variations in magnetic susceptibility values, reflecting differences in the concentration and types of magnetic minerals at each location. The magnetic susceptibility values indicate mineral classification into antiferromagnetic and ferrimagnetic groups, with low χ_{fd} (%) values suggesting the dominance of medium to coarse grain sizes (PSD–MD). Portable XRF analysis shows that the elemental composition is dominated by light elements (LE), SiO_2 , and Al_2O_3 , along with other elements such as K, CaO, Fe_2O_3 , Rb, Sr, Zr, Ba, and Nb. The relationship between magnetic susceptibility and elemental composition indicates that the magnetic characteristics of volcanic rocks are influenced not only by their chemical element content, but also by the type of magnetic minerals, grain size, and volcanic geological processes. Therefore, the combination of magnetic susceptibility and Portable XRF methods is able to provide complementary information in studying the elemental composition of Lampung Tuff volcanic rocks.

Keywords: Lampung Tuff, magnetic susceptibility, Portable XRF, elemental composition, magnetic minerals, volcanic materials.

KATA PENGANTAR



Puji Syukur kepada Alloh SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-nya sehingga dapat dilaksanakan penelitian dan diselesaikannya skripsi yang berjudul “**Analisis komposisi Unsur Material Vulkanik *Lampung Tuff* Menggunakan *Portable* XRF Sebagai Pendukung Metode Kemagnetan Batuan Dalam Menentukan Sifat Magnetiknya**”. Skripsi ini merupakan bagian dari Penelitian Kerjasama Perguruan Tinggi Luar Negeri (No. 2899/UN35.15/LT/2025) antara Bapak Dr. Hamdi, M.Si. dosen Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang dengan Prof. Weiran Li dari The University of Hong Kong. Pengambilan sampel *Lampung Tuff* dilakukan oleh Bapak Dr. Hamdi, M.Si. Rizaldi Putra, M. Sc., dan pihak luar negeri yang diwakili oleh Dr. Marcus Phua, Ph. D., Mike Ausejo, M. Sc dan Terence Leung B. Sc. dari The University of Hong Kong. Sholawat berserta salam dikirimkan untuk Nabi Muhammad SAW sebagai junjungan umat islam.

Penulisan Skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Sarjana Sains Departemen Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Padang. Ucapan terima kasih sebesar-besarnya disampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Hamdi, M. Si. sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu, semangat, motivasi, dukungan, dorongan, waktu dan tenaga untuk membimbing penulis dalam menyelesaikan skripsi.

2. Bapak Dr. Ahmad Fauzi, M. Si. sebagai dosen penguji 1 yang telah memberikan ilmu, masukan, kritikan, saran, arahan dalam penulisan skripsi ini.
3. Bapak Dr. Harman Amir, M. Si. sebagai Kepala Program Studi Departemen Fisika, dosen Penasehat Akademik (PA), Serta berperan juga sebagai dosen penguji 2 yang telah memberikan ilmu, masukan, kritikan, dan saran selama menempuh perkuliahan dan penulisan skripsi ini.
4. Bapak Prof. Dr. Azrizal, M. Si. sebagai Ketua Departemen Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri .
5. Bapak/Ibu Dosen staf Departemen Fisika yang telah membantu untuk kelancaran penulisan skripsi ini.
6. Ibu Arnelis yang selalu memberikan semangat dan motivasi tanpa henti dalam penulisan skripsi ini dari awal hingga selesai.
7. Abang Saprianto, abang Wandra, abang Nanda dan Abang Robby, uni Yulia dan uni Roza yang selalu memberikan dukungan berupa materi dan motivasi selama menjalani proses skripsi ini.
8. Kakak Etri Alga Vrimesty, S. Pd. dan Kakak Tasya Sri Rahmadani, S.Si. yang telah menjadi kakak angkat yang selalu memberikan semangat, motivasi dan dorongan, serta selalu menjadi pengingat untuk selalu membuat skripsi ini hingga selesai.
9. Adikku Putri Lestari yang menjadi teman berproses dan tempat mengeluh selama skripsi, terimakasih telah hadir mendengarkan semua keluh kesah dan menemani dalam diam dan menguatkan tanpa banyak kata.

10. Tim *Magnedupark* 2025 Atilla Farah Diva, Nahdatul Zakiyah, Azila Wardani dan Dya Fathima Nazira yang sudah ikut membantu dalam penelitian sehingga penelitian ini bisa diselesaikan.
11. Teman dan semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, baik secara langsung maupun tidak langsung yang telah membantu dalam penelitian dan penyusunan skripsi ini.

Semoga bantuan yang Bapak/Ibu serta rekan-rekan berikan, bernilai ibadah, dan mendapatkan pahala dari Alloh SWT. Harapannya dengan adanya skripsi ini bisa memberikan manfaat bagi semua orang yang membacanya.

Padang, ... Mei 2026

Novia Deswira

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	7
C. Batasan Masalah.....	9
D. Rumusan Masalah	10
E. Tujuan Penelitian	11
F. Manfaat Penelitian	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
A. Geologi Regional Provinsi Lampung.....	13
B. Gunung Api	18
C. Material Vulkanik	27
D. Kaldera.....	38
E. Batuan.....	48
F. Batuan Beku.....	50
G. Metode Kemagnetan Batuan (<i>Rock Magnetic Method</i>).....	53
H. Mineral Magnetik.....	61
I. Suseptibilitas Magnetik.....	66
J. <i>X-Ray Fluorescence Portable</i>	70
K. Penelitian Relevan.....	75
L. Kerangka Berfikir Penelitian	77
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	79
A. Jenis Penelitian	79

B. Waktu dan Tempat Penelitian	79
C. Rancangan Penelitian	82
D. Variabel Penelitian	84
E. Instrumen Penelitian.....	85
F. Prosedur Penelitian	91
G. Teknik Pengolahan Data dan Interpretasi Data	109
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	118
A. Hasil.....	118
B. Pembahasan.....	145
BAB V PENUTUP.....	210
A. Kesimpulan.....	210
B. Saran.....	212
DAFTAR PUSTAKA	213
LAMPIRAN	223

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Peta Geologi Provinsi Lampung	17
Gambar 2. Struktur Gunung Api (Badan Geologi)	20
Gambar 3. Peta Sebaran Gunung Api di Indonesia (Zonautara.com).....	22
Gambar 4. Aktivitas Gunung Api (a). Inflasi dan (b) Deflasi (Abidin, 2001).....	24
Gambar 5. <i>Bread Crust Bomb</i> (Subakti et al., (2021)).....	30
Gambar 6. Batu Apung (Subakti et al., (2021)).....	30
Gambar 7. <i>Scoria</i>	31
Gambar 8. (a). Tahap Sebelum Erupsi dan (b). Tahap setelah Erupsi (Self et al., 1984).	39
Gambar 9. Proses terbentuknya kaldera non eksplosif akibat letusan gunung api (a). Erupsi Abu dan <i>Pumice</i> . (b). Keruntuhan Kaldera. (c). Letusan Uap. (d). Kondisi Saat Ini	40
Gambar 10. Sketsa proses pembentukan Kaldera Resurgen (a). Tahap Pra-erupsi. (b). Erupsi Besar. (c). Keruntuhan Kaldera. (d). Pengendapan dan Pendinginan. (e). Pengisian oleh Air. (f). Doming (resurgensi). (g). Kaldera Resurgen	42
Gambar 11. Daur Batuan/Siklus Batuan (Noor, 2012)	48
Gambar 12. (a). Erupsi Gunung Api vulkanik eksplosif. (b). Struktur dari Gunung Api.....	52
Gambar 13. Spin Magnetik Bahan Diamagnetik (a). Setelah di magnetisasi ($H \neq 0$). dan (b). sebelum di magnetisasi ($H = 0$).....	55
Gambar 14. (a). Hubungan Linier antara Magnetisasi (M) dan Medan Magnet Luar (H). (b). (b) menunjukkan Kondisi ketika Suseptibilitas Magnetik (χ) bernilai Konstan terhadap Perubahan Medan Magnet (H) (Jiles, 1996).....	55
Gambar 15. Spin Magnetik Bahan Paramagnetik (a). Setelah di magnetisasi ($H \neq 0$). dan (b). sebelum di magnetisasi ($H = 0$) (Jiles, 1996).....	57

Gambar 16. (a). Hubungan Linier antara Magnetisasi (M) dan Medan Magnet Luar (H). (b). kondisi ketika Suseptibilitas Magnetik (χ) dengan Temperature (H) (Jiles, 1996).....	58
Gambar 17. Spin Magnetik Bahan ferromagnetik (a). Setelah di magnetisasi ($H \neq 0$). dan (b). sebelum di magnetisasi ($H = 0$) (Jiles, 1996).....	59
Gambar 18. Kurva Histerisis untuk Bahan Ferromagnetik.....	60
Gambar 19. Grafik Hubungan χ_{lf} - χ_{fd} (Dearing 1999).....	70
Gambar 20. Proses Hamburan Sinar-X Pada Permukaan Kristal	71
Gambar 21. Pelepasan Elektron (Brouwer, 2006)	72
Gambar 22. Transisi Elektron pada Kulit K dan pada Kulit L pada Atom (Brouwer, 2006)	73
Gambar 23. <i>X-Ray Fluorescence Portable</i> dengan tipe SciAs X 550	74
Gambar 24. Kerangka Berfikir Penelitian.....	77
Gambar 25. Peta Lokasi Penelitian	80
Gambar 26. <i>Fishbone</i> Diagram Penelitian	82
Gambar 27. Neraca Digital (Neraca <i>Ohaus</i> SN EO271119030112).....	86
Gambar 28. <i>Bartington Magnetic Susceptibility Meter Sensor Type B</i>	87
Gambar 29. <i>X-Ray Fluorescence Portable</i>	88
Gambar 30. Diagram Alir Prosedur Penelitian	91
Gambar 31. Menghubungkan Sensor MS2B ke unit MS2 dengan kabel koaksial TNC	100
Gambar 32. Menyalakan MS2 Meter dan memilih $\times 1.0$	100
Gambar 33. Menempatkan Sensor di Tempat yang Stabil.....	100
Gambar 34. Menekan Nol (<i>Zero</i>).....	101
Gambar 35. Memasukkan <i>calibration check sample</i>	102
Gambar 36. Mengambil pembacaan hasil.....	102
Gambar 37. Menghidupkan <i>Portable XRF</i>	103
Gambar 38. Memasukkan kode 1,2,3,4,5	103
Gambar 39. Menekan oke setelah <i>X-Ray</i> berwarna merah	104
Gambar 40. Mengkalibrasi Alat.....	104
Gambar 41. Menunggu selama 15 detik	105

Gambar 42. (a). Kembali kemenu awal dengan memilih <i>analys</i> (b). memilih <i>mining</i>	106
Gambar 43. Mengangkat alat dan menembakkan langsung ke batuan	106
Gambar 44. Menekan tombol di bawah gagang sampai muncul pada layar.....	107
Gambar 45. Foto layar hasil pengukuran untuk dicatat	107
Gambar 46. Menekan <i>mining</i> untuk pengukuran sampel selanjutnya	108
Gambar 47. Mematikan alat dan kembali ke menu awal	108
Gambar 48. Analisis Keakuratan Data Hasil Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik.....	112
Gambar 49. Analisis kelimpahan mineral magnetik sampel <i>Lampung Tuff</i>	113
Gambar 50. Hubungan antara nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}\%$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i>	114
Gambar 51. Hasil Pengukuran Komposisi Unsur Sampel dengan menggunakan <i>Portable XRF</i>	115
Gambar 52. Keterkaitan Komposisi Unsur <i>Lampung Tuff</i> dengan χ_{lf}	116
Gambar 53. Keterkaitan Komposisi Unsur <i>Lampung Tuff</i> dengan χ_{fd}	116
Gambar 54. Analisis Keakuratan Hasil Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik <i>Lampung Tuff</i>	146
Gambar 55. Kelimpahan Mineral Magnetik Sampel <i>Lampung Tuff</i>	149
Gambar 56. Hubungan antara Nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}\%$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i> di Gunung Kunyit.....	161
Gambar 57. Hubungan antara Nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}\%$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i> di Tanjung Gading.....	163
Gambar 58. Hubungan antara Nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}\%$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i> di Suka Bumi.....	165
Gambar 59. Hubungan antara Nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}\%$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i> di Lematang.....	166
Gambar 60. Hubungan antara Nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}\%$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i> di Embung E ITERA	168
Gambar 61. Hubungan antara Nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}\%$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i> di Suka Raja	170

Gambar 62. Hubungan antara Nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}(\%)$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i> di Hatta Bekauheni.....	172
Gambar 63 Hubungan antara Nilai χ_{lf} dan $\chi_{fd}\%$ pada sampel <i>Lampung Tuff</i> di Ruguk	174
Gambar 64. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel <i>Lampung Tuff</i> LPT25-01 dari Gunung Kunyit Menggunakan <i>Portable XRF</i> a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 99.917%. b). Komposisi Unsur Al_2O_3 , K, CaO, Fe_2O_3 dengan rentang 0.033% sampai 0.0079%. c). Komposisi unsur MnO, Rb, dan Zr dengan rentang 0.00044% sampai 0.00010%.	175
Gambar 65. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel <i>Lampung Tuff</i> LPT25-02 dari Tanjung Gading Menggunakan <i>Portable XRF</i> a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 91.48%, Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 dengan rentang 5.99%. sampai 0.231%. b). Komposisi Unsur Ba, K, CaO, TiO_2 , MnO dengan rentang 0.26% sampai 0.010%. c). Komposisi unsur Zn, Rb, Sr, Y, Zr,Pb dengan rentang 0.0015% sampai 0.00018%.	177
Gambar 66. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel <i>Lampung Tuff</i> LPT25-03 dari Suka Bumi Menggunakan <i>Portable XRF</i> a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 68.70%, Al_2O_3 , SiO_2 dengan rentang 10.29%. sampai 19.72% b). Komposisi Unsur Fe_2O_3 Ba, K, CaO, TiO_2 , dengan rentang 0.129% sampai 0.0020%. c). Komposisi unsur MnO, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Pb dan Th dengan rentang 0.0042% sampai 0.00041%.	179
Gambar 67. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel <i>Lampung Tuff</i> LPT25-04B dari Lematang Menggunakan <i>Portable XRF</i> a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 62.60%, Al_2O_3 , SiO_2 dan K dengan rentang 1.13%. sampai 25.16% b). Komposisi Unsur Fe_2O_3 Ca, CaO, TiO_2 , dengan rentang 0.228 % sampai 0.032%. c). Komposisi unsur Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Ba, Ta, Pb, Th dan U dengan rentang 0.0042% sampai 0.00041%.	180
Gambar 68. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel <i>Lampung Tuff</i> LPT25-06A dari Embung E ITERA Menggunakan <i>Portable XRF</i> a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 45.09%, Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , K dan CaO dengan rentang 1.13%. sampai 25.16% b). Komposisi Unsur Ba, TiO_2 , MnO, Cr_2O_3 , Rb, Sr, dengan rentang 0.0075 % sampai 0.127%. c). Komposisi unsur Y, Zn, Zr, Ta, Pb, Th dan U dengan rentang 0.0010% sampai 0.00058%.	182

- Gambar 69. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel *Lampung Tuff* LPT25-08A dari Suka Raja Menggunakan *Portable XRF* a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 97.70%, b). Komposisi Unsur Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , K dan CaO dengan rentang 0.083% sampai 1.56%. c). Komposisi unsur TiO_2 , MnO, Rb, Sr, dengan rentang 0.0075 % sampai 0.127% Zn, Rb, Sr, Y, Zr, dan Th dengan rentang 0.00016% sampai 0.177%. 183
- Gambar 70. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel *Lampung Tuff* LPT25-08B(A) dari Suka Raja Menggunakan *Portable XRF* a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 85.59%, Al_2O_3 , SiO_2 dan P dengan rentang 0.0026% sampai 9.09%. b). Komposisi Unsur K, CaO, TiO_2 , Fe_2O_3 , dan MnO dengan rentang 0.083% sampai 1.56%. c). Komposisi unsur P, Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba dan Pb dengan rentang 0.00016% sampai 0.177%. 185
- Gambar 71. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel *Lampung Tuff* LPT25-08B(B) dari Suka Raja Menggunakan *Portable XRF* a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 53.25%, Al_2O_3 , SiO_2 K dan CaO dengan rentang 0.073% sampai 35.35%. b). Komposisi Unsur TiO_2 , MnO, dan Fe_2O_3 dengan rentang 0.023% sampai 1.25%. c). Komposisi unsur Co, Zn, Rb, Sr, dengan rentang 0.0075 % sampai 0.127% Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ta, Pb, Th dan U dengan rentang 0.00044% sampai 0.0012%. ... 186
- Gambar 72. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel *Lampung Tuff* LPT25-09 dari Suka Raja Menggunakan *Portable XRF* a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 61.43%, Al_2O_3 , SiO_2 dan K dengan rentang 1% sampai 26.13%. b). Komposisi Unsur Fe_2O_3 , CaO, TiO_2 dan MnO dengan rentang 0.024% sampai 0.352%. c). Komposisi unsur P, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Ta, Pb, dan Th dengan rentang 0.00073% sampai 0.0010%. 188
- Gambar 73. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel *Lampung Tuff* LPT25-10 dari Hatta Bekauheni Menggunakan *Portable XRF* a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 74.18%, Al_2O_3 sebesar 4.39%. dan SiO_2 sebesar 20.23%. b). Komposisi Unsur K, CaO, TiO_2 , MnO, P Fe_2O_3 , dan Zn dengan rentang 0.0041% sampai 0.252%. c). Komposisi unsur Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Ta, Pb, dan Th dengan rentang 0.00087% sampai 0.0027%. 189
- Gambar 74. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel *Lampung Tuff* LPT25-11 dari Hatta Bekauheni Menggunakan *Portable XRF* a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 88.79%, Al_2O_3 sebesar 1.60%. dan SiO_2 sebesar 8.57%. b). Komposisi Unsur Fe_2O_3 , K, CaO, TiO_2 dan MnO, dengan rentang 0.0022% sampai

0.566%. c). Komposisi unsur Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, Nb, Pb, dan Th dengan rentang 0.00086% sampai 0.0032%.....	191
Gambar 75. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel <i>Lampung Tuff</i> LPT25-12A dari Hatta Bekauheni Menggunakan <i>Portable XRF</i> a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 90.54%, Al_2O_3 sebesar 1.44%. dan SiO_2 sebesar 7.06%. b). Komposisi Unsur K, CaO, Nb, TiO_2 , MnO, dan Fe_2O_3 dengan rentang 0.0015%. sampai 0.440% . c). Komposisi unsur Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ba, Ta, Pb, dan Th dengan rentang 0.00059% sampai 0.0039%.	192
Gambar 76. Plot Komposisi Unsur Hasil Pengukuran Sampel <i>Lampung Tuff</i> LPT25-12B dari Ruguk Menggunakan <i>Portable XRF</i> a). Unsur dominan LE (Unsur-unsur ringan) terdiri dari 87.78%, Al_2O_3 sebesar 2.34%. dan SiO_2 sebesar 8.81 %. b). Komposisi Unsur K, CaO, TiO_2 , MnO, dan Fe_2O_3 dengan rentang 0.195%. sampai 0.496%. c). Komposisi unsur Zn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Pb, dan Th dengan rentang 0.00019% sampai 0.0034%.....	194
Gambar 77. Plot Keterkaitan Unsur Al_2O_3 pada <i>Lampung Tuff</i> dengan χ_{lf}	196
Gambar 78. Plot Hubungan Unsur Al_2O_3 pada <i>Lampung Tuff</i> dengan $\chi_{fd}\%$..	197
Gambar 79. Plot Hubungan Unsur Fe_2O_3 pada <i>Lampung Tuff</i> dengan χ_{lf}	198
Gambar 80. Plot Hubungan Unsur Fe_2O_3 pada <i>Lampung Tuff</i> dengan $\chi_{fd}\%$..	199
Gambar 81. Plot Hubungan Unsur SiO_2 pada <i>Lampung Tuff</i> dengan χ_{lf}	200
Gambar 82. Plot Hubungan Unsur SiO_2 pada <i>Lampung Tuff</i> dengan $\chi_{fd}\%$	201
Gambar 83. Plot Hubungan Unsur Rb pada <i>Lampung Tuff</i> dengan χ_{lf}	202
Gambar 84. Plot Hubungan Unsur Rb pada <i>Lampung Tuff</i> dengan $\chi_{fd}\%$	202
Gambar 85. Plot Hubungan Unsur Sr pada <i>Lampung Tuff</i> dengan χ_{lf}	203
Gambar 86. Plot Hubungan Unsur Sr pada <i>Lampung Tuff</i> dengan $\chi_{fd}\%$	204
Gambar 87. Plot Hubungan Unsur Zr pada <i>Lampung Tuff</i> dengan χ_{lf}	205
Gambar 88. Plot Hubungan Unsur Zr pada <i>Lampung Tuff</i> dengan $\chi_{fd}\%$	206

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Kabupaten di Provinsi Lampung.....	13
Tabel 2. Sifat Magnetik Berbagai Mineral.....	64
Tabel 3. Hubungan Nilai Suseptibilitas Magnetik dengan Sifat Kemagnetan dan Contoh Mineral Magnetik	67
Tabel 4. Interpretasi nilai χ_{fd}	69
Tabel 5. Lokasi Pengambilan Sampel.....	81
Tabel 6. Lokasi Pengambilan sampel dan Foto Sampel	93
Tabel 7. Data Hasil Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik dari <i>Lampung Tuff</i>	109
Tabel 8. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dengan <i>Portable XRF</i>	110
Tabel 9. Sifat Kemagnetan sampel <i>Lampung Tuff</i>	113
Tabel 10. Klasifikasi Jenis Bulir Sampel <i>Lampung Tuff</i>	114
Tabel 11. Data Hasil Pengukuran Nilai Suseptibilitas Magnetik dari <i>Lampung Tuff</i>	119
Tabel 12. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Gunung Kunyit dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_01	121
Tabel 13. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Tanjung Gading dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_02.....	122
Tabel 14. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Suka Bumi dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_03.....	124
Tabel 15. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Lematang dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_04B.....	126
Tabel 16. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Embung E ITERA dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_06A.....	128
Tabel 17. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Suka Raja dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_08A.....	129
Tabel 18. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Suka Raja dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_08(B) A	131

Tabel 19. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Suka Raja dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_08B(B).....	132
Tabel 20. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Suka Raja dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_09.....	133
Tabel 21. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Hatta Bekauheni dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_10.....	135
Tabel 22. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Hatta Bekauheni dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_11.....	137
Tabel 23. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Hatta Bekauheni dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_12A.....	138
Tabel 24. Kandungan Unsur <i>Lampung Tuff</i> dari Ruguk dengan <i>Portable XRF</i> pada Sampel LPT25_12B	140
Tabel 25. Hasil Pengukuran Sifat Kemagnetan sampel <i>Lampung Tuff</i>	152
Tabel 26. Klasifikasi Jenis Bulir Sampel <i>Lampung Tuff</i>	157

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Pengukuran <i>Portable</i> XRF 1	223
Lampiran 2. Hasil Pengukuran <i>Portable</i> XRF 2	224
Lampiran 3. Hasil Pengukuran <i>Portable</i> XRF 3	225
Lampiran 4. Hasil Pengukuran <i>Portable</i> XRF 4	226
Lampiran 5. Hasil Pengukuran Suseptibilitas Magnetik	227

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas vulkanik tinggi karena berada pada jalur Cincin Api Pasifik (*Pacific Ring of Fire*) dimana terdapat sebaran gunung api purba dan gunung api aktif yang berada di daratan maupun di bawah permukaan laut (Bronto, 2006). Gunung api purba merupakan gunung api yang aktivitasnya telah berhenti sehingga bentuk morfologinya tidak lagi jelas dan hanya menyisakan batuan vulkanik sebagai jejak aktivitasnya (Bronto, 2010), sedangkan gunung api aktif masih memiliki potensi erupsi yang ditandai dengan keluarnya magma, lahar panas, maupun lahar dingin (Azzaro, 2023). Berdasarkan sejarah letusannya, gunung api aktif di Indonesia diklasifikasikan menjadi tiga tipe yaitu tipe A yang pernah meletus sejak tahun 1600, tipe B yang belum tercatat meletus sejak tahun 1600, dan tipe C yang tidak diketahui secara pasti riwayat letusannya (Pratomo, 2006), sehingga aktivitas vulkanik tersebut menghasilkan berbagai material erupsi yang berpengaruh besar terhadap kondisi geologi dan lingkungan di sekitarnya.

Aktivitas erupsi gunung api menghasilkan material vulkanik yang berdampak signifikan terhadap lingkungan. Letusan ditandai oleh keluarnya awan panas, aliran lava, semburan abu, serta lontaran fragmen batuan ke udara (Zuhdi, 2019). Material ini memiliki ukuran beragam, di mana yang berukuran besar terlempar di sekitar kawah sedangkan partikel halus dapat

terbawa angin hingga jarak jauh (Tombeq et al., 2019). Endapan vulkanik tersebut umumnya berupa produk piroklastik seperti abu vulkanik, lapili, *pumice*, dan lava. Karakteristik fisik dan kimia material ini mencerminkan kondisi sistem magma, mekanisme erupsi, serta evolusi magma di dalam tubuh gunung api (Francis P & Oppenheimer C, 2004). Oleh karena itu, analisis material vulkanik penting untuk memahami proses magmatik yang mengontrol aktivitas erupsi dan distribusi produk vulkanik. Pada beberapa kasus, erupsi berskala besar dapat menghasilkan akumulasi material piroklastik dalam jumlah besar yang berkaitan dengan runtuhnya dapur magma dan pembentukan struktur kaldera.

Kaldera merupakan hasil letusan besar gunung api yang menghasilkan material piroklastik berskala luas dan membentuk cekungan besar di permukaan bumi (Phua et al., 2025). Di Sumatra terdapat tiga kaldera utama, yaitu Kaldera Toba, Kaldera Maninjau, dan Kaldera Ranau. Kaldera Toba terbentuk melalui empat fase letusan besar yang menghasilkan satuan *Youngest Toba Tuff*, *Middle Toba Tuff*, *Oldest Toba Tuff*, dan *Haranggaol Dacite Tuff* (Szymanowski et al., 2023). Volume endapan *Youngest Toba Tuff* sangat besar dan tersebar luas serta dapat dikenali melalui karakter geokimia materialnya (Siregar et al., 2022). Identifikasi tersebut diperkuat oleh kajian *geochemical fingerprinting* tefra yang menunjukkan bahwa komposisi kimia abu dan *pumice* merefleksikan proses diferensiasi magma sebelum erupsi (Smith et al., 2011). Sistem magma Toba berasal dari dapur magma berukuran besar yang mengalami diferensiasi dan fraksinasi kristal intensif sebelum

terjadi letusan besar (Chesner et al., 1998), sehingga pemahaman mengenai evolusi sistem magma ini menjadi dasar untuk mengkaji karakter magmatis pada kaldera besar lainnya di Sumatra.

Sistem magma pada Kaldera Maninjau dan Kaldera Ranau juga menunjukkan karakter evolusi yang dipengaruhi oleh suplai magma dan interaksi tektonik regional. Pada Kaldera Maninjau, aktivitas magmatis menghasilkan *pumice*, lava, dan abu vulkanik yang mencerminkan proses diferensiasi magma serta variasi kandungan mineral magnetik seperti ilmenit (Fadila et al., 2020). Sementara itu, sistem magma Kaldera Ranau berkembang dalam lingkungan yang dipengaruhi struktur sesar regional sehingga evolusinya tidak hanya dikontrol oleh proses vulkanik, tetapi juga interaksi tektonik (Natawidjaja et al., 2017). Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa ketiga kaldera di Sumatra memiliki kesamaan berupa sistem magma besar yang berevolusi melalui diferensiasi dan fraksinasi kristal sebelum menghasilkan letusan berskala besar.

Provinsi Lampung yang terletak di bagian selatan Pulau Sumatra memiliki kondisi geologi yang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik dan vulkanisme (Hall, 2012). Wilayah ini berada pada zona pertemuan antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia yang membentuk jalur busur vulkanik sunda sebagai salah satu sistem vulkanik aktif di Indonesia (Hamilton, 1979). Aktivitas tersebut membentuk beberapa gunung api di Lampung seperti Gunung Rajabasa, Gunung Seminung, dan Gunung Tanggamus yang menghasilkan produk vulkanik berupa lava, abu vulkanik,

lapili, dan batu apung (Francis P & Oppenheimer C, 2004). Material vulkanik ini kemudian mengalami pelapukan, erosi, dan transportasi sehingga membentuk batuan dengan komposisi unsur dan mineral magnetik yang beragam di Provinsi Lampung (Sigurdsson et al., 2015). Salah satu batuan batuan yang terbentuk dari proses tersebut adalah *Lampung Tuff*.

Lampung Tuff merupakan batuan piroklastik hasil erupsi eksplosif berskala besar di selatan Pulau Sumatra yang umumnya berupa endapan ignimbrit dari aliran piroklastik berdensitas tinggi (Forni et al., 2025). Batuan ini tersusun atas abu vulkanik, lapili, pumice, dan fragmen litik yang telah mengalami litifikasi dengan tekstur halus hingga kasar (Bronto et al., 2010). Berdasarkan perkembangannya, *Lampung Tuff* dibedakan menjadi *Old Lampung Tuff* dan *Young Lampung Tuff* yang memiliki perbedaan umur dan karakter litologi, di mana *Old Lampung Tuff* bersifat tingkat pengerasan sedang, miskin fragmen litik, dan memiliki struktur retakan batuan terbentuk secara alami akibat proses pendinginan material vulkanik persebarannya terdapat di sekitar Bandar Lampung dan Teluk Lampung, sedangkan *Young Lampung Tuff* lebih muda, tidak mengalami pegerasan setelah pengendapan, banyak ditemukan di Lampung Selatan dekat pusat aktivitas vulkanik muda (Forni et al., 2025). Perbedaan komposisi dan proses pembentukan pada masing-masing tipe *Lampung Tuff* tersebut berkaitan erat dengan keberadaan serta variasi mineral penyusunnya, khususnya yaitu mineral magnetik.

Mineral magnetik pada batuan vulkanik merupakan komponen penting yang mencerminkan komposisi kimia dan proses pembentukan magma.

Mineral magnetik dalam lava umumnya berupa *ilmenite* (FeTiO_3), *magnetite* (Fe_3O_4), dan *hematite* (Fe_2O_3) (De Maisonneuve et al., 2020). Mineral-mineral tersebut memiliki sifat kemagnetan berbeda, yaitu diamagnetik, paramagnetik, dan ferromagnetik (Pertama et al., 2014). Di Lampung Selatan, mineral magnetik utama pada batu apung adalah magnetit dan ilmenit yang terbentuk dari unsur besi (Fe) dan titanium (Ti) (Hayati et al., 2023). Keberadaan mineral tersebut dapat dikaji melalui analisis sifat magnetik batuan.

Secara ideal, karakteristik batuan vulkanik dapat dipahami melalui pendekatan yang mengintegrasikan analisis komposisi unsur dengan sifat magnetik batuan. Metode kemagnetan digunakan untuk mengidentifikasi mineral magnetik berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik sebagai respons material terhadap medan magnet (Oktavia et al., 2019). Pengukuran suseptibilitas magnetik dapat dilakukan menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter tipe B* (MS2B) pada *low frequency* (χ_{lf}) dan *high frequency* (χ_{hf}) untuk mengetahui konsentrasi serta karakteristik mineral magnetik dalam batuan (Boroallo et al., 2023). Metode ini telah diterapkan pada batu apung hasil erupsi pembentuk Kaldera Maninjau yang menunjukkan hubungan antara nilai suseptibilitas magnetik dengan kandungan mineral magnetik batuan (Lisma et al., 2024).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa karakteristik batuan vulkanik di wilayah Sumatra, khususnya Lampung, telah dikaji melalui berbagai pendekatan untuk memahami hubungan antara proses magmatik,

komposisi unsur, dan sifat kemagnetannya. Penelitian Gunawan dan Suhendro (2023) membahas karakteristik kimia dan tekstur endapan piroklastik di Gunung Seminung, Sumatra Selatan, dengan metode stratigrafi, petrografi, dan geokimia, serta menghasilkan tiga unit endapan utama yang mencerminkan variasi energi erupsi, Forni et al. (2025) mengkaji erupsi eksplosif di Sumatra, khususnya *Old* dan *Young Lampung Tuff* di Teluk Lampung melalui survei lapangan, stratigrafi, dan geokimia, dengan hasil perbedaan umur dan karakter fasies yang menunjukkan dinamika deposisi, Kurnia et al. (2022) mengidentifikasi kandungan unsur batuan di Lampung Barat menggunakan XRF dan menemukan dominasi Si, Al, Fe, dan Ti pada batuan vulkanik, Hayati et al. (2023) meneliti hubungan REE dan mineral magnetik pada batu apung di Bandar Lampung dan Lampung Selatan dengan metode suseptibilitas magnetik dan XRF, yang menunjukkan hubungan berbanding terbalik antara REE dan suseptibilitas.

Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada pengkajian karakteristik batuan vulkanik *Lampung Tuff* yang dilakukan pada beberapa lokasi berbeda di Provinsi Lampung seperti Gunung Kunyit, Tanjung Gading, Sukabumi, Lematang, Embung E ITERA, Sukaraja, Hatta Bekauheni, dan Ruguk, yang belum dikaji pada penelitian sebelumnya. Penelitian ini menggunakan metode pengukuran nilai suseptibilitas magnetik dengan alat *Bartington Magnetic Susceptibility Meter Type B* (MS2B) untuk mengidentifikasi sifat kemagnetan batuan berdasarkan respons terhadap medan magnet. Selain itu, menggunakan analisis komposisi unsur dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence Portable*

(*Portable XRF*) untuk memperoleh data tanpa menggunakan *X-Ray Fluorescence* Laboratorium yang memerlukan preparasi khusus dan waktu yang lama. Kemudian hubungan kedua metode tersebut pada lokasi penelitian diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih mengenai hubungan antara komposisi unsur dan sifat magnetik batuan vulkanik

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan beberapa identifikasi masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Aktivitas gunung api di Indonesia menghasilkan berbagai material vulkanik seperti lava, abu vulkanik, *pumice*, dan *tuff* yang memiliki karakteristik mineralogi, komposisi unsur, serta sifat kemagnetan yang berbeda-beda. Material *Lampung Tuff* sebagai salah satu produk aktivitas vulkanik di Provinsi Lampung diperkirakan memiliki kandungan mineral magnetik dan komposisi unsur yang dipengaruhi oleh proses pembentukan magma, erupsi, dan pendinginan material vulkanik. Namun, hubungan antara komposisi unsur dan sifat kemagnetan *Lampung Tuff* sebagai material hasil aktivitas gunung api masih belum banyak dikaji secara mendalam.
2. Persebaran sampel *Lampung Tuff* di beberapa lokasi di Provinsi Lampung, seperti Gunung Kunyit, Tanjung Gading, Sukabumi, Lematang, Embung E ITERA, Sukaraja, Hatta Bekauheni, dan Ruguk, menunjukkan kemungkinan adanya perbedaan karakteristik material vulkanik yang dipengaruhi oleh variasi aktivitas gunung api, proses erupsi, serta kondisi

geologi setempat. Variasi tersebut dapat memengaruhi komposisi unsur, jenis mineral magnetik, dan sifat kemagnetan batuan. Namun, hingga saat ini belum terdapat yang membandingkan variasi tersebut secara untuk memahami keterkaitan antara lokasi, proses pembentukan, dan karakteristik fisik batuan secara menyeluruh.

3. Analisis komposisi unsur pada material vulkanik umumnya dilakukan menggunakan metode *X-Ray Fluorescence* (XRF) konvensional yang memerlukan proses preparasi sampel dan waktu pengukuran yang relatif lama. Oleh karena itu, penggunaan *Portable* XRF menjadi penting dalam penelitian material gunung api karena dapat memberikan informasi komposisi unsur secara lebih cepat, efisien, dan praktis tanpa preparasi yang kompleks, sehingga lebih efektif untuk karakterisasi batuan vulkanik di lapangan maupun laboratorium.
4. Penelitian terdahulu telah menggunakan metode suseptibilitas magnetik dan kombinasi metode suseptibilitas magnetik dengan *X-Ray Fluorescence* untuk mengkaji karakteristik material vulkanik dan jenis batuan *Lampung Tuff*. Namun, kajian tersebut belum secara khusus membahas hubungan antara sifat kemagnetan dan komposisi unsur sebagai indikator proses pembentukan material hasil aktivitas gunung api, terutama dengan menggunakan metode yang lebih efisien dan tanpa preparasi sampel yang rumit. magnetik pada batuan vulkanik *Lampung Tuff*.

Oleh karena itu, penting untuk melakukan penelitian lebih lanjut agar kita bisa memahami lebih baik tentang sifat kemagnetan dan unsur material vulkanik di Provinsi Lampung.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah dan mengingat luasnya cakupan penelitian ini, maka penelitian ini akan memfokuskan permasalahan menjadi:

1. Penelitian ini difokuskan pada material vulkanik berupa *Lampung Tuff* yang merupakan hasil aktivitas gunung api dan tersebar di beberapa lokasi di Provinsi Lampung, yaitu Gunung Kunyit, Tanjung Gading, Sukabumi, Lematang, Embung E ITERA, Sukaraja, Hatta Bekauheni, dan Ruguk. Material vulkanik yang diteliti dibatasi pada batuan piroklastik jenis tuff untuk mengkaji karakteristik batuan hasil proses vulkanisme di wilayah tersebut.
2. Analisis komposisi unsur material vulkanik dilakukan menggunakan metode *X-Ray Fluorescence Portable (Portable XRF)* tipe SciAps X-505 untuk mengidentifikasi unsur-unsur penyusun batuan gunung api, terutama unsur pembentuk mineral silikat dan mineral magnetik. Penggunaan alat *Portable XRF* dibatasi pada pengukuran langsung tanpa preparasi sampel yang kompleks sehingga dapat memberikan karakterisasi geokimia material vulkanik secara lebih cepat dan efisien.
3. Karakteristik kemagnetan material hasil aktivitas gunung api hanya dikaji berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter Type B (MS2B)* pada frekuensi rendah

(χ_{lf})) dan frekuensi tinggi (χ_{hf}). Pengukuran ini dibatasi untuk mengetahui karakteristik mineral magnetik, sifat kemagnetan, serta ukuran butir mineral magnetik pada batuan vulkanik *Lampung Tuff* yang terbentuk akibat proses vulkanisme.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimanakah nilai suseptibilitas magnetik batuan vulkanik *Lampung Tuff* sebagai hasil aktivitas gunung api di Provinsi Lampung berdasarkan hasil pengukuran menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter Type B (MS2B)*?
2. Bagaimanakah komposisi unsur batuan vulkanik *Lampung Tuff* yang terbentuk akibat proses vulkanisme berdasarkan analisis *X-Ray Fluorescence Portable (Portable XRF)*?
3. Bagaimanakah hubungan antara sifat kemagnetan dari hasil pengukuran menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter Type B (MS2B)* dengan pengukuran komposisi unsur dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence Portable (Portable XRF)* pada material vulkanik *Lampung Tuff* dalam menggambarkan karakteristik batuan hasil aktivitas gunung api di Provinsi Lampung?

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah yang di atas maka penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengidentifikasi karakteristik suseptibilitas magnetik batuan vulkanik *Lampung Tuff* sebagai hasil aktivitas gunung api di Provinsi Lampung berdasarkan pengukuran menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter Type B (MS2B)* untuk mengetahui sifat dan karakteristik mineral magnetik yang terkandung di dalamnya.
2. Menganalisis komposisi unsur penyusun batuan vulkanik *Lampung Tuff* yang terbentuk akibat proses vulkanisme menggunakan metode *X-Ray Fluorescence Portable (Portable XRF)* guna mengetahui karakteristik geokimia material hasil aktivitas gunung api di Provinsi Lampung.
3. Menganalisis hubungan antara sifat kemagnetan hasil pengukuran menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter Type B (MS2B)* dengan komposisi unsur hasil analisis *X-Ray Fluorescence Portable (Portable XRF)* pada material vulkanik *Lampung Tuff* untuk menggambarkan karakteristik batuan hasil aktivitas gunung api di Provinsi Lampung.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sebagai salah satu persyaratan untuk mendapatkan gelar dalam menyelesaikan Strata 1 (S1) Program Studi Fisika di Universitas Negeri Padang.

2. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu geofisika dan geologi, khususnya terkait hubungan antara komposisi unsur kimia batuan vulkanik dengan sifat magnetiknya. Selain itu, hasil penelitian ini dapat memperkaya kajian ilmiah mengenai karakteristik kemagnetan batuan vulkanik, terutama pada material *Lampung Tuff*.
3. Menjadi ide dan referensi bagi pengembangan penelitian bagi peneliti lainnya.
4. Menunjukkan eektivitas kombinasi antara penggunaan *X-Ray Fluorescence Portable (Portable XRF)* dan pengukuran menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter Type B (MS2B)*.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan kesimpulan:

1. Batuan hasil aktivitas gunung api memiliki karakteristik kemagnetan yang beragam. Variasi sifat kemagnetan tersebut menunjukkan adanya perbedaan jenis mineral magnetik, konsentrasi mineral magnetik, serta ukuran butir mineral pada setiap lokasi pengambilan sampel. Karakteristik ini terbentuk akibat proses vulkanisme, seperti pendinginan magma, proses erupsi, pelapukan, dan alterasi material vulkanik setelah terendapkan. Sifat kemagnetan yang teridentifikasi pada sampel menunjukkan dominasi mineral ferrimagnetik dan antiferromagnetik, yang mencerminkan bahwa material *Lampung Tuff* tersusun oleh mineral-mineral magnetik yang berasal dari proses pembentukan batuan vulkanik. Selain itu, ukuran butir mineral magnetik pada sampel memperlihatkan adanya dominasi butiran sedang hingga kasar, meskipun pada beberapa lokasi ditemukan campuran butiran halus akibat proses pelapukan dan perubahan lingkungan geologi.
2. Hasil analisis komposisi unsur menggunakan *Portable XRF* menunjukkan bahwa material *Lampung Tuff* didominasi oleh unsur-unsur ringan dan mineral silikat yang umum ditemukan pada batuan gunung api. Kandungan SiO_2 dan Al_2O_3 yang cukup dominan

mengindikasikan bahwa batuan tersebut merupakan hasil aktivitas vulkanik yang kaya mineral silikat dan aluminosilikat. Kehadiran unsur-unsur lain seperti Fe_2O_3 , TiO_2 , K, Ca, dan unsur jejak lainnya menunjukkan adanya kontribusi mineral feromagnesian dan feldspar yang terbentuk selama proses diferensiasi magma dan pendinginan material vulkanik. Variasi komposisi unsur pada setiap lokasi juga menggambarkan bahwa proses pembentukan material vulkanik di Provinsi Lampung dipengaruhi oleh kondisi geologi dan evolusi magma yang berbeda-beda.

3. Hubungan antara hasil pengukuran suseptibilitas magnetik dan komposisi unsur menunjukkan bahwa karakteristik kemagnetan batuan gunung api tidak hanya dipengaruhi oleh kandungan unsur kimia penyusunnya, tetapi juga oleh jenis mineral magnetik, ukuran butir, serta proses geologi yang terjadi selama dan setelah aktivitas vulkanik. Kandungan unsur besi dan mineral magnetik pada material vulkanik berperan dalam menentukan sifat kemagnetan batuan, namun hubungan keduanya tidak selalu menunjukkan keterkaitan yang kuat karena dipengaruhi pula oleh proses alterasi, pelapukan, dan struktur mineral yang terbentuk. Dengan demikian, kombinasi metode suseptibilitas magnetik dan *Portable XRF* mampu memberikan informasi yang saling melengkapi dalam mengkaji karakteristik material hasil aktivitas gunung api, sehingga dapat

membantu memahami proses pembentukan dan perkembangan batuan vulkanik *Lampung Tuff*.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disarankan perlu adanya kajian lanjutan dengan cakupan sampel yang lebih luas sert variasi lokasi pengambilan sampel sehingga dapat memperkuat interpretasi mengenai karkteristik mineralmagnetik dan komposisi kimia unsur batuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., Hendrasto, M., Andreas, H., Gamal, M., Kusuma, M. A., Rosadi, U., Mulyana, I., Mulyadi, D., Suganda, O. K., Purwanto, B. H., & Kimata, F. (2007). Karakteristik deformasi Gunungapi Ijen dalam periode 2002–2005 hasil estimasi metode survei GPS. *Prosiding ITB Sains & Teknologi*, 39A(1–2), 1–22.
- Afiat, F., Natawidjaja, D. H., & Cummins, P. (2021). Tectonic interaction and volcanism in the Ranau Caldera region, southern Sumatra. *Journal of Asian Earth Sciences*, 213, 104770.
- Amri, A., & Rahmawati, D. (2020). Pengembangan desa wisata berbasis community based tourism pada kawasan Danau Ranau, Lumbok Seminung Lampung Barat. *Plano Madani: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 9(1), 12–22. <https://journal3.uinalauddin.ac.id/index.php/planomadani/article/view/2524>
- Arrazi, M., Hamdi, R., Fatn., & Harman, A. (2023). Magnetic Susceptibility Of *Pumice* At Mount Singgalang, West Sumatera. *Manazhim*, 945–956. <https://doi.org/10.36088/Manazhim.V5i2.3623>.
- Azzaro, R. (2023). *Volcanic activity and hazard assessment*. Springer.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. (2022). Provinsi Lampung dalam angka 2022. Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung. <https://lampung.bps.go.id>
- Bemmelen, R.W.Van, (1949) : “*The Geology of Indonesia, Vol IA, General Geology OF Indonesia and Adjacent rchipelagoes*”. Martinus Nijhoff, The Hague.
- Bijaksana, S., Analisis mineral magnetik dalam masalah lingkungan, *Jurnal Geofisika*, 1, pp. 19-27, 2002.
- Boroallo, L., Conti, G., & Ferrero, S. (2023). Magnetic susceptibility as a diagnostic tool for volcanic materials. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 431, 107774.
- Bronto, S. (2006). Gunung api purba di Indonesia dan kaitannya dengan evolusi busur magmatik. *Jurnal Geologi Indonesia*, 1(2), 103–114.
- Bronto, S. (2010). Identifikasi gunung api purba dan implikasinya terhadap sejarah vulkanisme di Indonesia. *Jurnal Vulkanologi dan Bencana Geologi*, 5(1), 15–.

- Brouwer, P. 2006. *Theory of XRF*. Netherlands: PANalytical BV.
- Bryn, M. J., Afonin, D. A., & Bogomolova, N. N. (2017). Geodetic monitoring of deformation of building surrounding an underground construction. *Procedia Engineering*, 189, 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.061>.
- Butler, R. F. 1998. *Paleomagnetism Magnetic Domains to Geologic Teranes*. Boston: Blackwell Scientific Publication
- Carlson, D. H., Plummer, C. C., & Hammersley, L. (2009). *Physical Geology Earth Revealed*. Mcgraw-Hill.
- Chesner, C. A. (1998). Petrogenesis of the Toba *Tuffs*, Sumatra, Indonesia. *Journal of Petrology*, 39(3), 397–438. <https://doi.org/10.1093/petrology/39.3.397>
- De Maisonneuve, C. B., Bergantz, G. W., & Urbani, S. (2020). Magnetite, ilmenite, and hematite assemblages in volcanic rocks. *Earth and Planetary Science Letters*, 546, 116423.
- Dearing, J. (1999). Environmental Magnetic Susceptibility Using The Bartington MS2 System. British Library Cataloguing In Publication Data.
- Dearing, J. A., Danin, R. J. L., Hay, K., Lees, J. A., Loveland, P. J., Maber, B. A., & O'Grady, K. (1996). Frequency-Dependent Susceptibility Measurements Of Environmental Materials. *Geophysical Journal International*, 124(1), 228-240. <https://doi.org/10.1111/J.1365-246X.1996.Tb06366>.
- Evans, M.E., dan Heller, F., 2003, *Environment Magnetism Principles and Application of Environmagnetics*. Academic Press, Californi.
- Fadila, R. R., Rifai, H., Ningsih, E. D., Putra, R., de Maisonneuve, C. B., Forni, F., Eisele, S., & Phua, M. (2020). *Magnetic susceptibility of pre- and post caldera lavas from Maninjau, West Sumatra*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1481, 012017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012017>
- Fajri, R. N., Putra, R., Afriyeni, P., De Maisonneuve, C., Phua, M., Eisele, S., Forni, F., & Rifai, H. (2020). Analyzing magnetic susceptibility and elemental composition of rocks and soil around Danau Di atas, West Sumatra, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1481(1), 012022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012022>

- Forni, F., Phua, M., Fellin, M. G., Oalmann, J. A., Jicha, B., Bradley, K., Madden, C., & Rifai, Y. (2025). A geological record of highly explosive eruptions from Sumatra (Indonesia). *Earth-Science Reviews*, 271, 105303. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2025.105303>
- Francis, P., & Oppenheimer, C. (2004). *Volcanoes* (2nd ed.). Oxford University Press. Hamblin, & Kenneth, W. (2003). *Earth's Dynamic System*. Prentice Hal.
- Gosal, L. C., Ch Tarore, R., & Karongkong, H. H. (2018). Analisis SpasialTingkat Kerentanan Bencana Gunung Api Lokon Di Kota Tomohon. *Jurnal Spasial*, 5 (2), 229–237.
- Gunawan & Suhendro, I. (2023). Chemical and textural studies of the youngest pyroclastic deposits at Mt. Seminung (South Sumatra, Indonesia): A window for understanding the explosive behavior of a post-caldera volcano. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik (Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin)*. <https://doi.org/10.17794/rgn.2023.5.6>.
- Hall, R. (2012). Late Jurassic–Cenozoic reconstructions of the Indonesian region and the Indian Ocean. *Tectonophysics*, 570–571, 1–41. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.04.021>
- Hamilton, W.B.(1979). *Tectonics of The Indonesian Region*. Departemen Pertambangan Indonesia-United States Agency for International Development, 1979.
- Harlanti, U., Bijaksana, S., Iskandar, I., Lubis, R. F., Venkateshwarlu, M., Satyakumar, A. V., Suryanata, P. B., Fajar, S. J., Komang Tri Suandanyani, N., & Ibrahim, K. (2025). Magnetic properties of surface sediments in a closed alkaline volcanic lake: A case study from Lake Batur, Bali, Indonesia. *International Journal of Sediment Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2025.11.004>
- Hayati, R., Rifai, H., Dwiridal, L., & Amir, H. (2023). Analysis On The Relationship Of Rare Earth Elements And Magnetic Minerals Inside *Pumice* In The Southern Tip Of Lampung Province. *Journal Of Experimental And Applied Physics*, 1 (3), 51
- Hunt, C. P. 1995. *Magnetic Properties of Rocks and Minerals*. Minneapolis: University of Minnesota.
- Ibrahim, B., & Ahmad, A. (2012). *Agrogeologi Dan Mineralogi Tanah*. Makassar: Universitas Hasanuddin.

- Ibrahim, M. M., Puspita, M., Andarini, D., Marbun, A. G., & Arifianto, D. I. (2020). Identifikasi dan interpretasi geologi berdasarkan citra penginderaan jauh pada daerah panas bumi Danau Ranau, Ogan Komering Ulu (OKU) Selatan, Sumatera Selatan. Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan SATU BUMI, Universitas Sriwijaya.
- Jamel, I., Meilano, I., Gumilar, I., Sarsito, D. A., & Abidin, H. Z. (2013). Analisis deformasi Gunung Api Papandayan berdasarkan data pengamatan GPS tahun 2002–2011. *Indonesian Journal of Geospatial*, 2(3), 1–7.
- Jiles. (1996). Jiles, 1996, Introduction To Magnetism And Magnetite Material, New York, USA: Champman And Hall.
- Kanu, M.O., Meludu, O, C., and Oniku, S.A. 2013. A Preliminary Assesment of Soil Pollutionin Some Parts of Jalingo, Metropilis, Nigeria Using Magnetic Susceptibility Method. *Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences*
- Klein, C., 2001, Manual of Mineral Science 22nd Edition, USA: Wiley.
- Kurnia, N. F., Rifai, H., Syafriani, S., Dwiridal, L., & Mufit, F. (2022). Identification of Elemental Content and Rock Types in West Lampung Regency. *EKSAKTA: Journal of Sciences and Data Analysis*, 3(2).<https://doi.org/10.20885/EKSAKTA.vol3.iss2.art1>
- Lamiere, R. (2018). *Portable XRF in geochemistry and environmental studies. Journal of Geochemical Exploration*, 194, 1–12.
- Lisma, R. H., Rifa'i, H., Syafriani, R., Ratnawulan, R., Yonanda, G., Febriwanti, M. K., Azizah, N., Junia, R., Janna, A., & Haq, A. R. (2024). Characteristics of the density and magnetic susceptibility of pumice from the Maninjau caldera-forming eruption, Indonesia. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 25(2), 193–203. <https://doi.org/10.33332/jgsm.geologi.v25i3.889>
- Lockwood, J. P., & Hazlett, R. W. (2010). *Volcanoes: Global perspectives*. Wiley-Blackwell.
- Makatita, F. M., Haryanto, A. D., & Hutabarat, J. (2021). Mineral Alterasi dan Mineralogi Pada Penampang Box X dan Y Di Daerah Cibaliung, Banten. *Padjajaran Geoscience Journal* Vol.5, No. 2, 191-198.
- Mangga, S. A., Santosa, S., & Hermanto, B. (1993). Peta geologi lembar Tanjungkarang, Sumatera (Skala 1:250.000). Bandung, Indonesia: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.

- Mustaghrihin. 2013. *Batuan Kelas X Semester 2*. Jakarta: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia.
- Natalia, H. C., & Denhi, A. D. A. (2025). Evolusi tubuh gunungapi dan implikasi struktur geologi di Gunung Pesawaran–Betung, Lampung. *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 9(1), 33–42.
- Natawidjaja, D. H., Bradley, K., Daryono, M. R., & Aribowo, S. (2017). Late Quaternary eruption of the Ranau Caldera and new geological slip rates of the Sumatran Fault Zone in southern Sumatra, Indonesia *Geoscience Letters*, 4(1), 21. <https://doi.org/10.1186/s40562-017-0087-2>
- Nesse, W.D., 2000, *Introduction to Mineralogy*, New York: Oxford University Press.
- Noor, D. (2012). *Pengantar Geologi*. Bogor: Universitas Pakuan.
- Oktavia, D. O., Salomo, & Malik, U. (2019). Pemetaan Suseptibilitas Magnetik Endapan Tanah Sungai Sail Pekanbaru. *Journal Online of Physics*, 4(2), 1- 7.
- Oktavia, N., Sunyoto, & Prasetyo, D. (2019). Karakterisasi kemagnetan batuan vulkanik menggunakan Bartington MS2B. *Jurnal Fisika Indonesia*, 23(3), 95–103.
- Ouallali, A., Abaoui, J., El Amrani, I. E., & Khattach, D. (2024). Environmental magnetism as a proxy for soil development and pedogenesis processes. *Arabian Journal of Geosciences*, 17, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s41207-024-00663-4>
- Pertama, F., Munir, M., & Suryani, T. (2014). Karakteristik mineral magnetik batuan vulkanik berdasarkan suseptibilitas magnetik. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 15(2), 113–122.
- Phua, M., Forni, F., Eisele, S., Rifai, H., Mohtadi, M., Lückge, A., & Bouvet de Maisonneuve, C. (2025). *Late Pleistocene–Holocene explosive volcanism in central Sumatra constrained by distal tephra correlations*. *Bulletin of Volcanology*. <https://doi.org/10.1007/s00445-025-01813-4>.
- Pranitha Septiana B, Siti Zulaikah, Arif Hidayat, R. A. 2015. Uji Suseptibilitas Magnetik Tanah Gambut Kalimantan Tengah. Seminar Nasional Jurusan. Fisika FMIPA UM.
- Pratomo, I. (2006). Klasifikasi gunung api aktif di Indonesia berdasarkan sejarah letusan. *Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG)*.

- Prayoga, D. A. (2018). Media Pembelajaran mengenal jenis batuan berbasis Augmented Reality pada perangkat android. *Jurnal Informatika Merdeka Pasuruan*, 17(3), 64-73.
- Preine, J., Karstens, J., Hübscher, C., Druitt, T., Kutterolf, S., Nomikou, P., Manga, M., Gertisser, R., Pank, K., Beethe, S., Berthod, C., Crutchley, G., McIntosh, I., Ronge, T., Tominaga, M., Clark, A., DeBari, S., Johnston, R., Mateo, Z., ... Papanikolaou, D. (2024). Hazardous explosive eruptions of a recharging multi-cyclic island arc caldera. *Nature Geoscience*, 17(4), 323–331. <https://doi.org/10.1038/s41561-024-01392-7>
- Pribadi, A. (2006). Mekanisme erupsi ignimbrit Kaldera Maninjau, Sumatera Barat. *Indonesian Journal on Geoscience*, 2(1), 31–41. <https://doi.org/10.17014/ijog.vol2no1.20073>
- Putra, S., Rifai, H., Fadila, R., Ningsih, E. D., & Putra, R. (2022). Distribution of pyroclastic deposits around Lake Maninjau Agam District, West Sumatera, Indonesia based on magnetic susceptibility. *Trends in Sciences*, 19(7), 3218. <https://doi.org/10.48048/tis.2022.3218>
- Rahmi, D., Syafri, I., & Helmi, M. (2024). Penyebaran produk erupsi Gunung Maninjau purba berdasarkan kajian piroklastik . *Jurnal Geologi Regional*, 7(1), 12–22.
- Ravansari, R., Wilson, S. C., & Tighe, M. (2020). PorTabel *X-Ray Fluorescence* for environmental assessment of soils: Not just a point and shoot method. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105250>.
- Santoso, N.A., Iqbal, M., and Kadja, G.T.M., 2020. Geochemical Compositions and Magnetic Susceptibility of Soils from Different Origins: A case Study in South Lampung, Indonesia. *Indonesian Journal on Geoscience*, 7 (3), p.267-272. DOI: 10.17014/ijog.7.3.267-272.
- Saputra, A., Sismanto, & Setiawan, B. (2020). Analisis anomali magnetik untuk identifikasi sistem panas bumi di daerah Tanggamus dan Lampung Barat. *Jurnal Fisika Flux*, 17(2), 85–92.
- Sari, W. P., Akmam, & Hidayati. (2018). Analisis Struktur Batuan Berdasarkan Data Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger Dan Konfigurasi Dipole-Dipole Di Kecamatan Malalak Kabupaten Agam. *Pillar Of Physics*, 11(2), 25-32.

- Self, S., Rampino, M. R., Newton, M. S., & Wolff, J. A. (1984). Volcanological study of the great Tambora eruption of 1815. *Geology*, 12(11), 659–663. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(1984\)12<659:VSOTGT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(1984)12<659:VSOTGT>2.0.CO;2)
- Setiawan, M. R., & Setiawan, A. (2015). Pemodelan struktur bawah permukaan zona subduksi dan busur gunungapi Jawa Timur berdasarkan analisis data gravitasi. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(57), 13–18.
- Shand, C.A., Wendler, R., 2014. PorTabel *X-Ray Fluorescence* analysis of mineral and organic soils and the influence of organic matter. *J. Geochem. Explor.* 143, 31–42.
- Sieh, K., & Natawidjaja, D. (2000). Neotectonics of the Sumatran fault, Indonesia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B12), 28,295–28,326. <https://doi.org/10.1029/2000JB900120>
- Sigurdsson, H., Houghton, B., McNutt, S., Rymer, H., & Stix, J. (2000). *Encyclopedia of volcanoes*. Academic Press.
- Siregar, N. D., Rifai, H., Syafriani, Fauzi, A., & Mufit, F. (2022). Magnetic susceptibility of volcanic rocks from Pahae Julu region, North Sumatera Province. *Journal of Physics and Its Applications*, 4(2), 42–46. <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpa>
- Smith, V. C., Pearce, N. J. G., Matthews, N. E., Westgate, J. A., Petraglia, M. D., Haslam, M., Lane, C. S., Korisettar, R., & Pal, J. N. (2011). Geochemical fingerprinting of the widespread Toba tephra using biotite compositions. *Quaternary International*, 246(1-2), 97–104. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2011.05.012>.
- Subekti, I., Hidayawanti, R., & Kinasti, R. M. A. (2021). Mengenal vulkanologi (ilmu tentang gunung api). Jakarta, Indonesia: Institut Teknologi PLN.
- Suganda, O. K., Sarsito, D. A., Abidin, H. Z., & Kusnandar, A. (2007). Determinasi sumber tekanan dan analisis regangan utama di Gunung Api Papandayan untuk mengetahui korelasi dengan kegempaan. *Jurnal Geologi Indonesia*, 2(2), 73–86.
- Suhendro I, Toramaru A, Harijoko A, Wibowo HE (2022) The origins of transparent and non-transparent white *pumice*: a case study of the 52 ka Maninjau caldera-forming eruption. *Indonesia J Vol-canol Geotherm Res* 431:107643. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2022.107643>.

- Suhendro, R., Zulfikar, N., & Putra, A. (2022). Endapan piroklastik Maninjau dan karakteristik mineralnya. *Indonesian Journal of Volcanology*, 3(2), 89–101.
- Sulaiman, A. F. R., Anda, P., & Haraty, S. R. (2022). Analisis karakteristik tanah menggunakan metode magnetik dan *X-Ray Fluorescence* di Kecamatan Oheo. *Jurnal Geofisika Eksplorasi (JGE)*, 8(3), 171–185. <https://doi.org/10.23960/jge.v8i3.225>.
- Sultoni, M. I., Hidayat, B., & Subandrio, A. S. (2019). Klasifikasi jenis batuan beku melalui citra berwarna dengan menggunakan metode local binary pattern dan k-nearest neighbor. *Teknika-Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Telekomunikasi, Kendali, Komputer, Elektrik, Dan Elektronika*, 4(1), 10-
- Sumanti, S., Rifai, H., Akmam, A., Amir, H., Syafriani, S., & Wulan, R. (2024). Compressive strength analysis of mortar made from volcanic sand in Nagari Aia Angek based on magnetic mineral content. *Pillar of Physics: Jurnal Berkala Ilmiah Fisika*, 17(1), 20–28. <https://doi.org/10.24036/15122171074>.
- Szymanowski, D., Wörner, G., & Chesner, C. (2023). Toba caldera super-eruptions: Revised chronology and eruptive history. *Earth-Science Reviews*, 240, 104353.
- Tilling, R. I. (1985). *Volcanoes*. U.S. Geological Survey, Washington, D.C.
- Tombeq, R., Langi, M., & Palimbong, A. (2019). Distribusi material piroklastik berdasarkan ukuran dan jarak sebaran. *Jurnal Vulkanologi*, 12(2), 33–45.
- van Bemmelen, R. W. (1949). *The geology of Indonesia* (Vol. 1A: General geology of Indonesia and adjacent archipelagoes). Government Printing Office.
- Whelley PL, Newhall CG, Bradley KE (2015) The frequency of explosive volcanic eruptions in Southeast Asia. *Bull Volcanol* 77:1–11. <https://doi.org/10.1007/s00445-014-0893-8>.
- Widiatama, A. J., & Hendrawan, R. N. (2023). Reinterpretation of Lampung Cretaceous–Paleogene granitoids genesis and its tectonic implications. *Jurnal Geocelbes*, 6(2), 45–57.
- Winarno, T., & Marin, J. (2020). *Buku ajar mineralogi*. Lembaga Pengembangan dan Penjaminan Mutu Pendidikan, Universitas Diponegoro.

- Zaenudin, A., Darmawan, I. G. B., & Laimeheriwa, G. (2021). 2D gravity qualitative modeling to identify bedrock and volcanic rocks in South Lampung Region. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 10(2), 253–265.
- Zainal, P. A. A., Sutriyono, E., & Ibrahim, M. M. (2024). Perkiraan temperatur reservoir panas bumi berdasarkan metode Geotermometer Silika (SiO_2) pada Daerah Danau Ranau dan sekitarnya. *Jurnal Penelitian Sains (JPS)*, 26(3), 26354–376. <https://doi.org/10.56604/jps.v26i3.1064>
- Zainal, P. A., Sutriyono, E., & Ibrahim, M. M. (2019). Perkiraan temperatur reservoir panas bumi berdasarkan metode geotermometer silika (SiO_2) pada daerah Danau Ranau dan sekitarnya. *Jurnal Penelitian Sains*, 21(3),
- Zhou, S., Wang, J., Wang, W., & Liao, S. (2023). Evaluation of *Portable X-Ray Fluorescence* Analysis and Its Applicability as a Tool in Geochemical Exploration. *Minerals*, 13(2), 166. <https://doi.org/10.3390/min13020166>
- Zonautara. (2023). *Kejadian letusan gunung api di Indonesia 1900–2022*. Diolah oleh Tim Data Zonautara. <https://zonautara.com/dataset/kejadian-letusan-gunung-api-di-indonesia-1900-2022>.
- Zuhdi, M. (2019). Fenomena letusan gunung api dan dampaknya. *Jurnal Kebencanaan Geologi*, 4(1), 22–31.
- Zulaikah, S. 2005. Kajian Sifat Magnetik Stalagmit di Jawa dan Aplikasinya pada Variasi Sekuler Medan Magnetik Bumi Serta Perubahan Iklim Purba. Disertasi S3 Institut Teknologi Bandung (ITB).
- Zulkarnain, I.(2011). *Geochemical Evidence of Island-Arc Origin for Sumatra Island: A New Perspective Based on Volcanic Rocks in Lampung Province*, Indonesia. *Jurnal Geologi Indonesia*, 6(4), 213–225.

