

DAFTAR ISI

LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
INTISARI.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah.....	3
I.3. Batasan Masalah.....	3
I.4. Maksud dan Tujuan.....	4
I.5. Lokasi Penelitian.....	4
I.6. Manfaat Penelitian.....	5
I.7. Peneliti Terdahulu.....	6
I.8. Keaslian Penelitian.....	7
BAB II GEOLOGI LAPANGAN PANAS BUMI DIENG.....	8
II.1. Geomorfologi Lokal Dieng.....	8
II.2. Stratigrafi Lokal Dieng.....	9
II.3. Struktur Geologi Dieng.....	11
II.4. Sistem Panas Bumi Dieng.....	11
BAB III LANDASAN TEORI DAN HIPOTESIS.....	13
III.1. Lingkungan Panas Bumi.....	13
III.1.1. Sistem panas bumi vulkanogenik.....	13
III.1.2. Manifestasi panas bumi.....	16
III.1.3. Alterasi hidrotermal.....	18
III.2. Geokimia Fluida Panas Bumi.....	23
III.2.1. Geokimia gas panas bumi.....	23
III.2.2. Geokimia isotop panas bumi.....	27
III.3. Penginderaan Jauh.....	30
III.3.1. Foto udara.....	31
III.3.2. LiDAR.....	32
III.4. Bahaya Geologi di Lingkungan Panas Bumi Vulkanogenik.....	33
III.4.1. Aktivitas erupsi.....	34
III.4.2. Gas vulkanik.....	35
III.4.3. Gerakan massa tanah dan batuan.....	39
III.5. Hipotesis.....	40
BAB IV METODE PENELITIAN.....	42
IV.1. Bahan Penelitian.....	42
IV.1.1. Data primer.....	42
IV.1.2. Data sekunder.....	42
IV.2. Alat Penelitian.....	43
IV.3. Tahapan Penelitian.....	46
IV.3.1. Tahap pra-lapangan.....	46
IV.3.2. Tahap lapangan.....	47

IV.4.3. Tahap pasca-lapangan	54
BAB V PENYAJIAN DATA	61
V.1. Aspek Geologi	61
V.1.1. Geomorfologi daerah penelitian	63
V.1.2. Litologi daerah penelitian	66
V.1.3. Struktur geologi daerah penelitian	75
V.1.4. Manifestasi panas bumi	77
V.2. Aspek Non Geologi	86
V.2.1. Tata guna lahan	86
V.2.2. Infrastruktur dan jaringan jalan.....	90
BAB VI PEMBAHASAN	95
VI.1. Karakteristik dan Persebaran Manifestasi Panas Bumi di Gunung Pakuwaja	95
VI.1.1. Jenis dan karakter fisik manifestasi panas bumi	95
VI.1.2. Persebaran manifestasi panas bumi	103
VI.2. Karakteristik Geokimia Fluida Manifestasi Panas Bumi di Gunung Pakuwaja	106
VI.2.1. Asal-usul fluida manifestasi panas bumi	106
VI.2.2. Geotermometer dan Fasa	108
VI.3. Potensi Bahaya Geologi di Gunung Pakuwaja	110
VI.3.1. Gerakan massa	113
VI.3.2. Penyebaran gas beracun.....	119
VI.3.3. Erupsi.....	120
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	122
VII.1. Kesimpulan.....	122
VII.2. Saran	123
DAFTAR PUSTAKA	125
LAMPIRAN.....	129
Lampiran I.....	129
Lampiran II	207
Lampiran III.....	214

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1.	Tiga area potensi panas bumi dan area prospek di Lapangan Panas Bumi Dieng(digambar ulang dan diterjemahkan dari Boedihardi dkk., 1993)	2
Gambar 1. 2.	Peta lokasi penelitian. (A) Peta Pulau Jawa bagian tengah yang menunjukkan Kab. Wonosobo; (B) Peta Kab. Wonosobo yang menunjukkan Kec. Kejajar; dan (C) Peta infrastruktur dan jaringan jalan Gunung Pakuwaja dan sekitarnya.....	5
Gambar 2. 1.	Peta geomorfologi dari lapangan panas bumi Dieng (Nurpratama dkk., 2015)	9
Gambar 2. 2.	Citra DEM yang menunjukkan persebaran dari gunung api pada Kompleks Gunung api Dieng dan episode vulkanisme Gunung api Dieng (diterjemahkan dari Harijoko dkk. 2016)	10
Gambar 2. 3.	Peta geologi Lapangan Dieng (digambar ulang dari Nurpratama dkk., 2015)	11
Gambar 2. 4.	Konseptual model dari Lapangan Panas Bumi Dieng (Digambar ulang dan diterjemahkan dari Boedihardi dkk., 1991)	12
Gambar 3. 1.	Model konseptual sistem hidrotermal vulkanik dengan asosiasi terhadap manifestasi (digambar ulang dan diterjemahkan dari Hochstein dan Browne, 2000)	13
Gambar 3. 2.	Diagram skema sirkulasi air panas bumi (Ellis dan Mahon, 1977)....	14
Gambar 3. 3.	Kelompok mineral hidrotermal berdasarkan peningkatan suhu dan derajat keasaman (Corbett dan Leach, 1997)	22
Gambar 3. 4.	Diagram N ₂ - He - Ar (Giggenbach dan Goguel, 1989 dalam Nicholson, 1993).....	24
Gambar 3. 5.	Perubahan isotop oksigen pada air panas bumi terhadap air meteorik (Nicholson, 1993).....	28
Gambar 3. 6.	Tren perubahan komposisi isotop akibat dari adanya proses panas bumi (Nicholson, 1993).....	28
Gambar 3. 7.	Spektrum elektromagnetik (Kerle, 2013).....	31
Gambar 3. 8.	Prinsip dasar LiDAR (Lilliesand dkk., 2015).....	33
Gambar 3. 9.	Peta Kawasan Rawan Bencana Gunungapi Dieng, Provinsi Jawa Tengah (Kartadinata, 2011) beserta lokasi penelitian	34
Gambar 4. 1.	Jalur penerbangan wahana tanpa awak yang diakses melalui android	47
Gambar 4. 2.	Peta titik pengamatan Gunung Pakuwaja dan Sekitarnya	48
Gambar 4. 3.	Peta pengambilan sampel di Kawah Gunung Pakuwaja	49
Gambar 4. 4.	(A) pengukuran suhu udara sekitar; dan (B) pengukuran suhu manifestasi panas bumi	51
Gambar 4. 5.	(A) Proses akuisisi citra foto udara di siang hari; dan (B) Proses akuisisi citra inframerah termal di dini hari	54
Gambar 4. 6.	(A) Sampel sayatan tipis dari sampel batuan yang telah di ambil di Gunung Pakuwaja; dan (B) Proses analisis petrografi di Laboratorium Geologi Optik, Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada	55
Gambar 4. 7.	(A) PANalytical EMPYREAN; dan (B) proses running sampel difraksi sinar X di Laboratorium XRD, ERIC, FT-UGM.....	56
Gambar 4. 8.	(A) sampel kondensat; (B) sampel gas NCG; (C) sampel kondensat untuk dianalisis kandungan isotop; dan (D) sampel kondensat untuk analisis SO ₂	56

Gambar 4. 9.	Diagram alir penelitian.....	60
Gambar 5. 1	Peta lintasan dan Stasiun Titik Amat (STA).....	62
Gambar 5. 2.	Peta zonasi kelerengan Gunung Pakuwaja dan Sekitarnya	63
Gambar 5. 3.	Peta Geomorfologi Gunung Pakuwaja dan Sekitarnya	64
Gambar 5. 4.	Dokumentasi yang merupakan STA 2 dan menunjukkan batas morfologi dari lapangan solfatara, kawah vulkanik Gunungapi Pakuwaja, lereng atas Gunungapi Pakuwaja, dan kenampakan kerucut vulkanik Gunung kendil, Gunung Sipandu, dan Gunung Pagerkandang	65
Gambar 5. 5.	Dokumentasi melalui wahana tanpa awak yang menunjukkan morfologi kawah vulkanik, lapangan solfatara, dan kerucut gunungapi.....	65
Gambar 5. 6.	Peta Lokasi pengambilan sampel di STA 1 (kiri). (A-B) Pengamatan lapangan LP 1 dan sampel setangan; (C-H) Pengamatan lapangan LP 2 dan sampel setangan; (I-M) Pengamatan lapangan LP 3 dan sampel setangan; (N-O) Pengamatan lapangan LP 4 dan sampel setangan.....	67
Gambar 5. 7.	(A) Fotografi udara yang menunjukkan morfologi Kawah Gunung Pakuwaja dan STA 3; dan (B) Dokumentasi STA 3.	68
Gambar 5. 8.	(A) Fotografi udara yang menunjukkan STA 5 dan keterdekatannya dengan Gunung Pakuwaja; (B) Lokasi dari STA 5 dalam skala singkapan; (C) Sampel batuan beku yang diambil dari STA 5.....	69
Gambar 5. 9.	(A) lokasi pengambilan sampel batuan NI/180625/PKW/1.2A; (B) sampel setangan batuan NI/180625/PKW/1.2A; (C) mikrograf pengamatan PPL NI/180625/PKW/1.2A; dan (D) Mikrograf pengamatan XPL NI/180625/PKW/1.2A	71
Gambar 5. 10.	(A) sampel setangan batuan NI/151224/PKW/1.3A; (B) sampel setangan batuan NI/151224/PKW/1.3B; (C-D) mikrograf hasil analisis petrografi sampel NI/151224/PKW/1.3A; dan (E-F) mikrograf hasil analisis petrografi sampel NI/151224/PKW/1.3B	72
Gambar 5. 11.	Hasil analisis XRD sampel bulk (A) kode sampel NI/180625/PKW/1.3; dan (B) kode sampel NI/050825/PKW/1.4.....	74
Gambar 5. 12.	Hasil analisis XRD dengan perlakuan clay-oriented pada sampel NI/080525/PKW/1.4	75
Gambar 5. 13.	Peta kelurusan Lapangan Panasbumi Dieng	76
Gambar 5. 14.	Peta geologi Gunung Pakuwaja dan sekitarnya	77
Gambar 5. 15.	(A) Citra visual kawah aktif Gunung Pakuwaja; dan (B) citra inframerah termal kawah aktif Gunung Pakuwaja.	79
Gambar 5. 16.	Peta manifestasi panas bumi di Kawah Gunung Pakuwaja. (A-B) solfatara Kawah Gunung Pakuwaja; (C-D) batuan permukaan beruap dan batuan teralterasi di Kawah Gunung Pakuwaja; (E-F) kawah erupsi dan batuan permukaan teralterasi Gunung Pakuwaja...	81
Gambar 5. 17.	(A) Lokasi pengambilan sampel fluida manifestasi panas bumi; (B) Lokasi pengambilan sampel fluida kondensat; dan (C) Lokasi pengambilan sampel gas NCG	84
Gambar 5. 18.	Peta tata guna lahan Kawah Gunung Pakuwaja dan sekitarnya	87
Gambar 5. 19.	(kanan) fotografi udara yang menunjukkan keterdekatan Kawah Pakuwaja dengan lahan pertanian dan hutan; (kiri) Dokumentasi yang menunjukkan batas antara lahan pertanian, tanah gundul, dan hutan.....	88

Gambar 5. 20.	Fotografi udara dari Puncak Gunung Pakuwaja yang menunjukkan kenampakan Telaga Cebong di sisi selatan (kiri) dan kenampakan Telaga Cebong yang menunjukkan adanya aktivitas warga seperti memancing.	89
Gambar 5. 21.	Dokumentasi infrastruktur bangunan berupa kepala sumur panas bumi yang berasosiasi dengan tingkat kemiringan lereng curam.....	90
Gambar 5. 22.	Peta infrastruktur dan jaringan jalan Gunung Pakuwaja dan sekitarnya	90
Gambar 5. 23.	(A) Dokumentasi dari Puncak Gunung Pakuwaja yang mengarah kearah utara dan memperlihatkan sumur HCE-11. (B) Dokumentasi kepala sumur HCE-11 yang berada di utara Gunung Pakuwaja.....	91
Gambar 5. 24.	Dokumentasi infrastruktur pemukiman. (A) pemukiman di Desa Sembungan yang berada di sisi selatan Gunung Pakuwaja; dan (B) Pemukiman di Desa Parikesit yang berada di sisi utara Gunung Pakuwaja	92
Gambar 5. 25.	Dokumentasi lereng Gunung Pakuwaja yang berdekatan dengan sekolah.....	93
Gambar 5. 26.	Dokumentasi pendaki dan basecamp pendakian Gunung Pakuwaja..	93
Gambar 5. 27.	Dokumentasi jalan provinsi pada daerah penelitian.....	94
Gambar 5. 28.	Dokumentasi jalan desa pada daerah penelitian	94
Gambar 6. 1.	Manifestasi panas bumi solfatara. (A) Pengamatan manifestasi di bulan Desember 2024; dan (B) pengamatan manifestasi di bulan Juni 2025	96
Gambar 6. 2.	Fotografi udara yang menunjukkan manifestasi panas bumi batuan permukaan beruap. (A) Pengamatan manifestasi di bulan Desember 2024; dan (B) pengamatan manifestasi di bulan Juni 2025.....	97
Gambar 6. 3.	(A) dokumentasi vegetasi kawah yang ada di Kawah Gunung Pakuwaja; dan (B) tumbuhan cantigi yang hadir sebagai vegetasi kawah di Gunung Pakuwaja	98
Gambar 6. 4.	Manifestasi panas bumi batuan permukaan teralterasi	99
Gambar 6. 5.	(A) Fotografi udara yang menunjukkan lokasi sampel batuan; (B) Lokasi pengambilan sampel batuan; dan (C) Sampel batuan NI/180625/PKW/1.2B yang menunjukkan adanya corak alterasi leaching	100
Gambar 6. 6.	Manifestasi panas bumi batuan permukaan teralterasi di bibir Kawah selatan Gunung Pakuwaja	101
Gambar 6. 7.	Fotografi udara yang menunjukkan keberadaan dari sisa kawah erupsi Gunung Pakuwaja.....	102
Gambar 6. 8.	(A) Fotografi udara yang menunjukkan kawah aktif Gunung Pakuwaja; dan (B) Pengukuran suhu manifestasi panas bumi yaitu kawah erupsi.....	103
Gambar 6. 9.	Dokumentasi pola persebaran manifestasi panas bumi solfatara di Kawah aktif Gunung Pakuwaja yang menunjukkan keterdekatan spasial dengan lahan pertanian dan tren kemiringan lereng	104
Gambar 6. 10.	Peta persebaran manifestasi panas bumi di Kawah Gunung Pakuwaja	105
Gambar 6. 11.	Diagram $N_2 - CO_2 - Ar$ menunjukkan plot dari fluida panas bumi di Gunung Pakuwaja mendekati nilai $N_2/Ar=800$ yang mana dapat mengindikasikan fluida lebih dipengaruhi oleh fluida magmatik. ...	106

Gambar 6. 12.	Plot asal-usul fluida panas bumi menggunakan diagram isotop deuterium vs oksigen yang menunjukkan fluida panas bumi di Gunung Pakuwaja lebih dipengaruhi oleh adanya interaksi fluida dengan batuan.....	107
Gambar 6. 13.	Grid geotermometer log (H ₂ /Ar) dan log (CH ₄ /CO ₂) yang menunjukkan fluida panas bumi di Gunung Pakuwaja merupakan fluida dua fasa yang lebih didominasi oleh fasa likuid	109
Gambar 6. 14.	Diagram terner CH ₄ - CO ₂ - H ₂ S	110
Gambar 6. 15.	Peta Kawasan Rawan Bencana, Infrastruktur, dan Titik Pengukuran Gas di Kawah Pakuwaja dan sekitarnya.....	112
Gambar 6. 16.	Peta Kawasan Rawan Bencana (KRB), tata guna lahan, dan titik gerakan massa di Gunung Pakuwaja	112
Gambar 6. 17.	Kemiringan lereng terjal di Kawah Gunung Pakuwaja	113
Gambar 6. 18.	(A) Fotografi udara yang menunjukkan titik gerakan massa; dan (B) Dokumentasi gerakan massa di sisi utara Kawah Pakuwaja berupa luncuran debris	116
Gambar 6. 19.	(A) Fotografi udara yang menunjukkan titik gerakan massa; dan (B) Dokumentasi gerakan massa di sisi utara Kawah Pakuwaja berupa luncuran batuan	117
Gambar 6. 20.	(A) Fotografi udara yang menunjukkan titik gerakan massa; dan (B) Dokumentasi gerakan massa di sisi barat Kawah Pakuwaja berupa luncuran batuan	118
Gambar 6. 21.	Gerakan massa di dinding kawah selatan Gunung Pakuwaja	119

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1.	Peneliti terdahulu dan relevansinya dengan penelitian.....	6
Tabel 3. 1.	Karakteristik pada manifestasi sistem panas bumi (Keam dkk., 2005)	16
Tabel 3. 2.	Jenis manifestasi panas bumi pada sistem panas bumi vulkanogenik (Keam dkk., 2005).....	17
Tabel 3. 3.	Potensi ancaman bahaya hidrotermal (Erfurt-Cooper, 2018)	33
Tabel 3. 4.	Aktivitas Kompleks Gunung api Dieng	35
Tabel 3. 5.	Klasifikasi gerakan massa (Varnes, 1978).....	40
Tabel 4. 1.	Bahan penelitian	43
Tabel 4. 2	Alat penelitian	44
Tabel 4. 3.	Parameter deskripsi fisik manifestasi (Scott, 2012)	51
Tabel 4. 4.	Klasifikasi kemiringan lereng (van Zuidam, 1983).....	58
Tabel 5. 1.	Pengukuran suhu udara dan manifestasi panas bumi di kawah aktif Gunung Pakuwaja	82
Tabel 5. 2.	Data hasil analisis kandungan sampel fluida manifestasi panas bumi	86
Tabel 5. 3.	Luas klasifikasi tata guna lahan di sekitar Gunung Pakuwaja.....	87
Tabel 6. 1.	Kelompok manifestasi panas bumi yang dijumpai di Kawah Pakuwaja	95
Tabel 6. 2.	Jenis gas H ₂ S dan CO ₂ di Kawah Pakuwaja dan konsentrasinya	120
Tabel 6. 3.	Data letusan Gunung Pakuwaja sejak tahun 1375	121