

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
SARI	xxii
ABSTRACT	xxiii
BAB I PENDAHULUAN.....	24
I.1 Latar Belakang	24
I.2 Rumusan Masalah	26
I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	26
I.4 Lokasi Penelitian.....	27
I.5 Batasan Penelitian	27
I.6 Penelitian Terdahulu	32
I.7 Keaslian Penelitian.....	34
I.8 Manfaat Penelitian	34
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	36
II.1 Geologi Regional	36
II.1.1 Fisiografi	36
II.1.2 Tatanan Tektonik	37
II.1.3 Stratigrafi Regional	38
II.2 Geologi Lapangan Panas Bumi Dieng.....	39

II.2.1 Geomorfologi	39
II.2.2 Stratigrafi	40
II.2.3 Struktur Geologi.....	41
II.2.4 Sistem Panas Bumi.....	43
BAB III DASAR TEORI DAN HIPOTESIS.....	46
III.1 Kondisi Reservoir Panas Bumi.....	46
III.1.1 Kondisi Alamiah	49
III.1.2 Kondisi Aktivitas Produksi dan Injeksi	49
III.2 Metode Seismik Mikro	50
III.2.1 Gelombang Seismik.....	52
III.2.2 Prinsip Metode Seismik Mikro	54
III.2.3 Parameter Gelombang Seismik.....	54
III.3.4 Anomali Seismik Mikro	55
III.3.5 Kejadian Gempa Bumi Mikro	55
III.3.5.1 Karakteristik Sinyal dan <i>Noise</i>	56
III.3.5.2 Diagram Wadati	57
III.3.5.3 Penentuan Hiposenter	58
III.3.6 Pemodelan Inversi dengan Metode Seismik Mikro.....	60
III.3 Karakteristik Struktur Geologi di Area Vulkanik	62
III.3.1 <i>Digital Elevation Model</i> (DEM).....	63
III.2.1.1 Analisis Penyinaran.....	65
III.2.1.2 Analisis Kelerengan	65
III.2.1.4 Analisis Kelurusan	66
III.3.2 Suhu Permukaan Tanah	67
III.3.2.1 <i>Top of Atmospheric</i> (TOA)	67

III.3.2.2 <i>Normalized Different Vegetation Index (NDVI)</i>	68
III.3.2.3 <i>Proportional Vegetation (PV)</i>	68
III.3.2.4 <i>Land Surface Emissivity (LSE)</i>	69
III.3.2.5 <i>Land Surface Temperature (LST)</i>	69
III.4 Hipotesis.....	70
BAB IV TAHAP DAN METODE PENELITIAN	71
IV.1 Bahan dan Alat.....	71
IV.2 Tahap Penelitian.....	71
IV.2.1 Tahap Pendahuluan	71
IV.2.2 Tahap Pengumpulan Data.....	73
IV.1.2.1 Pengumpulan Data Primer	73
IV.1.2.2 Pengumpulan Data Sekunder.....	75
IV.1.2.3 Pengumpulan Data Pendukung.....	75
IV.2.3 Tahap Pengolahan Data	75
IV.1.3.1 Metode Seismik Mikro	76
IV. 1.3.1.1 Penentuan Komponen Kejadian Gempa Bumi Mikro	77
IV. 1.3.1.2 Penentuan Waktu Tiba Gelombang	82
IV. 1.3.1.3 Menguji Kualitas Hasil <i>Picking</i> Waktu Tiba Gelombang....	88
IV. 1.3.1.4 Menentukan Lokasi Hiposenter Gempa Bumi Mikro.....	91
IV. 1.3.1.5 Persebaran Lokasi Hiposenter Gempa Bumi Mikro	95
IV.1.3.2 Metode Penginderaan Jauh	96
IV. 1.3.2.1 Citra <i>Digital Elevation Model (DEM)</i>	96
IV. 1.3.2.2 Citra Landsat-9.....	97
IV.1.3.3 Pengamatan Satuan Batuan dan Manifestasi Panas Bumi	99
IV.2.4 Tahap Analisis dan Interpretasi Data	99

IV.2.5 Tahap Pelaporan Hasil.....	102
IV.3 Tata Waktu Penelitian	102
BAB V PENYAJIAN DAN ANALISIS DATA.....	106
V.1 Data Metode Seismik Mikro	106
V.1.1 Pengamatan Gelombang Primer (P) dan Gelombang Sekunder (S)..	108
V.1.2 Kecepatan Gelombang Primer (Vp) dan Gelombang Sekunder (Vs)	110
V.1.3 Lokasi Hiposenter	115
V.1.5 Nilai Magnitudo Gempa Bumi Mikro	119
V.2 Data Geologi Permukaan.....	122
V.2.1 Pengamatan Satuan Batuan.....	125
V.2.2 Analisis Struktur Geologi	128
V.2.3 Pengamatan Manifestasi Panas Bumi	130
V.3 Data Kelurusan dan Densitas Kelurusan	136
V.3.1 Analisis Penyinaran	136
V.3.2 Analisis Kelurusan	139
V.3.2 Analisis Kelerengan.....	142
V.3.3 Analisis Densitas Kelurusan	145
V.4 Data Suhu Permukaan Tanah	149
V.4.1 Analisis Citra Landsat-9	149
BAB VI HASIL DAN PEMBAHASAN	153
VI.1 Magnitudo Gempa Bumi Mikro.....	153
VI.1.1 Nilai Magnitudo < 1 SR	154
VI.1.2 Nilai Magnitudo 1,01 SR– 2,50 SR.....	154
VI.1.3 Nilai Magnitudo > 2,50 SR	155
VI.2 Model Distribusi Hiposenter Gempa Bumi Mikro.....	158

VI.2.1 Distribusi Hiposenter Secara Horizontal	158
VI.2.2 Distribusi Hiposenter Secara Vertikal	165
VI.3 Arah Pergerakan Fluida Berdasarkan Hiposenter pada Periode Waktu..	167
VI.3.1 Periode Pertama (Mei–Juni 2021)	168
VI.3.2 Periode Kedua (Juni–Juli 2021)	168
VI.3.3 Periode Ketiga (Juli–Agustus 2021).....	169
VI.3.4 Visualisasi Penampang Geologi dengan Integrasi Data Hiposenter	174
VI.3.4.1 Penampang Distribusi Hiposenter Gempa Bumi Mikro	174
VI.3.4.2 Analisis Keterkaitan Hiposenter terhadap Zona Reservoir.....	175
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN	178
VII.1 Kesimpulan	178
VII.2 Saran	180
VII.2.1 Saran untuk Penelitian Selanjutnya.....	180
VII.2.2 Saran untuk Pengelolaan Lapangan Panas Bumi (Perusahaan)	182
DAFTAR PUSTAKA	184
LAMPIRAN A.....	194
LAMPIRAN B	306
LAMPIRAN C	325
LAMPIRAN D	350
LAMPIRAN E	368
LAMPIRAN F	370

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Urutan stratigrafi batuan dari tua ke muda menurut Nurpratama dkk. (2015)	40
Tabel 3.1 Klasifikasi nilai porositas (Koesoemadinata, 1978).....	47
Tabel 3.2 Klasifikasi nilai permeabilitas (Koesoemadinata, 1978).....	48
Tabel 3.3 Karakter sumber gempa bumi berdasarkan magnitudo pada metode seismik mikro (diterjemahkan dari Kayal, 2008).....	51
Tabel 3.4 Karakter sumber gempa bumi berdasarkan aktivitas alami dan aktivitas manusia pada metode seismik mikro (SESAME, 2004)	52
Tabel 3.5 Klasifikasi kemiringan lereng menurut Van Zuidam (1983)	65
Tabel 4.1 Karakteristik sumber gempa yang disebabkan dari aktivitas terinduksi di lapangan panas bumi dan aktivitas vulkanik	80
Tabel 4.2 Catatan keterangan kualitas data dari rekaman seismogram.....	84
Tabel 4.3 Pencatatan hasil penentuan waktu tiba gelombang dan magnitudo pada 23 Juni 2021 pukul 07:12	88
Tabel 4.4 Data diagram Wadati dari penentuan waktu tiba gelombang pada 23 Juni 2021 pukul 07:12.....	89
Tabel 4.5 Kecepatan gelombang primer (Vp) pada lingkungan vulkanik berdasarkan penelitian Nugraha dkk. (2019).....	93
Tabel 4.6 Bahan yang diperlukan dalam penelitian beserta fungsinya	103
Tabel 4.7 Alat yang diperlukan dalam penelitian beserta fungsinya	103
Tabel 4.8 Tata waktu penelitian	105
Tabel 5.1 Keterkaitan lokasi stasiun seismik mikro, sumur produksi dan injeksi, serta fitur geologi di Lapangan Panas Bumi Dieng.....	106
Tabel 5.2 Jumlah pengamatan gelombang primer (P) dan gelombang sekunder (S) pada setiap periode	109
Tabel 5.3 Kecepatan gelombang pada 5 lapisan kedalaman dengan rasio Vp/Vs sebesar 1.629	113
Tabel 5.4 Nilai input pada masing-masing parameter algoritma LINE pada perangkat lunak <i>PCI Geomatica 2018</i> (Thannoun, 2013).....	139



Tabel 5.5 Klasifikasi kemiringan lereng berdasarkan Van Zuidam (1983)	142
Tabel 5.6 Klasifikasi densitas kelurusan di daerah penelitian yang mengacu pada Soengkono (1999) serta Suryantini dan Wibowo (2010).	145
Tabel 5.7 Manifestasi panas bumi terhadap kelas densitas kelurusan	147

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1 Peta lokasi penelitian panas bumi Dieng dalam citra Basemap ESRI 2019 yang menampilkan batas desa	29
Gambar 1.2 Peta lokasi stasiun metode seismik mikro di area penelitian.....	30
Gambar 1.3 Peta lokasi sumur produksi dan injeksi di lokasi penelitian (digambar ulang dari Sondakh, 2018).....	31
Gambar 2.1 Peta fisiografi Jawa Tengah (digambar ulang dan diterjemahkan dari Van Bemmelen, 1949)	37
Gambar 2.2 Tatanan tektonik pulau Jawa (Simandjuntak dan Barber, 1996 dimodifikasi dalam Setijadji, 2010).....	38
Gambar 2.3 Stratigrafi regional Zona Pegunungan Serayu Utara dan Selatan, kompilasi dari berbagai referensi oleh Husein dkk. (2013).....	39
Gambar 2.4 Peta Geologi WKP Dieng hasil modifikasi dari Nurpratama dkk., 2015 (Shalihin dkk., 2020)	42
Gambar 2.5 Peta hasil analisis metode geofisika yang terintegrasi dengan data geologi: a) Peta citra DEM yang ditampilkan dengan data gravitasi yang telah dianalisis <i>Second Vertical Derivative</i> di mana garis biru merupakan interpretasi struktur geologi dan b) Integrasi struktur geologi dari hasil data gravitasi (garis biru), data MT (garis hitam), dan data geologi (garis merah) (Nurpratama dan Darusman, 2015)	43
Gambar 2.6 Model tentatif panas bumi Dieng, yang terdiri atas: a) Arah penampang melintang (cross-section) yang berasal dari data geologi permukaan dan b) Model sistem panas bumi pada area Sileri, area Sikidang–Merdada, dan area Pakuwaja (digambar ulang dan diterjemahkan dari Boedihardi dkk., 1991)	44
Gambar 2.7 Model tentatif sistem panas bumi Dieng yang menunjukkan kondisi fluida di area produktif yaitu area Sileri dan area Sikidang (digambar ulang dan diterjemahkan dari Layman dkk., 2002)	45

Gambar 3.1 Konsep kejadian gempa bumi mikro didasarkan pada rekaman gelombang seismik yang merambat dari sumber gempa dan terekam oleh tiga stasiun seismograf yang terletak di permukaan (digambar ulang dari Halim dkk., 2020).....	50
Gambar 3.2 Proses pemilihan (<i>picking</i>) pada waktu tiba gelombang primer (t_p), waktu tiba gelombang sekunder (t_s), dengan kondisi kedua gelombang down polarity (PD/SD) dan <i>noise</i> (Juanda dkk., 2015) .	56
Gambar 3.3 Diagram Wadati (digambar ulang dan dimodifikasi dari Hurukawa, 2008).....	58
Gambar 3.4 Distribusi hiposenter dari kejadian gempa bumi mikro secara horizontal di permukaan dengan menggunakan metode a) <i>Geiger</i> dan b) JHD (Akbar dkk., 2015).....	60
Gambar 3.5 Pemodelan inversi dengan metode seismik mikro: a) Hiposenter berdasarkan kedalaman (Verdhora dan Nugraha, 2014) dan b) Hiposenter berdasarkan periode waktu (Annisa dkk., 2021).....	62
Gambar 3.6 Perbandingan berbagai cara untuk mengumpulkan data <i>Digital Elevation Model</i> (DEM): keterangan warna yang lebih gelap menunjukkan bahwa proses pengumpulan data tersebut memiliki waktu yang lama, sementara warna yang lebih terang menunjukkan proses pengumpulan data lebih cepat (Zhou, 2017)	64
Gambar 4.1 Diagram alir tahapan penentuan dan analisis distribusi hiposenter gempa bumi mikro menggunakan metode seismik mikro.....	76
Gambar 4.2 Data seismik pada 23 Juni 2021 yang telah berhasil diunggah ke dalam perangkat lunak <i>Geopsy</i>	77
Gambar 4.3 Proses memunculkan grafik sinyal rekaman seismogram pada 23 Juni 2021 ke dalam <i>Geopsy</i>	78
Gambar 4.4 Hasil grafik sinyal rekaman seismogram pada 23 Juni 2021	78
Gambar 4.5 Proses melakukan <i>filter</i> pada gelombang seismik pada 23 Juni 2021	79
Gambar 4.6 <i>Filter</i> gelombang seismik dengan parameter frekuensi gelombang pada 23 Juni 2021	79

Gambar 4.7 Hasil data rekaman seismogram pada 23 Juni 2021 setelah dilakukan <i>filter</i>	80
Gambar 4.8 Analisis kejadian gempa bumi mikro pada 23 Juni 2021 dengan komponen vertikal (Z)	81
Gambar 4.9 Eksport data gelombang seismik dengan format (*.mseed *.msd*).....	82
Gambar 4.10 Perangkat lunak <i>Seisgram2K70</i>	83
Gambar 4.11 Data rekaman gelombang seismik pada 23 Juni 2021 dengan komponen vertikal (Z).....	83
Gambar 4.12 Pemilihan (<i>picking</i>) waktu tiba gelombang primer (t_p) dan waktu tiba gelombang sekunder (t_s), pada 23 Juni 2021 pukul 07:12.....	85
Gambar 4.13 Pemilihan (<i>picking</i>) waktu durasi sinyal pada 23 Juni 2021 pukul 07:12	86
Gambar 4.14 Pemilihan (<i>picking</i>) waktu tiba gelombang primer (t_p), waktu tiba gelombang sekunder (t_s), dan durasi sinyal pada setiap stasiun perekaman gelombang seismik pada 23 Juni 2021 pukul 07:12	87
Gambar 4.15 Hasil diagram wadati kejadian gempa 25 Mei 2021 pada pukul 02:10	90
Gambar 4.16 Format penulisan <i>script</i> pada data stasiun.....	92
Gambar 4.17 Format penulisan <i>script</i> pada data <i>velocity</i>	92
Gambar 4.18 Format penulisan <i>script</i> pada data <i>arrival</i>	93
Gambar 4.19 Hasil inversi dari prinsip <i>Geiger</i>	94
Gambar 4.20 Persebaran lokasi hiposenter gempa bumi mikro secara horizontal	95
Gambar 4.21 Persebaran lokasi hiposenter gempa bumi mikro secara vertikal...	95
Gambar 4.22 Diagram alir penelitian	104
Gambar 5.1 Peta persebaran stasiun seismik mikro dengan memperlihatkan hubungan antara lokasi stasiun seismik mikro, fitur geologi, serta posisi sumur produksi (dengan lingkaran merah) dan sumur injeksi (dengan lingkaran biru) di Lapangan Panas Bumi Dieng.....	107
Gambar 5.2 Skema pendekatan dalam penentuan fokus area penelitian.....	108

- Gambar 5.3** Diagram wadati pada 527 kejadian gempa yang terekam di setiap seismogram pada tanggal 3 Mei 2021 hingga 3 Agustus 2021110
- Gambar 5.4** Diagram wadati pada 298 kejadian gempa yang terekam di setiap seismogram pada tanggal 3 Mei 2021 hingga 2 Juni 2021 dan selisih waktu tiba gelombang P dan S kurang dari 3 detik111
- Gambar 5.5** Diagram wadati pada 156 kejadian gempa yang terekam di setiap seismogram pada tanggal 3 Juni 2021 hingga 3 Juli 2021 dan selisih waktu tiba gelombang P dan S kurang dari 3 detik111
- Gambar 5.6** Diagram wadati pada 72 kejadian gempa yang terekam di setiap seismogram pada tanggal 4 Juli 2021 hingga 3 Agustus 2021 dan selisih waktu tiba gelombang P dan S kurang dari 3 detik111
- Gambar 5.7** Model satu dimensi pada analisis kedalaman: a) Nilai kecepatan gelombang primer dan gelombang sekunder pada setiap kedalaman, b) Estimasi porositas tiap lapisan yang diturunkan dari kecepatan gelombang, mengacu pada hubungan antara kecepatan gelombang dan porositas pada lingkungan panas bumi sebagaimana dijelaskan oleh Muksin dkk. (2013).....114
- Gambar 5.8** Hasil *Root Mean Square (RMS) error* dari lokasi hiposenter berdasarkan prinsip *Geiger*.....115
- Gambar 5.9** Peta lokasi hiposenter gempa bumi mikro secara horizontal yang berada pada area sumur produksi, sumur injeksi, serta di sekitar area reservoir yang ditentukan berdasarkan prinsip *Geiger*.....117
- Gambar 5.10** Nilai kedalaman dari lokasi hiposenter gempa bumi mikro yang terjadi pada berbagai waktu, menunjukkan distribusi kedalaman sepanjang periode pemantauan. Rata-rata kedalaman hiposenter tersebut adalah 2,91 km yang termasuk dalam zona reservoir panas bumi.....118
- Gambar 5.11** Peta lokasi kejadian gempa bumi mikro secara horizontal berdasarkan nilai magnitudo: gempa yang disebabkan oleh aktivitas produksi dan injeksi (bulat biru), sedangkan gempa yang dipicu oleh aktivitas vulkanik atau tektonik (bulat merah).....120

- Gambar 5.12** Nilai magnitudo dari hiposenter gempa bumi mikro yang terjadi pada berbagai waktu, menunjukkan variasi magnitudo sepanjang periode pemantauan. Total 111 kejadian gempa bumi mikro, terdapat 4 kejadian dengan nilai magnitudo lebih dari 3 SR.....121
- Gambar 5.13** Peta geologi Lapangan Panas Bumi Dieng (dimodifikasi dari Nurpratama dkk. (2015) dengan penambahan titik lokasi manifestasi, sumur produksi, dan sumur injeksi berdasarkan data dari Sondakh (2018)).....123
- Gambar 5.14** Peta area permeabel yang didasarkan pada struktur geologi serta lokasi sumur produksi dan sumur injeksi (dimodifikasi dari Sondakh (2018) dan Supijo dkk. (2024), dengan penambahan area prospek panas bumi Dieng dari Layman dkk. (2002)).....124
- Gambar 5.15** Satuan lava andesit Pagerkandang: a) Singkapan lava andesit dengan struktur masif (STA 1) dan b) Sampel dari bagian singkapan lava andesit yang bertekstur aphanitic dengan kristalinitas hipokrystallin125
- Gambar 5.16** Satuan batuan breksi tuf Prambanan: a) Singkapan breksi tuf dengan struktur masif (STA 14) dan b) Sampel dari bagian singkapan breksi tuf yang memiliki tekstur dengan ukuran butir sedang hingga kasar tersusun dari fragmen tuf yang terikat dalam matriks126
- Gambar 5.17** Satuan endapan aluvial: a) Singkapan berupa daerah pengendapan aluvial dengan struktur berlapis (STA 16), b) Sampel dari endapan aluvial yang bertekstur halus dengan pecahan tuf berukuran lapili127
- Gambar 5.18** Peta struktur geologi di area penelitian berdasarkan peneliti terdahulu: a) Boedihardi dkk. (1991) menunjukkan keberadaan sesar normal, dan b) Nurpratama dkk. (2015) mengidentifikasi sesar normal, sesar geser, dan struktur vulkanik129
- Gambar 5.19** Manifestasi panas bumi berupa fumarol di Siglagah.....131
- Gambar 5.20** Manifestasi panas bumi berupa solfatara di Pakuwaja.....132

Gambar 5.21 Manifestasi panas bumi berupa mata air panas di Kawah Sileri bagian timur.....	133
Gambar 5.22 Manifestasi panas bumi berupa kaipohan di Sikendang.....	134
Gambar 5.23 Peta lokasi pengamatan manifestasi panas bumi di lapangan	135
Gambar 5.24 Peta citra DEMNAS yang telah dianalisis penyinaran (<i>hillshade</i>) dengan sudut <i>azimuth</i> 0°, 45°, 90°, dan 135°	137
Gambar 5.25 Peta citra DEMNAS dari hasil penggabungan (<i>weighted sum</i>) dari <i>hillshade</i> dengan sudut <i>azimuth</i> 0°, 45°, 90°, dan 135°	138
Gambar 5.26 Peta kelurusan di area penelitian yang dibuat dengan menggunakan perangkat lunak <i>PCI Geomatica 2018</i>	140
Gambar 5.27 Diagram mawar dan data statistik kelurusan daerah penelitian dibuat dengan menggunakan perangkat lunak <i>Rock Works</i>	141
Gambar 5.28 Peta kemiringan lereng (<i>slope</i>) pada daerah penelitian berdasarkan klasifikasi Van Zuidam (1983).....	143
Gambar 5.29 Peta arah hadap lereng (<i>aspect</i>) pada daerah penelitian	144
Gambar 5.30 Peta densitas kelurusan pada daerah penelitian	146
Gambar 5.31 Peta densitas kelurusan yang diintegrasikan dengan struktur geologi dan lokasi manifestasi panas bumi pada daerah penelitian	148
Gambar 5.32 Korelasi antara: a) Peta indeks vegetasi atau <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI) dan b) Suhu permukaan tanah atau <i>Land Surface Temperature</i> (LST) pada area penelitian	151
Gambar 5.33 Korelasi antara: a) Peta densitas kelurusan yang diintegrasikan dengan struktur geologi dan lokasi manifestasi panas bumi, dan b) Suhu permukaan tanah atau <i>Land Surface Temperature</i> (LST) yang diintegrasikan dengan lokasi manifestasi panas bumi pada area penelitian	152
Gambar 6.1 Peta persebaran kejadian gempa bumi mikro berdasarkan nilai magnitudo selama periode pengukuran di area penelitian.....	156
Gambar 6.2 Peta distribusi hiposenter berdasarkan nilai magnitudo: a) Magnitudo 0,22 SR-1,00 SR yang menunjukkan aktivitas seismik yang berasal dari sumur produksi dan sumur injeksi, b) Magnitudo 1,01 SR-2,50 SR	

mencerminkan aktivitas seismik yang berasal dari kondisi reservoir panas bumi, dan c) Magnitudo 2,51 SR-3,29 SR terkait dengan aktivitas seismik yang berasosiasi dengan struktur geologi serta manifestasi panas bumi di area penelitian157

Gambar 6.3 Peta distribusi hiposenter gempa bumi mikro yang telah diintegrasikan dengan hasil analisis citra dan data pendukung, seperti area reservoir panas bumi menurut Layman dkk. (2002) serta lokasi sumur produksi dan injeksi yang telah dimodifikasi berdasarkan Sondakh (2018).160

Gambar 6.4 Korelasi antara: a) Peta distribusi hiposenter gempa bumi mikro secara horizontal di area penelitian, yang menunjukkan adanya zona permeabel berdasarkan struktur geologi serta lokasi sumur produksi dan sumur injeksi menurut Supijo dkk. (2024) dan b) Peta distribusi hiposenter gempa bumi mikro berdasarkan kedalaman di area penelitian (kotak berwarna merah)162

Gambar 6.5 Distribusi hiposenter gempa bumi mikro secara horizontal yang menggambarkan aktivitas seismik di area reservoir (lingkaran berwarna biru) lokasi sumur produksi dan injeksi (lingkaran berwarna kuning), serta struktur geologi (lingkaran berwarna hijau)163

Gambar 6.6 Pendugaan area permeabel berdasarkan hiposenter gempa bumi mikro di area penelitian.....164

Gambar 6.7 Distribusi hiposenter gempa bumi mikro secara vertikal berdasarkan kedalaman yang dihitung menggunakan metode *Geiger* di area penelitian selama periode 3 Mei hingga 3 Agustus 202166

Gambar 6.8 Distribusi hiposenter gempa bumi mikro berdasarkan pengukuran pada periode Mei hingga Juni 2021, yang dimodelkan pada permukaan dengan menggunakan overlay pada peta *Digital Elevation Model (DEM)*.....168

Gambar 6.9 Distribusi hiposenter gempa bumi mikro berdasarkan pengukuran pada periode Juni hingga Juli 2021, yang dimodelkan pada permukaan dengan menggunakan *overlay* pada peta *Digital Elevation Model (DEM)*.....169

- Gambar 6.10** Distribusi hiposenter gempa bumi mikro berdasarkan pengukuran pada periode Juli hingga Agustus 2021, yang dimodelkan pada permukaan dengan menggunakan *overlay* pada peta *Digital Elevation Model (DEM)*.....170
- Gambar 6.11** Distribusi hiposenter gempa bumi mikro berdasarkan pengukuran pada periode Mei hingga Agustus 2021171
- Gambar 6.12** Korelasi antara: a) Distribusi hiposenter gempa bumi mikro pada skala periode waktu perbulan, dan b) Hasil analisis citra serta data pendukung lainnya, seperti area reservoir panas bumi menurut Layman dkk. (2002) serta lokasi sumur produksi dan injeksi yang telah dimodifikasi berdasarkan Sondakh (2018)172
- Gambar 6.13** Peta integrasi data hiposenter gempa bumi mikro berdasarkan periode waktu perbulan, struktur geologi, lokasi manifestasi, sumur produksi, dan sumur injeksi, yang mengindikasikan arah pergerakan fluida hidrotermal dari tenggara menuju barat laut hingga mencapai zona-zona permeabel utama di dalam reservoir Sileri dan reservoir Sikidang.....173
- Gambar 6.14** Model geologi bawah permukaan berdasarkan penampang melintang (*cross-section*) dari peta geologi permukaan oleh Shalihin dkk. (2020) yang memuat informasi tentang persebaran batuan, struktur tektonik, struktur vulkanik, dan manifestasi permukaan. Model tersebut juga terintegrasi dengan data aktivitas seismik berupa distribusi hiposenter gempa bumi mikro berdasarkan periode waktu perbulan177