

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
SARI	xv
BAB I: PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	3
I.3. Maksud dan Tujuan	3
I.4. Manfaat Penelitian	4
I.5. Batasan Penelitian	5
I.6. Peneliti Terdahulu	6
BAB II: GEOLOGI	10
II.1. Pendahuluan	10
II.2. Fisiografi	12
II.3. Stratigrafi	14
II.3.1. Kelompok Pra-Tondano	14
II.3.2. Kelompok Tondano	15
II.3.3. Kelompok Pasca-Tondano	16
II.4. Struktur Geologi	21
II.5. Manifestasi Panas Bumi	26
BAB III: LANDASAN TEORI	31
III.1. Sistem Panas Bumi	31

III.1.1. Konsep dasar sistem panas bumi	31
III.1.2. Sistem panas bumi pada medan vulkanik	32
III.2. Alterasi Hidrotermal	35
III.2.1. Intensitas dan tingkat alterasi	35
III.2.2. <i>Style</i> alterasi hidrotermal	37
III.2.3. Perubahan pada batuan akibat alterasi hidrotermal	38
III.2.4. Alterasi hidrotermal dalam sistem panas bumi	40
<b>BAB IV: METODOLOGI PENELITIAN</b>	<b>43</b>
IV.1. Data	43
IV.1.1. Data primer	43
IV.1.2. Data sekunder	45
IV.2. Tahapan Penelitian	47
IV.3. Metode Analisis Batuan	50
IV.3.1. Deskripsi megaskopis	50
IV.3.2. Analisis petrografi	50
IV.3.3. Analisis difraksi sinar-X (XRD)	54
IV.4. Metode Analisis Data Sekunder	59
IV.4.1. Data lokasi dan arah sumur	59
IV.4.2. Data temperatur dan tekanan stabil	59
IV.4.3. Studi alterasi hidrotermal sumur lain	60
<b>BAB V: STRATIGRAFI BAWAH PERMUKAAN</b>	<b>61</b>
V.1. Stratigrafi	61
V.1.1. Tuf gelas	62
V.1.2. Lava andesit	64
V.1.3. Tuf litik	66
V.1.4. Tuf gelas pumisan	68
V.1.5. Tuf kristal	70

<b>BAB VI: ALTERASI HIDROTHERMAL BAWAH PERMUKAAN</b>	<b>71</b>
VI.1. Pendahuluan	71
VI.2. Kestabilan Komponen Batuan Primer	72
VI.3. Intensitas Alterasi	75
VI.4. <i>Style</i> Alterasi Hidrotermal	76
VI.5. Variasi Mineral Hidrotermal	78
IV.5.1. Mineral karbonat	78
IV.5.2. Mineral silika	80
IV.5.3. Mineral kalk-silikat	82
IV.5.4. Mineral sulfida	86
IV.5.5. Mineral sulfat	86
IV.5.6. Oksida besi	87
IV.5.7. Mineral lempung dan silikat lembaran	88
VI.6. Paragenesis Mineral Pengisi	95
<b>BAB VII: KARAKTERISTIK SISTEM PANAS BUMI LAPANGAN “YMS”</b>	<b>99</b>
VII.1. Kondisi Masa Lampau	99
VII.1.1. Temperatur	99
VII.1.2. Permeabilitas	104
VII.1.3. Fluida hidrotermal	105
VII.2. Kondisi Saat Ini	107
VII.2.1. Temperatur	107
VII.2.2. Permeabilitas	114
VII.2.3. Fluida hidrotermal	117
VII.3. Dinamika Sistem Panas Bumi Lapangan “YMS”	117
VII.3.1. Temperatur	117
VII.3.2. Permeabilitas	124
VII.3.3. Fluida hidrotermal	124

VII.4. Aplikasi Studi Alterasi Hidrotermal Dalam Pengembangan Lapangan Panas Bumi “YMS”	124
BAB VIII: KESIMPULAN	127
VIII.1. Posisi Sumur Terhadap Hidrologi Lapangan Panas Bumi “YMS”	127
VIII.2. Dinamika Sistem Panas Bumi Lapangan Panas Bumi “YMS”	128
VIII.3. Aplikasi Studi Alterasi Hidrotermal Dalam Pengembangan Lapangan Panas Bumi “YMS”	129
DAFTAR PUSTAKA	131
LAMPIRAN 1: Deskripsi Sampel <i>Cutting Chart</i>	137
LAMPIRAN 2: Prosedur Preparasi Sayatan Tipis	152
LAMPIRAN 3: Prosedur Preparasi Sampel XRD	153
LAMPIRAN 4: Contoh Perhitungan <i>Boiling per Depth</i>	156
LAMPIRAN 5: Deskripsi Petrografi	158
LAMPIRAN 6: Hasil Analisis XRD	252
LAMPIRAN 7: Ringkasan Catatan Pengamatan Lapangan	306

## DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1.	Peta lokasi dan proyeksi trayektori sumur pada lapangan panas bumi “YMS”.	9
Gambar II.1.	Lokasi lapangan Lahendong dan “YMS” beserta gunung api di sekitarnya pada citra Landsat.	11
Gambar II.2.	Kenampakan morfologi depresi dari kawah Gunung Umeh yang difoto dari sisi timur.	14
Gambar II.3.	Peta geologi lapangan panas bumi “YMS” yang ditampilkan dengan citra IFSAR.	18
Gambar II.4.	Peta geologi lapangan panas bumi “YMS”.	19
Gambar II.5.	Beberapa singkapan dan kenampakan morfologi yang ditemukan di lapangan panas bumi “YMS” (A-H) dan peta lokasi.	22
Gambar II.6.	Beberapa manifestasi yang ditemukan di lapangan panas bumi “YMS” (A-F) dan peta lokasi.	29
Gambar III.1.	Ringkasan kisaran temperatur pembentukan beberapa mineral hidrotermal.	42
Gambar IV.1.	Bagan alur penelitian.	48
Gambar IV.2.	Bagian-bagian mikroskop polarisasi yang dipakai pada pengamatan ortoskop (polarisasi sejajar dan bersilang) dan konoskop.	52
Gambar IV.3.	Sinar-X yang terdifraksi oleh bidang atom.	56
Gambar IV.4.	Bagian-bagian difraktometri sinar-X.	57
Gambar V.1.	Stratigrafi sumur YMS 41, YMS 44, dan YMS 46.	61
Gambar V.2.	Fragmen plagioklas yang telah terganti sebagian oleh epidot, yang dikelilingi oleh matriks gelas vulkanik pada sumur YMS 46 kedalaman 2500 mKU.	62
Gambar V.3.	Klorit yang mengisi lubang pada matriks gelas vulkanik pada sumur YMS 44 kedalaman 1802.	63
Gambar V.4.	Fragmen plagioklas yang telah terganti sebagian oleh epidot, yang dikelilingi oleh matriks gelas vulkanik pada sumur YMS 41 kedalaman 751 mKU.	64

Gambar V.5.	Mikrolit plagioklas pada lava andesit yang telah tergantikan oleh epidot pada sumur YMS 46 kedalaman 2101 mKU.	65
Gambar V.6.	Fragmen plagioklas pada lava andesit yang telah terganti oleh klorit dan kalsit pada sumur YMS 44 kedalaman 1502 mKU.	65
Gambar V.7.	Susunan mikrolit plagioklas yang membentuk tekstur trakhitik pada sumur YMS 44 kedalaman 1100 mKU.	66
Gambar V.8.	Mineral plagioklas pada fragmen batuan yang tergantikan oleh klorit pada sumur YMS 46 kedalaman 1891 mKU.	67
Gambar V.9.	Fragmen plagioklas yang telah terganti oleh klorit dan kalsit pada sumur YMS 41 kedalaman 1375 mKU.	68
Gambar V.10.	Kenampakan pumis pada sumur YMS 46 pada kedalaman 197 mKU yang diamati menggunakan mikroskop binokuler.	69
Gambar V.11.	Kenampakan pumis pada sumur YMS 46 pada kedalaman 190 mKU yang diamati menggunakan mikroskop polarisasi.	69
Gambar V.12.	Kenampakan pumis pada sampel setangan yang didapat pada singkapan.	69
Gambar V.13.	Kenampakan kuarsa dan pirit pada unit tuf kristal pada saat deskripsi megaskopis sumur YMS 46 pada kedalaman 33 mKU.	70
Gambar V.14.	Plagioklas yang terganti sebagian oleh klorit pada sumur YMS 44 pada kedalaman 199 mKU yang diamati dengan mikroskop polarisasi.	70
Gambar VI.1.	Fragmen plagioklas yang terganti sebagian oleh kalsit pada sumur YMS 44 pada kedalaman 1202 mKU.	73
Gambar VI.2.	Kenampakan piroksen yang berasosiasi dengan plagioklas pada sumur YMS 46 pada kedalaman 190 mKU.	74
Gambar VI.3.	Fragmen batuan yang sebagiannya teralterasi menjadi klorit pada sumur YMS 41 pada kedalaman 1025 mKU.	74
Gambar VI.4.	Kenampakan gelas vulkanik pada sumur YMS 46 pada kedalaman 610 mKU.	75

Gambar VI.5.	Kenampakan hasil proses pencucian mineral plagioklas pada sumur YMS 41 pada kedalaman 451 mKU (kiri) dan pada kedalaman 1675 mKU (kanan).	77
Gambar VI.6.	Kenampakan kalsit yang dipotong oleh urat kuarsa pada sumur YMS 46 pada kedalaman 2500 mKU.	80
Gambar VI.7.	Kenampakan kuarsa pada sumur YMS 44 pada kedalaman 1601 mKU.	81
Gambar VI.8.	Kenampakan aktinolit pada sumur YMS 41 kedalaman 1175 mKU.	82
Gambar VI.9.	Kenampakan epidot pada sumur YMS 44 kedalaman 1001 mKU.	83
Gambar VI.10.	Kenampakan prehnit pada sumur YMS 46 kedalaman 790 mKU.	84
Gambar VI.11.	Wairakit yang mengganti mineral plagioklas pada sumur YMS 41 kedalaman 601 mKU.	85
Gambar VI.12.	Kenampakan stilbit pada sumur YMS 46 kedalaman 610 mKU.	85
Gambar VI.13.	Kenampakan pirit pada sumur YMS 41 pada kedalaman 451 mKU.	86
Gambar VI.14.	Kenampakan anhidrit pada sumur YMS 41 pada kedalaman 1975 mKU.	87
Gambar VI.15.	Kenampakan hematit yang menggantikan plagioklas pada sumur YMS 46 kedalaman 1291 mKU.	88
Gambar VI.16.	Hasil analisis XRD yang menunjukkan hadirnya smektit pada sumur YMS 46 pada kedalaman 190 mKU.	89
Gambar VI.17.	Klorit yang mengganti mineral plagioklas pada sumur YMS 41 kedalaman 1375 mKU.	90
Gambar VI.18.	Hasil analisis XRD yang menunjukkan hadirnya klorit pada sumur YMS 44 pada kedalaman 1001 mKU.	90
Gambar VI.19.	Hasil analisis XRD yang menunjukkan hadirnya ilit dan klorit pada sumur YMS 46 pada kedalaman 400 mKU.	91
Gambar VI.20.	Log geologi sumur YMS 41.	92
Gambar VI.21.	Log geologi sumur YMS 44.	93
Gambar VI.22.	Log geologi sumur YMS 46.	94

Gambar VI.23.	Kenampakan paragenesis mineral.	98
Gambar VI.24.	Kenampakan paragenesis mineral.	98
Gambar VII.1.	Peta kontur kehadiran beberapa mineral hidrotermal disertai peta struktur geologi dan lokasi manifestasi permukaan.	102
Gambar VII.2.	Penampang yang berisikan kehadiran awal mineral ilit, wairakit, prehnit, epidot, dan aktinolit serta kehadiran akhir mineral smektit.	103
Gambar VII.3.	Kehadiran mineral anhidrit dan pencucian pada sumur YMS 41, YMS 44, dan YMS 46.	107
Gambar VII.4.	Temperatur stabil sumur YMS 41, YMS 44, dan YMS 46.	109
Gambar VII.5.	Peta kontur temperatur stabil sumur disertai peta struktur geologi dan lokasi manifestasi permukaan.	111
Gambar VII.6.	Penampang temperatur stabil lapangan panas bumi “YMS” yang ditampilkan dengan zona kehadiran mineral lempung.	112
Gambar VII.7.	Penampang sumur yang berisikan stratigrafi, struktur geologi, dan zona hilang sirkulasi yang ada dan peta berisikan citra IFSAR, zona hilang sirkulasi, dan struktur geologi.	116
Gambar VII.8.	Hasil pengeplotan temperatur stabil dan paleotemperatur pada sumur YMS 41.	119
Gambar VII.9.	Hasil pengeplotan temperatur stabil dan paleotemperatur pada sumur YMS 44.	120
Gambar VII.10.	Hasil pengeplotan temperatur stabil dan paleotemperatur pada sumur YMS 46.	121
Gambar VII.11.	Penampang kehadiran beberapa mineral hidrotermal yang ditampilkan dengan suhu sumur stabil.	123



## DAFTAR TABEL

Tabel III.1. Klasifikasi intensitas alterasi yang dipakai pada sistem panas bumi Lahendong.	36
Tabel VI.1. Alterasi hidrotermal terhadap mineral primer pada ketiga sumur.	72
Tabel VI.2. Variasi mineral alterasi hidrotermal pada lapangan panas bumi "YMS".	79
Tabel VI.3. Paragenesis sumur YMS 41.	96
Tabel VI.4. Paragenesis sumur YMS 44.	96
Tabel VI.5. Paragenesis sumur YMS 46.	97

## DAFTAR SINGKATAN

mKU	=	meter kedalaman ukur	Ilit	=	ilit
m dpl	=	meter di atas permukaan laut	Pl	=	plagioklas
PPL	=	<i>plane polarized light</i> (polarisasi sejajar)	Prh	=	prehnit
XPL	=	<i>cross polarized light</i> (polarisasi bersilang)	Px	=	piroksen
Anh	=	anhidrit	Py	=	pirit
Cal	=	kalsit	Qz	=	kuarsa
Chl	=	klorit	Sme	=	smektit
Ep	=	epidot	Stb	=	stilbit
			Wrk	=	wairakit

Singkatan mineral diambil dari Whitney dan Evans (2010).