



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**KARAKTERISTIK ALTERASI HIDROTHERMAL
PADA SUMUR AN-1, DAERAH PROSPEK PANASBUMI
CANDI UMBUL-TELOMOYO, KABUPATEN SEMARANG,
PROVINSI JAWA TENGAH**

TUGAS AKHIR

ANINDYA ESTIANDARI

21100112140087

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI**

**SEMARANG
FEBRUARI 2017**



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**KARAKTERISTIK ALTERASI HIDROTERMAL PADA
SUMUR AN-1, DAERAH PROSPEK PANASBUMI CANDI
UMBUL-TELOMOYO, KABUPATEN SEMARANG, PROVINSI
JAWA TENGAH**

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan Pendidikan
Sarjana Strata-1 pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro**

**ANINDYA ESTIANDARI
21100112140087**

**FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI**

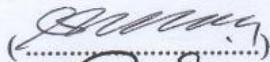
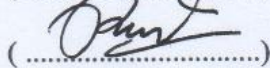
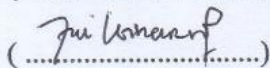
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Anindya Estiandari
NIM : 21100112140087
Departemen : Teknik Geologi
Judul Skripsi : Karakteristik Alterasi Hidrotermal Pada Sumur AN-1,
Daerah Prospek Panasbumi Candi Umbul-Telomoyo,
Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Departemen Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing I	: Yoga Aribowo, ST., MT.	()
Pembimbing II	: Rinal Khaidar Ali, ST., M. Eng.	()
Penguji	: Tri Winarno, ST. M. Eng.	()

Semarang, 1 Februari 2017

Ketua Departemen


Najib, ST., M.Eng, Ph.D
NIP. 19771020 200501 1 001

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Anindya Estiandari

NIM : 21100112140087

Tanggal : 1 Februari 2017

Tanda Tangan :



HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Anindya Estiandari
NIM : 21100112140087
Departemen : Teknik Geologi
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**“Karakteristik Alterasi Hidrotermal Pada Sumur AN-1, Daerah Prospek
Panasbumi Candi Umbul-Telomoyo, Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa
Tengah”**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 1 Februari 2017

Yang menyatakan



Anindya Estiandari

KATA PENGANTAR

Daerah prospek panasbumi Candi-Umbul Telomoyo berada di kompleks Pegunungan Telomoyo, Provinsi Jawa Tengah. Sejak tahun 1988 hingga tahun 1993, di daerah ini telah dilakukan kegiatan eksplorasi berupa penyelidikan terpadu dan pemboran landaian suhu oleh Pertamina. Dari hasil eksplorasi tersebut, diketahui bahwa area tersebut memiliki potensi energi sebesar 92 Mwe. Pada tahun 2010 hingga 2016, di lapangan panasbumi Candi-Umbul Telomoyo kembali dilakukan eksplorasi oleh Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG) dengan melakukan penyelidikan terpadu berupa geologi, geokimia, dan geofisika. Penelitian tersebut dilanjutkan kembali untuk melihat potensi dan melakukan studi kelayakan pada lapangan panasbumi tersebut sebelum dinyatakan layak untuk diproduksi.

Pada tahun 2016, dilakukan pemboran landaian suhu sebanyak 1 titik sumur yaitu sumur AN-1 pada lapangan panasbumi Candi-Umbul Telomoyo. Berdasarkan hasil penyelidikan terpadu yang dilakukan pada tahun 2010, memberikan gambaran mengenai kondisi geologi permukaan yang berupa litologi dan alterasi, serta perkiraan kondisi sistem panasbumi berdasarkan data geokimia dan geofisika. Penelitian yang dilakukan untuk tugas akhir ini bertujuan untuk memberikan informasi mengenai geologi bawah permukaan pada sumur AN-1, berupa variasi litologi, alterasi hidrotermal, paleotemperatur, tipe fluida, dan zonasi alterasi.

Pada penelitian ini, dengan menggunakan analisis dan interpretasi geologi diharapkan dapat menggambarkan karakteristik alterasi hidrotermal pada sumur AN-1, Daerah Prospek Panasbumi Candi Umbul-Telomoyo.

Semarang, Februari 2017

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Selama penyusunan tugas akhir ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Allah SWT atas segala rahmat dan anugerah yang tak henti diberikan-Nya dalam hidup ini.
2. Keluarga tersayang, Bapak Erwin dan Ibu Ratih Dewanti, serta Adik Aditya Ramadwiputra dan Adik Andhika Putra Triadi yang telah memberikan banyak hal, terutama atas segala kasih sayang, doa, dan motivasinya.
3. Bapak Najib, ST., M.Eng, Ph.D selaku ketua Departemen Teknik Geologi, Universitas Diponegoro atas dukungan akademis selama berkuliah di Teknik Geologi Undip.
4. Bapak Ir. Hadi Nugroho, Dipl. EGS, MT. selaku ketua Departemen Teknik Geologi, Universitas Diponegoro periode sebelumnya atas dukungan akademis selama berkuliah di Teknik Geologi Undip.
5. Bapak Ir. Henarno Pudjihardjo, MT. selaku dosen wali yang telah memberikan saran akademik selama waktu perkuliahan di Teknik Geologi Undip.
6. Bapak Yoga Aribowo, ST., MT. selaku dosen pembimbing ke-1 dan Bapak Rinal Khaidar Ali, ST., M.Eng. selaku dosen pembimbing ke-2 yang telah memberikan berbagai ilmu, arahan, dan motivasi selama pelaksanaan bimbingan tugas akhir.
7. Bapak Tri Winarno, ST., M.Eng. dan Mbak Jenian Marin, ST., M.Eng. yang telah turut membagi ilmunya dalam diskusi selama pelaksanaan bimbingan tugas akhir.
8. Segenap pihak Pusat Sumber Daya Geologi (PSDG) yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan pengambilan data tugas akhir serta memberikan fasilitas dan berbagai ilmunya, khususnya kepada Bapak Ir. Arif Munandar selaku Koordinator Kelompok Penyelidikan Panas Bumi PSDG, Bapak Dikdik Risdianto, ST., MT. selaku Koordinator Tim Survei Panas Bumi, Bapak Dudi Hermawan, ST., MT. selaku kepala proyek Pemboran Landaian Suhu Lapangan Panasbumi Candi-Umbul Telomoyo dan selaku pembimbing lapangan tugas akhir di sumur AN-1 Lapangan Panasbumi Candi-Umbul Telomoyo, Bapak Dede Iim Setiawan, ST., MT. dan Bapak Suparman selaku tim *wellsite geologist* Pemboran Landaian Suhu Lapangan Panasbumi Candi-Umbul Telomoyo, serta seluruh rekan-rekan tim Pemboran Landaian Suhu Lapangan Panasbumi Candi-Umbul Telomoyo yang telah memberikan berbagai ilmu selama pelaksanaan tugas akhir.
9. Seluruh warga Desa Kemambang, Kecamatan Banyubiru, Kabupaten Semarang atas fasilitas dan kenyamanan yang telah diberikan selama pelaksanaan tugas akhir.
10. Seluruh staff pengajar, karyawan, dan alumni Teknik Geologi Undip atas segala ilmu dan bantuan yang telah diberikan selama masa perkuliahan.

11. Keluarga besar HMTG Magmadipa Teknik Geologi Undip, khususnya untuk angkatan 2012 atas persahabatan dan persaudaraan, ilmu, serta bantuannya selama masa perkuliahan.
12. Sherly Monalisa Silitonga dan Muhammad Dani Satria sebagai rekan dalam penyusunan laporan tugas akhir yang telah memberikan berbagai informasi, ilmu, dan saran pada setiap diskusi yang dilakukan.
13. Zendi Agista, Sigit Dwi Harjanto, Meilin Aprilika Br. Singarimbun, Jonathan Humala Efraem Hutasoit, Zul Hayuddin, Dewi Mindasari, Michi Oktaviana Sato, Fandy Fahreza, dan La Ode Faisal Rahman sebagai senior dan teman yang telah memberikan ilmu dan pengalamannya selama pelaksanaan dan penyusunan laporan tugas akhir.
14. Teman terbaik yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan akhir serta doa dan dukungan yang diberikan.
15. Rachdian Eko Suprpto, Oddy Pratama, Baihaqi Fahmeiza Yusuf, Imam Farchan Bagus Romario, Yudha Jatmiko, Zuna Lihardo Purba, Kiflan Muzwar, Setyo Mardani, Ilham Hani Pratama, dan Muhammad Idham Fauzan sebagai rekan dalam pelaksanaan analisis laboratorium hingga penyusunan laporan tugas akhir, serta saling berbagi ilmu dan saran di setiap diskusi.

Semarang, Februari 2017

Penulis

HALAMAN PERSEMBAHAN

“Tidak perlu kamu merasa iri dengan rezeki milik orang lain, karena kamu tidak tahu apa yang telah diambil darinya. Tidak perlu juga merasa sedih akan cobaan yang kamu terima, karena kamu tidak tahu apa yang akan diberikan kepadamu. Maka, bersyukurlah dan bersabarlah.”

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya...” (QS. Al-Baqarah: 286)

Tugas akhir ini dipersembahkan untuk:

Erwin

Ratih Dewanti

Aditya Ramadwiputra

Andhika Putra Triadi

ABSTRAK

Daerah prospek panasbumi Candi-Umbul Telomoyo yang berada di kompleks Pegunungan Telomoyo merupakan salah satu lapangan panasbumi yang hingga saat ini masih dilakukan kegiatan eksplorasi. Kegiatan eksplorasi yang dilakukan, untuk mengetahui karakteristik sistem dan potensi energi yang dimiliki oleh lapangan tersebut. Pada penelitian ini, kegiatan eksplorasi dilakukan dengan pemboran landaian suhu untuk mendapatkan informasi berupa variasi litologi, jenis dan kelimpahan mineral alterasi secara vertikal, serta zonasi alterasi berdasarkan himpunan mineral alterasi. Sehingga, setelahnya dapat dilakukan studi kelayakan produksi pada lapangan panasbumi Candi-Umbul Telomoyo.

Penelitian ini dilakukan pada sampel intibor sumur AN-1 dengan melakukan deskripsi sifat fisik secara megaskopis dan analisis laboratorium. Analisis laboratorium yang dilakukan pada sifat fisik batuan, dilakukan dengan petrografi, *Analytical Spectral Device (ASD)*, dan *X-Ray Diffraction (XRD)*. Dari hasil kompilasi data deskripsi megaskopis dan laboratorium, akan digunakan untuk mengetahui karakteristik geologi bawah permukaan berupa litologi dan alterasi. Data alterasi hidrotermal digunakan untuk memperkirakan proses alterasi, asosiasi mineral alterasi, kondisi fluida hidrotermal, dan temperatur pembentukan mineral alterasi. Sehingga dari hasil data tersebut dapat memperkirakan zonasi alterasi untuk data penelitian selanjutnya dalam memperkirakan karakteristik sistem panasbumi.

Variasi litologi pada sumur AN-1 terdiri dari satuan tanah penutup, satuan endapan koluviyal terubah, satuan lava andesit terubah, satuan lava andesit basaltik terubah, satuan breksi autoklastik andesit terubah, satuan breksi tufa terubah, dan satuan tufa terubah. Alterasi hidrotermal terjadi akibat proses penggantian pada massa dasar, plagioklas, dan piroksen, serta proses pengendapan langsung pada urat/*vein* dan rongga/*vuggy*. Asosiasi mineral alterasi yang hadir dengan jumlah melimpah berupa kuarsa, kalsit, klorit, dan grup mineral lempung, seperti smektit, kaolinit, illit, dan alunit. Kemudian beberapa mineral alterasi yang hadir sebagai penyerta adalah serisit, gipsum, dan anhidrit. Dari mineral-mineral alterasi yang hadir diperkirakan suhu pembentukan mineral pada suhu rendah hingga menengah, yaitu $\pm 50 - 200^{\circ}\text{C}$ berdasarkan modifikasi tabel suhu Hedenquist (1995) dan Reyes (2000). Kemudian fluida hidrotermal yang berinteraksi dengan batuan sampling, termasuk dalam tipe fluida asam hingga mendekati netral (Corbett dan Leach, 1997). Dari hasil data asosiasi mineral, perkiraan suhu pembentukan, dan tipe fluida hidrotermal, sumur ini termasuk dalam tipe alterasi argilik hingga argilik lanjut (Corbett dan Leach, 1997). Hasil dari zonasi alterasi ini diharapkan dapat menjadi informasi untuk uji sumur dan studi kelayakan pada lapangan panasbumi Candi-Umbul Telomoyo.

Kata kunci : Alterasi hidrotermal, proses alterasi, perkiraan suhu, tipe fluida, tipe alterasi.

ABSTRACT

Geothermal prospect area in Candi Umbul-Telomoyo at Telomoyo Mountain complex is the one of geothermal fields which has underwent exploration activity. Exploration activities has been done to determine system characteristics and potential energy that field had. Based on this research, exploration activity has been done by gradient thermal drilling for get information about lithology variation, type, alteration mineral abundance vertically, and alteration zone based on assemblage alteration minerals. Afterwards production advisability study can be done in Candi-Umbul Telomoyo geothermal fields.

This study were did on core sample of AN-1 wells to describe physical properties and laboratory analysis. Laboratory analysis were did to describe rocks physical properties using petrography examination, Analytical Spectral Device (ASD), and X-Ray Diffraction (XRD). The compilation data results of core description and laboratory data, will be used to know geological subsurface characteristics including lithology and alteration. Hydrothermal alteration data used to estimating an alteration process, alteration minerals association, hydrothermal fluids condition, and temperature forming of alteration minerals. So that the results of such data can estimating zonation of alteration for further research data in estimating characteristics of geothermal system.

Varian of lithology at AN-1 wells consists of soil unit, altered coluvial unit, altered andesite lava unit, altered basaltic andesite lava unit, altered andesite autoclastic breccia unit, altered tuff breccia unit, and altered tuff unit. Hydrothermal alteration caused by replacement processes at groundmass, plagioclase, and pyroxene of rocks, and direct deposition processes that filling at fractures/veins and cavities/vuggy. Alteration minerals association that comes with an abundant amount of the form of quartz, calcite, chlorite, and clay minerals, such as smectite, kaolinite, illite, and alunite. Then some alteration minerals that comes as accessory minerals are sericite, gypsum, and anhydrite. From the alteration minerals that comes, it can be estimated a temperature forming of alteration minerals is low to medium temperature, that is $\pm 50 - 200^{\circ}\text{C}$ based on modification temperature table from Hedenquist (1995) and Reyes (2000). Then, hydrothermal fluids that has been interaction with wall rocks include in acid until near to neutral fluid type (Corbett and Leach, 1997). From the results of mineral association, temperature forming of minerals, and fluid type data, this wells include in alteration type of argilic to advanced argilic (Corbett and Leach, 1997). The results from zonation of alteration is expected to be information for wells test and advisability study in Candi-Umbul Telomoyo geothermal fields.

Keyword : *Hydrothermal alteration, alteration process, temperature estimate, fluid type, alteration type.*

DAFTAR ISTILAH

Basement: Batuan yang terletak pada posisi terbawah susunan stratigrafi, mendasari lapisan batuan di atasnya yang lebih muda secara tidak selaras. Umumnya bersifat keras dan tidak lolos air.

Geotermometer: Metode untuk memperkirakan temperatur reservoir panasbumi berdasarkan kehadiran zat-zat terlarut pada fluida panasbumi, di mana konsentrasi fluida sangat bergantung pada temperatur.

Hydraulic fracturing: Teknik stimulasi yang digunakan untuk memperbaiki atau meningkatkan produktivitas sumur yang telah dibor agar mampu mengekstraksi lebih banyak energi yang diambil, dengan melibatkan fluida untuk menekan lapisan batuan yang diharapkan dapat membentuk permeabilitas sekunder berupa rekahan.

Immature waters: Fluida tidak dalam kondisi kesetimbangan kimia dengan mineral pada batuan sampling atau banyak terlarut oleh air permukaan, pada diagram Na-K-Mg ditunjukkan dengan komposisi fluida didominasi oleh unsur Mg.

Magnetotelluric: Metode geofisika dengan mengukur medan magnet dan medan listrik alami untuk menggambarkan kelistrikan atau konduktivitas dari lapisan batuan.

Neritik: Zona laut dangkal dengan kedalaman 0 – 200 meter.

Pemboran landaian suhu: Pemboran yang dilakukan untuk mengetahui temperatur sumur pada masa lalu berdasarkan data alterasi dan temperatur sumur pada saat ini berdasarkan data temperatur lumpur pembilas dan *logging* temperatur.

PPL: *Plane Polarized Light*/nikol sejajar, adalah metode pengamatan petrografi dengan menggunakan mikroskop polarisasi. Pada metode ini tidak menggunakan analisator dengan cahaya paling terang. Sehingga arah getaran yang diteruskan searah dengan arah getaran polarisator.

Rim/Kaldera: Struktur dari hasil kegiatan vulkanik, berupa runtuhannya badan gunungapi akibat kekosongan dapur magma setelah terjadinya letusan gunungapi.

Rongga/Vuggy: Lubang yang terbentuk pada saat pembentukan batuan maupun setelah pembentukan batuan, kemudian terisi oleh mineral akibat proses pengendapan langsung dari fluida hidrotermal.

Sakaroidal: Bentuk mineral yang menyerupai gula pasir, granular dan berukuran halus.

Scoria zone: Kerucut gunungapi dengan ukuran yang lebih kecil hadir di lereng gunungapi utamanya, tersusun dari batuan piroklastik yang dihasilkan oleh gunungapi utama.

Sm/Tm: *Secondary mineral/total mineral*, adalah jumlah mineral sekunder pertotal keseluruhan mineral pada medan pengamatan. Umumnya digunakan untuk mengartikan jumlah intensitas alterasi pada batuan teralterasi.

Subsolidus: Sifat kimia yang menggambarkan suatu zat berada di bawah solidus pada diagram fase.

Turbidit: Sedimen yang diendapkan oleh mekanisme arus turbid, yaitu arus yang memiliki suspensi sedimen dan mengalir pada dasar tubuh air karena memiliki kerapatan jenis yang lebih besar daripada air.

Upflow zone: Zona dalam sistem panasbumi pada bagian atas sistem, dekat dengan permukaan bumi. Fluida hidrotermal pada zona tersebut memiliki temperatur rendah – sedang, bersifat asam, dan komposisi senyawa dominan berupa H_2SO_4 .

Urat/Vein: Rekahan yang terbentuk pada saat pembentukan batuan maupun setelah pembentukan batuan, kemudian terisi oleh mineral akibat proses pengendapan langsung dari fluida hidrotermal.

Volatil: Unsur atau senyawa kimia yang mudah berubah menjadi gas atau uap.

XPL: *Cross Polarized Light*/nikol bersilang, adalah metode pengamatan petrografi dengan menggunakan mikroskop polarisasi. Pada metode ini menggunakan analisator dengan cahaya paling gelap. Analisator digunakan untuk menyerap cahaya secara terpilih, sehingga hanya cahaya yang bergetar pada arah tertentu yang dapat diteruskan. Maka arah getaran yang diteruskan akan tegak lurus dengan arah getaran polarisator.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMAKASIH	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
ABSTRAK	ix
<i>ABSTRACT</i>	x
DAFTAR ISTILAH	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
DAFTAR LAMPIRAN LEPAS	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Masalah Penelitian	2
1.3 Objek Penelitian	2
1.4 Maksud Penelitian	2
1.5 Tujuan Penelitian	2
1.6 Ruang Lingkup Penelitian	3
1.6.1 Lingkup Wilayah	3
1.6.2 Batasan Masalah	4
1.7 Manfaat Penelitian	4
1.8 Peneliti Terdahulu	5
1.9 Sistematika Penulisan	10
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Regional Daerah Penelitian	11
2.1.1 Geologi Daerah Penelitian	11
2.1.2 Sistem Panasbumi Daerah Penelitian	13
2.2 Sistem Panasbumi	15
2.3 Alterasi Hidrotermal	18
2.4 Klasifikasi Batuan Beku Vulkanik	25
2.4.1 Tekstur	25
2.4.2 Mineral Penyusun Batuan Beku	26
2.4.3 Klasifikasi Russel B. Travis (1955)	32

2.4.4 Klasifikasi Pettijohn (1975)	32
2.5 Mineral Alterasi Hidrotermal	33
2.6 Hipotesis	39
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	40
3.1 Metoda Penelitian	40
3.1.1 Pemboran Inti.....	40
3.1.2 Deskripsi Intibor.....	45
3.1.3 Pemilihan Sampel.....	46
3.1.4 Analisis Laboratorium	47
3.2 Tahap Penelitian.....	50
3.2.1 Tahap Persiapan	50
3.2.2 Tahap Pengumpulan Data.....	50
3.2.3 Tahap Analisis Laboratorium.....	51
3.2.4 Tahap Pengolahan Data	52
3.2.5 Tahap Penyusunan Laporan Akhir	53
3.3 Alat Penelitian.....	53
3.4 Bahan Penelitian	54
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	56
4.1 Ketersediaan Data	56
4.1.1 Data Lapangan	57
4.1.2 Analisis Petrografi.....	58
4.1.3 Analisis <i>ASD</i>	59
4.1.4 Analisis <i>XRD</i>	60
4.2 Variasi Litologi Pada Sumur AN-1.....	60
4.2.1 Satuan Tanah Penutup/ <i>Soil</i>	60
4.2.2 Satuan Endapan Koluvial.....	61
4.2.3 Satuan Breksi Andesit Terubah.....	62
4.2.4 Satuan Lava Andesit Terubah	68
4.2.5 Satuan Lava Andesit Basaltik Terubah	79
4.2.6 Satuan Breksi Tufa Terubah	84
4.2.7 Satuan Tufa Terubah	88
4.3 Alterasi Batuan Pada Sumur AN-1	93
4.4 Paleotemperatur	96
4.5 Tipe dan Zonasi Alterasi Sumur	100
BAB V PENUTUP	108
5.1 Kesimpulan.....	108
5.2 Saran.....	108
DAFTAR PUSTAKA	109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi penelitian sumur pemboran landaian suhu AN-1	4
Gambar 2.1	Peta geologi daerah panasbumi Candi Umbul-Telomoyo, Provinsi Jawa Tengah (Hermawan dan Kholid, 2010)	13
Gambar 2.2	Perpindahan panas pada sistem panasbumi (Saptadji, 2002)	16
Gambar 2.3	Model konseptual sistem panasbumi <i>young igneous systems</i> (Goff dan Janik, 2000).....	19
Gambar 2.4	Mineral alterasi hidrotermal sebagai indikator temperatur (Hedenquist, 1995).....	21
Gambar 2.5	Mineral alterasi hidrotermal sebagai indikator temperatur (Reyes, 2000).....	22
Gambar 2.6	Tipe alterasi hidrotermal berdasarkan hubungan temperatur dan pH fluida hidrotermal (Corbett dan Leach, 1997)	23
Gambar 2.7	Mineral plagioklas pada sayatan tipis <i>Norite</i> (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1982).....	27
Gambar 2.8	Kurva plagioklas <i>Michel Levy</i> (Kerr, 1959).....	27
Gambar 2.9	Mineral olivin pada sayatan tipis <i>Dunite</i> (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1982).....	28
Gambar 2.10	Mineral ortopiroksen pada sayatan tipis (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1980).....	29
Gambar 2.11	Mineral klinopiroksen pada sayatan tipis <i>Basalt</i> (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1982).....	29
Gambar 2.12	Mineral hornblende pada sayatan tipis (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1980).....	30
Gambar 2.13	Mineral biotit pada sayatan tipis <i>Granite</i> (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1982).....	30
Gambar 2.14	Mineral ortoklas pada sayatan tipis (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (Sutarto, dkk., 2005).....	31
Gambar 2.15	Mineral muskovit pada sayatan tipis (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (Sutarto, dkk., 2005).....	31
Gambar 2.16	Mineral kuarsa pada sayatan tipis (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1980)	32
Gambar 2.17	Klasifikasi batuan beku (Russel B. Travis, 1955).....	33
Gambar 2.18	Mineral ilit (a) Kenampakan di lapangan (b) Kenampakan di sayatan tipis (Thompson, 1996).....	34
Gambar 2.19	Mineral kuarsa (a) Kenampakan di lapangan (b) Kenampakan di sayatan tipis (Thompson, 1996).....	35
Gambar 2.20	Mineral kalsit pada sayatan tipis (a) Nikol sejajar (b) Nikol	

	bersilang (MacKenzie, dkk., 1980).....	35
Gambar 2.21	Mineral klorit pada sayatan tipis (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1980).....	36
Gambar 2.22	Mineral epidot pada sayatan tipis (a) Nikol sejajar (b) Nikol bersilang (MacKenzie, dkk., 1980).....	37
Gambar 2.23	Mineral serisit (a) Kenampakan di lapangan (b) Kenampakan di sayatan tipis (Thompson, 1996).....	37
Gambar 2.24	Mineral gipsum (a) Kenampakan di lapangan (https://www.mindat.org/) (b) Kenampakan di sayatan tipis (http://www.panoramio.com/).	38
Gambar 2.25	Mineral anhidrit (a) Kenampakan di lapangan (https://www.mindat.org/) (b) Kenampakan di sayatan tipis (http://www.panoramio.com/)	39
Gambar 3.1	Mesin bor <i>Christensen: Atlas Copco</i> tipe <i>CS14</i>	41
Gambar 3.2	Pompa <i>Sunchin</i> tipe <i>SC 120</i> dan mesin penggerak <i>Yanmar</i>	41
Gambar 3.3	Pompa <i>YBM</i> tipe <i>MG 30</i> dan mesin penggerak <i>Yanmar</i>	42
Gambar 3.4	Pengaduk lumpur <i>Koken</i> kapasitas 150 Liter	42
Gambar 3.5	Pompa lumpur <i>Toho BG – 15B</i>	43
Gambar 3.6	Pipa bor/rod berukuran <i>HQ</i>	43
Gambar 3.7	<i>Core barrel triple tube Kuvawala</i>	43
Gambar 3.8	Matabor <i>diamond bit</i> tipe <i>impragnated</i> (a) Tampak atas (b) Tampak depan	44
Gambar 3.9	Matabor <i>diamond bit</i> tipe <i>surfaced set</i> (a) Tampak atas (b) Tampak depan	44
Gambar 3.10	Peti intibor/ <i>core box</i> tampak samping.....	44
Gambar 3.11	Peti intibor/ <i>core box</i> tampak depan.....	45
Gambar 3.12	Peti intibor/ <i>core box</i> tampak atas.....	45
Gambar 3.13	Sampel intibor yang dideskripsi secara megaskopis	46
Gambar 3.14	Proses pengeringan sampel uji untuk analisis <i>ASD</i>	47
Gambar 3.15	Mikroskop polarisasi <i>Olympus</i>	48
Gambar 3.16	<i>SpecTERRA™ Spectral Evolution</i> (http://spectral-international.com/)	49
Gambar 3.17	Alat analisis <i>XRD</i> (http://psdg.bgl.esdm.go.id/)	50
Gambar 3.18	Diagram alir penelitian.....	55
Gambar 4.1	Daftar sampel analisis laboratorium (tanpa skala).....	56
Gambar 4.2	<i>Composite log</i> litologi dan alterasi berdasarkan hasil deskripsi lapangan.....	57
Gambar 4.3	Tanah penutup pada kedalaman 10 – 14 meter.....	61
Gambar 4.4	Endapan koluvial pada kedalaman 22 – 26 meter	62
Gambar 4.5	Breksi andesit terubah pada kedalaman 30 – 34 meter	63

Gambar 4.6	Sayatan tipis satuan breksi autoklastik andesit terubah 2 pada kedalaman 60,5 meter (a) Plagioklas dan piroksen terubah pada XPL (b) Plagioklas dan piroksen terubah pada XPL	64
Gambar 4.7	Sayatan tipis satuan breksi autoklastik andesit terubah 3 pada kedalaman 435,9 meter (a) Plagioklas terubah serta plagioklas yang telah digantikan oleh kuarsa sekunder dan klorit pada XPL (b) Sebagian kecil plagioklas digantikan oleh serisit pada XPL	65
Gambar 4.8	Sayatan tipis satuan breksi autoklastik andesit terubah 4 pada kedalaman 477,1 meter (a) Plagioklas digantikan oleh kuarsa sekunder dan kalsit pada XPL (b) Piroksen digantikan oleh kuarsa sekunder pada XPL.....	66
Gambar 4.9	Sayatan tipis satuan breksi autoklastik andesit terubah 5 pada kedalaman 501,2 meter (a) Rongga terisi oleh kuarsa sekunder pada XPL (b) Rongga terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit, piroksen digantikan oleh kuarsa sekunder, serta urat terisi oleh kuarsa sekunder pada XPL	68
Gambar 4.10	Lava andesit terubah pada kedalaman 38 – 42 meter	69
Gambar 4.11	Sayatan tipis satuan lava andesit terubah 2 pada kedalaman 118 meter (a) Plagioklas pada XPL (b) <i>Zoning</i> plagioklas pada XPL (c) Piroksen terubah pada XPL (d) Mineral lempung dan hornblende pada PPL	70
Gambar 4.12	Sayatan tipis satuan lava andesit terubah 3 pada kedalaman 155 meter (a) Rongga terisi oleh klorit pada XPL (b) Plagioklas sebagian digantikan oleh klorit pada XPL	72
Gambar 4.13	Sayatan tipis satuan lava andesit terubah 4 pada kedalaman 247,6 meter (a) Rongga terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit pada XPL (b) Plagioklas terubahkan sebagian menjadi kalsit dan mineral lempung pada XPL	73
Gambar 4.14	Sayatan tipis satuan lava andesit terubah 5 pada kedalaman 300 meter (a) Plagioklas terubah sebagian menjadi kalsit pada XPL (b) Urat terisi oleh kuarsa sekunder, klorit, gipsum, dan anhidrit pada XPL	74
Gambar 4.15	Sayatan tipis satuan lava andesit terubah 6 pada kedalaman 360 meter (a) Plagioklas terubah menjadi klorit pada XPL (b) Urat terisi oleh kuarsa sekunder, kalsit, dan klorit pada XPL	75
Gambar 4.16	Sayatan tipis satuan lava andesit terubah 7 pada kedalaman 384,9 meter (a) Urat terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit memotong klorit dan kuarsa sekunder yang menggantikan	

	plagioklas pada XPL (b) Urat terisi oleh kuarsa sekunder, plagioklas berubah sebagian menjadi kalsit, klorit, dan kuarsa sekunder, serta klorit menggantikan piroksen pada XPL	77
Gambar 4.17	Lava andesit berubah pada kedalaman 402 – 406 meter.....	78
Gambar 4.18	Sayatan tipis satuan lava andesit berubah 9 pada kedalaman 466,8 meter (a) Urat terisi oleh kalsit pada XPL (b) Piroksen dan plagioklas berubah pada XPL	79
Gambar 4.19	Sayatan tipis satuan lava andesit basaltik berubah 1 pada kedalaman 196,9 meter (a) Urat terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit, serta plagioklas berubah pada XPL (b) Urat terisi oleh klorit dan plagioklas digantikan oleh kalsit pada XPL.....	81
Gambar 4.20	Lava andesit basaltik berubah pada kedalaman 482 – 486 meter.....	81
Gambar 4.21	Sayatan tipis satuan lava andesit basaltik berubah 2 pada kedalaman 488,5 meter (a) Plagioklas berubah, olivin, dan augit pada XPL (b) Piroksen berubah, olivin, diopsid, dan augit pada XPL	82
Gambar 4.22	Sayatan tipis satuan lava andesit basaltik berubah 3 pada kedalaman 496,1 meter (a) Piroksen digantikan oleh kuarsa sekunder dan kalsit, serta plagioklas terpotong oleh urat yang terisi kalsit pada XPL (b) Urat terisi oleh kalsit, serta piroksen yang digantikan oleh kuarsa sekunder dan kalsit pada XPL	83
Gambar 4.23	Sayatan tipis satuan breksi tufa berubah 1 pada kedalaman 338,8 meter (a) Urat terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit pada XPL (b) Urat terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit, dipotong oleh urat yang tidak terisi mineral pada XPL	85
Gambar 4.24	Breksi tufa berubah pada kedalaman 371 – 373,8 meter	86
Gambar 4.25	Sayatan tipis satuan breksi tufa berubah 3 pada kedalaman 398,2 meter (a) Urat terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit pada XPL (b) Urat terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit pada XPL	87
Gambar 4.26	Sayatan tipis satuan tufa berubah 1 pada kedalaman 150,1 meter (a) Mineral lempung menggantikan gelas pada PPL (b) Klorit dan kuarsa sekunder menggantikan plagioklas pada XPL	89
Gambar 4.27	Sayatan tipis satuan tufa berubah 2 pada kedalaman 252 meter (a) Mineral lempung menggantikan gelas pada PPL (b) Kuarsa sekunder menggantikan plagioklas serta urat terisi oleh kuarsa sekunder dan klorit pada XPL	90

Gambar 4.28	Sayatan tipis satuan tufa terubah 3 pada kedalaman 329,8 meter (a) Piroksen digantikan oleh kuarsa sekunder, klorit, dan mineral lempung pada XPL (b) Urat terisi oleh kuarsa sekunder, klorit, dan mineral lempung pada XPL	91
Gambar 4.29	Tufa terubah pada kedalaman 367,6 – 371 meter	92
Gambar 4.30	Sayatan Sayatan tipis satuan tufa terubah 5 pada kedalaman 490,1 meter (a) Urat terisi oleh gipsum dan anhidrit pada XPL (b) Plagioklas digantikan oleh kuarsa sekunder, klorit, dan kalsit pada XPL.....	93
Gambar 4.31	Plot temperatur pada kedalaman 0 – 50 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	97
Gambar 4.32	Plot temperatur pada kedalaman 50 – 100 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	97
Gambar 4.33	Plot temperatur pada kedalaman 100 – 150 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	98
Gambar 4.34	Plot temperatur pada kedalaman 150 – 200 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	98
Gambar 4.35	Plot temperatur pada kedalaman 200 – 250 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	98
Gambar 4.36	Plot temperatur pada kedalaman 250 – 300 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	99
Gambar 4.37	Plot temperatur pada kedalaman 300 – 350 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	99
Gambar 4.38	Plot temperatur pada kedalaman 350 – 400 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	100
Gambar 4.39	Plot temperatur pada kedalaman 400 – 450 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	100
Gambar 4.40	Plot temperatur pada kedalaman 450 – 502 meter (Modifikasi Hedenquist, 1995 dan Reyes, 2000).....	101
Gambar 4.41	<i>Composite log</i> litologi dan paleotemperatur berdasarkan suhu pembentukan mineral alterasi	102
Gambar 4.42	<i>Composite log</i> litologi, mineral alterasi, paleotemperatur, dan tipe alterasi.....	105

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Hasil penelitian dari peneliti terdahulu	5
Tabel 3.1 Peralatan lapangan dan peralatan laboratorium pada penelitian	53
Tabel 3.2 Bahan penelitian yang terdiri dari data primer dan data sekunder	54
Tabel 4.1 Hasil deskripsi sayatan tipis batuan dengan analisis petrografi	58
Tabel 4.2 Rekapitulasi hasil analisis <i>ASD</i>	59
Tabel 4.3 Rekapitulasi hasil analisis <i>XRD</i>	60
Tabel 4.4 Hasil rekapitulasi mineral alterasi hidrotermal berdasarkan analisis laboratorium.....	93

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Hasil deskripsi petrografi	114
Lampiran 2	Hasil analisis <i>ASD</i>	164
Lampiran 3	Hasil analisis <i>XRD</i>	168

DAFTAR LAMPIRAN LEPAS

Composite log