

**IDENTIFIKASI ZONA *CAP ROCK* DAN RESERVOIR DENGAN
ANALISIS MODE TE, TM, DAN TE-TM HASIL MODEL INVERSI 2D
DATA MAGNETOTELLURIK PADA LAPANGAN PANAS BUMI
DAERAH “WS”**

Skripsi

Untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Satu (S-1)
sebagai Sarjana Sains pada Program Studi Fisika



Disusun oleh:

TRIANA

24040115130085

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN MATEMATIKA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG**

Maret, 2019

PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI

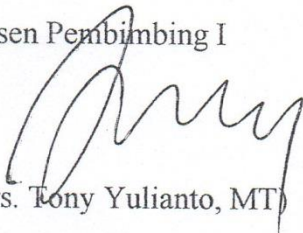
Yang bertanda tangan di bawah ini Dosen Pembimbing dari:

Mahasiswa : Triana
NIM : 24040115130085
Program Studi/Fakultas : Fisika/Sains dan Matematika
Judul Skripsi : Identifikasi Zona *Cap Rock* dan Reservoir dengan Menganalisis Mode TE, TM, dan TE-TM Hasil Model Inversi 2D Data Magnetotellurik pada Lapangan Panas Bumi Daerah “WS”

Menyatakan bahwa mahasiswa tersebut telah melaksanakan Seminar Hasil Skripsi sehingga menyetujui dan layak untuk melaksanakan Ujian Skripsi.

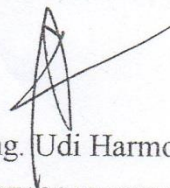
Semarang, 14 Maret 2019

Dosen Pembimbing I



(Drs. Tony Yulianto, MT)
NIP. 196407191993031002

Dosen Pembimbing II



(Dr. Eng. Udi Harmoko, M.Si)
NIP. 197108101999031001

PERNYATAAN ORISINILITAS

Dengan ini saya menyatakan dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang sepengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Semarang, 25 Maret 2019



Triana

NIM. 24040115130085

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRISPI UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Triana
NIM : 24040115130085
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Sains dan Matematika
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro Hak Bebas Royalti Non-Ekklusif atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Identifikasi Zona *Cap Rock* dan Reservoir dengan Analisis Mode TE, TM, dan TE-TM Hasil Model Inversi 2D Data Magnetotellurik pada Lapangan Panas Bumi Daerah “WS”

Beserta perangkat yang ada. Dengan Hak Bebas Royalti Non-Ekklusif ini Program Studi Fisika Departemen Fisika Fakultas Sains dan Matematika Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalih media, atau memformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta atau sebagai pemilik Hak Cipta.

Dibuat di Semarang

Pada tanggal 25 Maret 2019

Yang menyatakan



Triana

NIM. 24040115130085

HALAMAN PENGESAHAN

SKRIPSI

*Identifikasi Zona Cap Rock dan Reservoir dengan Analisis Mode
TE, TM, Dan TE-TM Hasil Model Inversi 2D Data Magnetotellurik
pada Lapangan Panas Bumi Daerah "WS"*

Disusun Oleh:

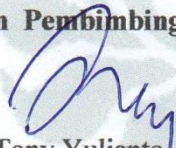
(Triana)
(24040115130085)

Telah diujikan dan dinyatakan lulus oleh Tim Penguji

Pada tanggal 25 Maret 2019

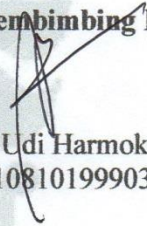
Tim Pembimbing dan Penguji

Dosen Pembimbing I



(Drs. Tony Yulianto, MT)
NIP. 196407191993031002

Dosen Pembimbing II



(Dr. Eng. Udi Harmoko, M.Si)
NIP. 197108101999031001

Penguji I



(Dr. Gatot Yulianto, M.Si)
NIP. 197207121997021001

Penguji II



(Dr. Rahmat Gernowo, M.Si)
NIP. 196511231994031003

**Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
25 Maret 2019**

Ketua Program Studi Fisika



(Dr. Kusworo Adi, MT)

NIP. 197203171998021001

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Identifikasi Zona *Cap Rock* dan Reservoir dengan Analisis Mode TE, TM, dan TE-TM Hasil Model Inversi 2D Data Magnetotellurik pada Lapangan Panas Bumi Daerah “WS””. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat mencapai derajat pendidikan Strata Satu (S-1) sebagai Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro Semarang.

Pada kesempatan ini penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membimbing, memberi bantuan, arahan, dan saran dalam penyusunan Skripsi ini kepada:

1. Allah SWT yang merupakan sebaik-baiknya penolong karena atas izin dan kehendak-Nya penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi ini.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah banyak membantu dan selalu memberi dukungan dalam keadaan apapun.
3. Dr. Kusworo Adi, M.T selaku Ketua Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro.
4. Drs. Tony Yulianto, MT dan Dr. Eng. Udi Harmoko, M.Si selaku pembimbing Skripsi pertama dan kedua di Departemen Fisika yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan ilmu dengan baik.
5. Iqbal Takodama, S.T selaku pembimbing Skripsi di Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi yang telah membimbing penulis selama pelaksanaan penelitian Skripsi.
6. Dr. Gatot Yulianto, M.Si dan Dr. Rahmat Gernowo, M.Si selaku penguji Skripsi yang telah memberi saran dan masukan yang membangun.

7. Seluruh pegawai Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi yang telah banyak membantu proses belajar metode magnetotellurik dan panas bumi.
8. Paulus Pandu, Julia Dian, Dela Andini, Adi Buchori Ramadhan dan Riando Elang Desilva selaku rekan belajar metode magnetotellurik.
9. Sahabat terdekat penulis di antaranya Mahendra Kusuma N., M. Faqih Munandar, Tri Aji Ramadhan, Julia Dian P., Evany Fasya., dan Kharisma Nurul Bintang yang telah memberikan bantuan dan dukungan secara ikhlas dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Teman-teman Geofisika 2015 dan KSGF 2018 yang telah menjadi tempat berbagi ilmu dalam mempelajari berbagai metode geofisika khususnya metode metode magnetotellurik dan panas bumi.
11. Teman-teman angkatan Fisika 2015 (FOTON) yang telah berjuang bersama-sama, memberikan dukungan serta semangat kepada penulis.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu namun tak mengurangi rasa terimakasih penulis atas doa dan dukungannya.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan dalam pembuatan dan penulisan Skripsi ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca. Semoga yang tertuang dalam Skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca pada umumnya.

Semarang, 25 Maret 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
PERSETUJUAN UJIAN SKRIPSI.....	ii
PERNYATAAN ORISINILITAS.....	iii
PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	iv
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xiii
ABSTRAK	xiv
<i>ABSTRACT</i>	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	3
1.3 Manfaat Penelitian.....	4
DASAR TEORI	5
2.1 Sistem Panas Bumi	5
2.2 Metode Magnetotellurik	8
2.3 Persamaan Maxwell	12
2.4 Kedalaman Kulit (<i>Skin Depth</i>)	16
2.5 Tensor Impedansi dan <i>Apparent Resistivity</i>	17
2.6 Teori Magnetotellurik 1D.....	19
2.7 Teori Magnetotellurik 2D.....	19
2.8 Mode Pengukuran Magnetotellurik.....	21
2.9 Pemodelan Magnetotellurik 2D.....	23
2.10. Informasi geologi daerah penelitian	25
BAB III METODE PENELITIAN.....	30
3.1 Bahan atau Materi Penelitian	30
3.2 Alat Penelitian	31
3.3 Prosedur Penelitian.....	32
3.4 Diagram Alir Penelitian.....	40

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Kurva <i>Sounding</i> Magnetotellurik	41
4.2 Analisis <i>L-Curve</i>	45
4.3 Analisis Hasil Pemodelan Inversi 2D	47
4.4 Interpretasi Sistem Panas Bumi	54
 BAB V KESIMPULAN	 59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran	60
 DAFTAR PUSTAKA	 61
LAMPIRAN A	64
LAMPIRAN B	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Konseptual model sistem panas bumi secara umum (Niasari, 2015)	6
Gambar 2.2	Distorsi magnetosfer karena interaksi angin matahari (Naidu, 2012)	10
Gambar 2.3	Interaksi gelombang EM dengan medium di bawah permukaan (Unsworth, 2006)	12
Gambar 2.4	Layout akuisisi magnetotellurik (Cherkose dan Hideki, 2018).	17
Gambar 2.5	Penggambaran mode TE (Unsworth, 2008)	21
Gambar 2.6	Penggambaran mode TM (Unsworth, 2008)	22
Gambar 2.7	Peta geologi lembar Baturaja, Sumatera (Gafoer, dkk., 1993)..	26
Gambar 2.8	Peta Geologi daerah panas “WS” (Modifikasi Gafoer, dkk., 1993)	27
Gambar 3.1	Desain survei daerah penelitian	30
Gambar 3.2	Tampilan SSMT 2000.....	32
Gambar 3.3	Pengaturan parameter <i>transformasi fourier</i>	33
Gambar 3.4	Proses TS to FT	33
Gambar 3.5	Pengaturan edit parameter <i>robust</i>	34
Gambar 3.6	(a) Kurva data sebelum <i>editing</i> pada titik MTWS-18 (b) Kurva data setelah dilakukan <i>editing</i> pada titik MTWS-18	35
Gambar 3.7	Profil lintasan daerah penelitian	36
Gambar 3.8	(a) Kurva titik MTWS-41 sebelum dilakukan <i>smoothing</i> dan <i>masking</i> (b) Hasil <i>smoothing</i> dengan D+ dan <i>masking</i> kurva (c) Kurva setelah dikenai koreksi statik	37
Gambar 3.9	Model awal setelah dilakukan pengaturan <i>mesh</i>	38
Gambar 3.10	Diagram alir penelitian	40
Gambar 4.1	(a) Kurva <i>sounding</i> titik MTWS-41 (lintasan 1) hasil koreksi <i>static shift</i> (b) Kurva <i>sounding</i> titik MTWS-43AA (lintasan 2) hasil koreksi <i>static shift</i> . Kurva berwarna merah menunjukkan kurva TE dan kurva berwarna biru menunjukan kurva TM	42
Gambar 4.2	<i>Pseudo-section</i> lintasan 1	43
Gambar 4.3	<i>Pseudo-section</i> lintasan 2	44

Gambar 4.4	L- <i>Curve</i> lintasan 1 mode TE, TM, dan TE-TM. Tau 3 merupakan tau dari ketiga mode dengan nilai RMS yang kecil dan nilai <i>roughness</i> yang tidak terlalu tinggi45
Gambar 4.5	L- <i>Curve</i> lintasan 2 mode TE, TM, dan TE-TM. Tau 3 merupakan tau dari ketiga mode dengan nilai RMS yang kecil dan nilai <i>roughness</i> yang tidak terlalu tinggi46
Gambar 4.6	Penampang 2D Lintasan 1, (a) mode TE, (b) mode TM, dan (c) mode TE-TM. Mode TE didominasi resistivitas rendah dan sedang, mode TM menggambarkan semua nilai resistivitas, dan mode TE-TM merupakan mode gabungan dari keduanya48
Gambar 4.7	Penampang 2D lintasan 2, (a) mode TE, (b) mode TM, dan (c) mode TE-TM. Mode TE didominasi resistivitas rendah dan sedang, mode TM menggambarkan semua nilai resistivitas, dan mode TE-TM merupakan mode gabungan dari keduanya52
Gambar 4.8	Interpretasi penampang 2D lintasan 155
Gambar 4.9	Interpretasi penampang 2D lintasan 257

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1	Kurva sebelum (kiri) dan sesudah (kanan) seleksi <i>crosspower</i>	65
Lampiran A.2	Kurva <i>sounding</i> hasil <i>smoothing</i> (kiri) dan kurva <i>sounding</i> hasil koreksi statik (kanan)	71
Lampiran A.3	Kurva <i>misfit</i> hasil inversi 2D	78
Lampiran B.1	Variasi nilai <i>tau</i> pada model 2D lintasan 1	88
Lampiran B.2	Variasi nilai <i>tau</i> pada model 2D lintasan 2	91

ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

B	: Medan magnetik, induksi magnetik (Tesla)
B_x dan B_y	: Komponen magnetik horizontal
B_z	: Komponen magnetik vertikal
D	: Perpindahan listrik ($C.m^{-2}$)
δ	: <i>Skin depth</i> elektromagnetik (m)
CO ₂	: Karbon dioksida
E	: Medan listrik ($V.m^{-1}$)
E_x dan E_y	: Komponen elektrik vertikal
ϵ	: Permittivitas listrik (Farad/m)
f	: Frekuensi
ESDM	: Energi dan Sumber Daya Mineral
H	: Intenitas manetik ($A.m^{-1}$)
Hz	: Herzt
i	: Bilangan kompleks
Im	: Bilangan imajiner dari bilangan kompleks
j	: Rapat arus listrik ($A.m^{-2}$)
k	: Bilangan gelombang (m^{-1})
μ	: Permeabilitas magnetik (Henry/m)
μ_0	: Permeabilitas dalam ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7}$ Henry/m)
Φ	: <i>Phase tensor</i>
ρ_a	: <i>Apparent resistivity</i> (Ωm)
ρ_f	: Rapat muatan listrik ($C.m^{-3}$)
Re	: Bilangan riil dari bilangan kompleks
σ	: Konduktivitas (Ohm^{-1}/m) atau (Siemens/m)
t	: Waktu (s)
T	: Periode (s)
TE	: <i>Tranverse electric</i>
TM	: <i>Tranverse Magnetic</i>
ω	: Frekuensi sudut (s^{-1})
Z	: Impedansi (ohm)
∇	: Operator nabla
$\frac{\partial}{\partial t}$: Turunan parsial terhadap waktu
PSDMBP	: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi
1D	: Satu dimensi
2D	: Dua dimensi

ABSTRAK

Penelitian magnetotellurik telah dilakukan pada lapangan panas bumi daerah “WS” untuk menganalisis model resistivitas yang dihasilkan dari inversi 2D data magnetotellurik pada mode TE, TM dan TE-TM. Dari ketiga model yang dihasilkan kemudian ditentukan mode yang menghasilkan model paling representatif guna membantu proses interpretasi dari sistem panas bumi daerah “WS”. Daerah panas bumi “WS” terletak pada busur magmatik dan merupakan salah satu segmen Sesar Sumatera bagian Selatan. Kemunculan beberapa manifestasi mata air panas pada daerah penelitian diduga sebagai tanda adanya sistem panas bumi di daerah tersebut. Untuk mengetahui potensi panas bumi lebih lanjut maka dilakukan pengolahan data geofisika dengan metode magnetotellurik. Dalam pengolahan data MT, terdapat pemisahan mode yaitu mode TE (*Tranverse Electric*) dan TM (*Transverse Magnetic*). Masing-masing mode menghasilkan model 2D dengan sifat konduktivitas berbeda. Hasil analisis ketiga mode menjelaskan bahwa mode TE didominasi oleh resistivitas rendah dengan rentang nilai kurang dari 35 Ωm dan resistivitas sedang dengan rentang nilai 35-250 Ωm . Kedua resistivitas tersebut menghasilkan kontras resistivitas secara vertikal. Mode TM menggambarkan resistivitas tinggi secara jelas pada bagian Barat Daya dan bagian tengah lintasan dengan nilai lebih dari 470 Ωm sehingga menghasilkan kontras resistivitas secara lateral. Mode TE-TM menghasilkan model yang tidak jauh berbeda dengan mode TM, hanya saja sebaran nilai resistivitasnya merupakan perpaduan dengan mode TE. Mode ini menggambarkan persebaran resistivitas yang baik secara vertikal maupun lateral. Berdasarkan dari analisis ketiga mode tersebut memberikan kesimpulan bahwa mode TE-TM merupakan mode yang menghasilkan model paling representatif. Hasil dari interpretasi model yang dihasilkan dari mode TE-TM menunjukkan adanya zona *cap rock* dengan persebaran resistivitas rendah (kurang dari 35 Ωm), batuan reservoir dengan persebaran resistivitas sedang (35-380 Ωm), zona resistif dengan persebaran resistivitas tinggi (lebih dari 380 Ωm), serta adanya tiga struktur sesar sebagai pengontrol sistem panas bumi daerah “WS”.

Kata kunci: Magnetotellurik, Panas bumi, mode TE (*Tranverse Electric*), mode TM (*Transverse Magnetic*).

ABSTRACT

Magnetotelluric research has been carried out at the "WS" geothermal field to analyze the resistivity model resulting from 2D inversion of magnetotelluric data in TE, TM and TE-TM modes. Of the three models produced, the mode is determined to produce the most representative model to assist in the interpretation of the "WS" geothermal system. The "WS" geothermal area is located in a magmatic arc and is one of the Southern Sumatra Fault segments. The appearance of several hot spring manifestations in the study area is thought to be a sign of the existence of a geothermal system in the area. To find out more about geothermal potential, geophysical data was processed by magnetotelluric method. In processing MT data, there is a separation of modes namely TE (Transverse Electric) and TM (Transverse Magnetic) modes. Each mode produces a 2D model with different conductivity properties. The results of the analysis of the three modes explain that TE mode is dominated by low resistivity with a range of less than 10-35 Ωm and medium resistivity with a value range of 35-250 Ωm . Both resistivity produces resistivity contrast vertically. The TM mode describes the high resistivity clearly in the Southwest and the middle of the track with a value of more than 470 Ωm resulting in lateral resistivity contrast. While the TE-TM mode produces a model that is not much different from TM mode, only the distribution of the resistivity value is a combination with TE mode. This mode describes the distribution of resistivity both vertically and laterally. Based on the analysis of the three modes, it can be concluded that the TE-TM mode is the mode that produces the most representative model. The results of the model interpretation resulting from TE-TM mode show a cap rock zone with a low resistivity distribution (less than 35 Ωm), reservoir rock with a medium resistivity distribution (35-380 Ωm), resistive zone with high resistivity distribution (more than 380 Ωm), and the existence of three fault structures to control the "WS" area geothermal system.

Keywords: Magnetotelluric, Geothermal, TE mode (Transverse Electric), TM mode (Transverse Magnetic)