

**ANALISIS INVERSI MODEL PANASBUMI MENGGUNAKAN
DATA *MAGNETOTELLURIC* (MT) PADA LAPANGAN
“YOGI”**

(Skripsi)

Oleh

**Yogi Dwitama
1515051001**



**KEMENTRIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

ABSTRAK

ANALISIS INVERSI MODEL PANASBUMI MENGGUNAKAN DATA *MAGNETOTELLURIC* (MT) PADA LAPANGAN “YOGI”

Oleh

YOGI DWITAMA

Daerah prospek panasbumi memiliki Manifestasi berupa fumarol yang terletak di puncak gunung, serta mata air yang berada disebelah barat daerah penelitian. Untuk mengetahui informasi bawah permukaan daerah prospek panasbumi daerah penelitian, dilakukan survei magnetotellurik. Survei magnetotellurik diolah dari *time series* hingga mendapat kurva resistivitas, frekuensi, dan fase. Koreksi statik untuk mendapatkan kurva yang lebih representatif. Selanjutnya dilakukan inversi 1 Dimensi dan inversi 2D. Didapatkan lapisan dengan nilai resistivitas <15 Ohm.m dengan ketebalan 2 km, diindikasikan sebagai *caprock*. Lapisan dengan nilai resistivitas 10-60 Ohm.m, diindikasikan sebagai reservoir.

Kata kunci : *Caprock*, Reservoir, Inversi 1D, Inversi 2D

ABSTRACT

ANALYSIS INVERSION OF GEOTHERMAL MODEL USING MAGNETOTELLURIC (MT) DATA IN FIELD “YOGI”

By

YOGI DWITAMA

Geothermal prospect area has manifestations in the form of fumaroles which are located on the top of a mountain, as well as a spring located west of the research area. To find out subsurface information on the geothermal prospect area of the study area, a magnetotelluric survey was conducted. The magnetotelluric survey was processed from time series to obtain resistivity, frequency, and phase curves. Static correction to get a more representative curve. Then 1-dimensional inversion and 2D inversion are performed. Obtained a layer with a resistivity value <15 Ohm.m with a thickness of 2 km, indicated as a caprock. Layer with a resistivity value of 10-60 Ohm.m, indicated as a reservoir.

Keywords: Caprock, Reservoir, 1D Inversion, 2D Inversion

**ANALISIS INVERSI MODEL PANASBUMI MENGGUNAKAN
DATA *MAGNETOTELLURIC* (MT) PADA LAPANGAN X**

Oleh

Yogi Dwitama

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

pada

**Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Universitas Lampung**



**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS LAMPUNG
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK GEOFISIKA
2019**

Judul Skripsi : **ANALISIS INVERSI MODEL PANASBUMI
MENGUNAKAN DATA MAGNETOTELLURIC
(MT) PADA LAPANGAN "YOGI"**

Nama Mahasiswa : **Yogi Dwitama**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1515051001

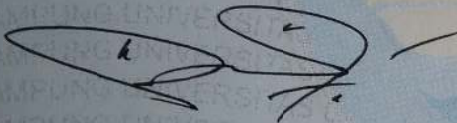
Jurusan : Teknik Geofisika

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

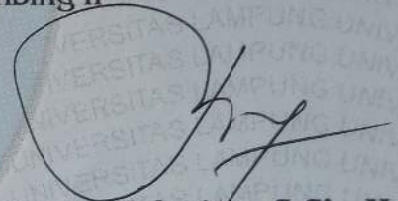
1. Komisi Pembimbing

Pembimbing I



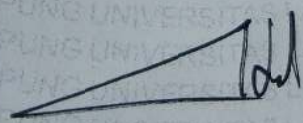
Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.
NIP 19661222 199603 1 001

Pembimbing II



Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.
NIP 19700120 200003 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Geofisika

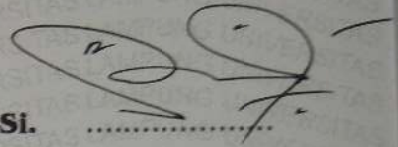


Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si.
NIP 19750911 200012 1 002

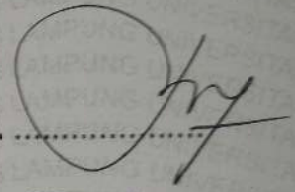
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

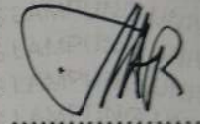
Ketua : Dr. Ordas Dewanto, S.Si., M.Si.



Sekretaris : Bagus Sapto Mulyatno, S.Si., M.T.



**Penguji
Bukan Pembimbing : Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.**



2. Dekan Fakultas Teknik



Prof. Suharno, M.S., M.Sc., Ph.D.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 11 Oktober 2019

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 14 Oktober 2019



Yogi Dwitama

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Gisting, pada tanggal 20 Maret 1997, anak ke-tiga dari pasangan bapak Zainal Abidin dan Ibu Caturini. Penulis menyelesaikan pendidikan Taman Kanak-Kanak (TK) pada tahun 2003 di TK Pembina Kotaagung Timur, dilanjutkan ke jenjang Sekolah Dasar di SD Negeri 02 Kampung Baru yang selesai pada tahun 2009. Selanjutnya, penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah di SMP Negeri 1 Kotaagung hingga tahun 2012 dilanjutkan di SMA Negeri 1 Kotaagung hingga tahun 2015. Selanjutnya pada tahun yang sama penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Teknik Geofisika, Fakultas Teknik Universitas Lampung angkatan 2015 melalui jalur undangan SNMPT (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi).

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif di beberapa kegiatan kampus antara lain: Deputi Human Resources Departement English Society (2016-2017), Ketua Departemen Kaderisasi Unit Kegiatan Mahasiswa Penelitian (2018-2019), Anggota aktif divisi *Internal SEG (Society of Exploration Geophysicist) Student Chapter* Universitas Lampung (2016-2017), Anggota aktif divisi Sains dan Teknologi di HIMA TG Bhuwana Periode (2016-2017). Kepala Bidang Sains dan Teknologi Himpanan Mahasiswa TG Bhuwana Periode (2017-2018)

Selama masa kuliah, penulis pernah menjadi Asisten Praktikum Elektromagnetik dan eksplorasi geothermal pada tahun 2018-2019.

Pada februari 2018, penulis melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pekon Ampai, Kecamatan Kotaagung Timur, Kabupaten Tanggamus. Pada Agustus 2018, penulis tercatat melakukan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di ELNUSA. Pada Desember 2018, penulis melakukan penelitian Tugas Akhir (TA) di laboratorium Teknik Geofisika Universitas Lampung hingga akhirnya penulis berhasil menyelesaikan pendidikan sarjananya pada 11 Oktober 2019 dengan mengambil judul **ANALISIS INVERSI MODEL PANASBUMI MENGGUNAKAN DATA MAGNETOTELLURIC (MT) PADA LAPANGAN “YOGI”**.

PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur, saya persembahkan skripsi ini kepada :

Ibunda Tercinta

Bapak Zainal Abidin dan Ibu Caturini

Terima kasih atas kasih sayang yang berlimpah dari mulai saya lahir, hingga saya sudah sebesar ini. Apa yang saya dapatkan hari ini, belum mampu membayar semua kebaikan, keringat, dan juga air mata kalian. Terima kasih atas segala dukungan kalian, baik dalam bentuk materi maupun moril. Karya ini saya persembahkan untuk kalian, sebagai wujud rasa terima kasih atas pengorbanan dan jerih payah kalian. Terima kasih juga atas limpahan doa yang tak berkesudahan. Serta segala hal yang telah kalian lakukan, semua yang terbaik

Kakak dan Adikku Tersayang

Diajang Liati

Puji Ronaldo

Tiada waktu yang paling berharga dalam hidup selain menghabiskan waktu dengan kalian. Walaupun saat dekat kita sering bertengkar, tapi saat jauh kita saling merindukan. Terima kasih untuk bantuan dan semangat dari kalian. Kalian adalah tempat saya berlari ketika saya merasa tidak ada yang memahami di luar rumah.

Teknik Geofisika Universitas Lampung 2015

Brother Jon dan Sist Jon yang telah menjadi keluarga kecil penulis selama kuliah, bisa menjadi bagian dari kalian sungguh pengalaman yang berharga. Terimakasih atas kebersamaannya. Semoga kesuksesan selalu menyertai kalian dimanapun dan kapanpun.

***Keluarga Besar Teknik Geofisika Universitas Lampung
Almamater Tercinta, Universitas Lampung***

MOTTO

*Berangkat dengan penuh keyakinan
Berjalan dengan penuh keikhlasan
Istiqomah dalam menghadapi cobaan
“YAKIN, IKHLAS, ISTIQOMAH”
(TGKH. Muhammad Zainuddin Abdul Madjid)*

*Andai kamu tau bagaimana Allah mengatur urusan hidupmu,
pasti hati kamu akan meleleh karena cinta kepada-Nya
(Ibnu Qayyim Al Jauziyah)*

*Boleh jadi kamu membenci sesuatu, padahal ia amat baik bagimu,
dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal ia amat buruk
bagimu; Allah mengetahui, sedangkan kamu tidak mengetahui
(QS Al Baqarah 216)*

*Man Jadda Wajada
Siapa yang bersungguh-sungguh pasti akan berhasil
Man Shabara Zhafira
Siapa yang bersabar pasti akan beruntung
Man Sara Ala Darbi Washala
Siapa yang menapaki jalan-Nya pasti akan sampai*

Jangan sesali apa yang telah terjadi, syukurilah itu pernah terjadi

(Yogi Dwitama)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi wabarakaatuh.

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kehadiran Allah Subhanallahu wa Ta'ala yang telah memberikan nikmat dan kesempatan sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir dengan judul **“ANALISIS INVERSI MODEL PANASBUMI MENGGUNAKAN DATA *MAGNETOTELLURIC (MT)* PADA LAPANGAN “YOGI”**”. Adapun dalam pelaksanaan dan penulisan laporan ini penulis menyadari bahwa selesainya proses ini tidak lepas dari bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan jauh dari kesempurnaan.

Atas segala kekurangan dan ketidak sempurnaan skripsi ini, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun kearah perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dan memberikan wawasan bagi para pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi wabarakaatuh

Penulis

Yogi Dwitama

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin...

Dengan penuh rasa bersyukur, penulis panjatkan kehadiran Allah SWT karena atas limpahan rahmat, karunia serta hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“ANALISIS INVERSI MODEL PANASBUMI MENGGUNAKAN DATA *MAGNETOTELLURIC* (MT) PADA LAPANGAN “YOGI”**”. Tidak dapat terselesaikan skripsi ini tanpa bantuan, dukungan serta bimbingan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terimakasih kepada :

1. Orangtua terhebat ibu Caturini, yang telah menjadi inspirasi dan motivasi terbesar penulis. Terimakasih banyak atas segala dukungan serta doa-doa kalian, sehingga penulis bisa berhasil menyelesaikan skripsi ini. Semoga Allah selalu menjaga dan melindungi kalian.
2. Bapak Prof. Suharno, M. Sc., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung sekaligus selaku dosen penguji TA.
3. Bapak Dr. Nandi Haerudin, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Geofisika Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Ordas Dewanto, M.Si. dan Bapak Sapto Mulyatno, M.T. selaku dosen pembimbing penulis yang selalu memberikan arahan, masukan,

dan motivasi serta kemudahan selama proses membimbing Tugas Akhir.

5. Dosen-dosen Teknik Geofisika Universitas Lampung yang telah memberikan banyak ilmu serta pengetahuan kepada penulis.
6. Warga laboratotium mitigasi bencana, Pak I Gede Boy, Pak Yogi, kak andi, kak amir dan rumah kak andi sebagai tempat berdiskusi.
7. Mbak Ajeng dan adik Puji memberikan segala dukungannya yang tidak akan pernah bisa setimpal balasannya.
8. Opin, Dika, dan Arman terimakasih walaupun tidak memabantu tapi nama kalian harus tetap di san wacana.
9. Sahabat Fauzan dan Risma, Terimakasih atas tawa dan keceriaannya.
10. Sahabat Ester dan Isti Terimakasih untuk pengalaman pengalaman warna-warni sejak bersama dari awal masuk teknik walau kita sudah tak sedekat maba dulu.
11. Angkatan 2015 Brother Jon: keti wakomti, ojak, juli, magamaga, nurman, ableh, ade, abil, kiwil, monang, yuda, makpeng, bang ali, bang re, leri, presnawa, angga, fikri, adit, adek brian, kakek ariyan, oppa dokoy, bunaken. Sist Jon: Zealina, rindi gupek, ester, ayu, maul, nopi, isti, eka, dyna, sunar, taira, lia, dana, emak rani, desi, salamah, ayas, tata, aweng. Terimakasih telah menjadi keluarga kecil penulis selama kuliah, bisa menjadi bagian dari kalian sungguh pengalaman yang berharga.
12. Kamu yang selalu memberikan support setiap waktu.
13. Babe marsuno, terimakasih sudah banyak membantu dan memperlalukan saya dengan baik setiap saya membutuhkan babe.

14. Serta semua pihak yang terlibat yang tidak dapat disebutkan satu persatu, penulis mengucapkan terima kasih atas doa dan semoga Allah Subhanallahu wa Ta'ala mencatat dan mengganti semuanya sebagai amal sholeh. *Aamiin*.

Demikian skripsi ini disusun dengan sebaik-baiknya. Semoga dengan adanya skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Selain itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar menjadi lebih baik lagi kedepannya.

Bandar Lampung, 14 Oktober 2019

Penulis

Yogi Dwitama

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
HALAMAN JUDUL	iv
HALAMAN PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
HALAMAN PERNYATAAN	vii
RIWAYAT HIDUP	viii
HALAMAN PERSEMBAHAN	ix
MOTTO	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA	xii
DAFTAR ISI	xvi
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Penelitian	5
C. Batasan Masalah Penelitian	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	

A. Lokasi Daerah Penelitian	6
B. Stratigrafi Daerah Penelitian	7
a. Satuan Lava Anjasmara (Qla).....	10
b. Lava Tua Arjuno-Welirang (Qltaw).....	11
c. Aliran Piroklastik Tua Arjuno–Welirang (Qaptaw).....	11
d. Aliran Piroklastik Penanggungan (Qapp).....	12
e. Erupsi Samping (Qes).....	12
f. Lava Welirang 1 (Qlw1).....	12
g. Aliran Piroklastik Welirang I (Qapw1).....	13
h. Lava Arjuno (Qlar).....	14
i. Aliran Piroklastik Arjuno (Qapa).....	14
j. Lava Welirang II (Qlw2).....	14
k. Lava Kembar II (1) (Qlk2).....	15
l. Aliran Piroklastik Kembar II (1) (Qapk1).....	15
m. Lava Kembar I (Qlk1).....	15
n. Aliran Piroklastik Kembar I (Qapk2).....	16
o. Lava Bakal (Qlb).....	16
p. Lava Kembar II (2) (QlkII 2).....	16
C. Geomorfologi	17
D. Manifesati.....	18

BAB III. TEORI DASAR

A. Metode Magnetotellurik	19
B. Prinsip Elektromagnetik	19
C. Pengolahan Data Magnetotellurik	21
1. Transformasi Fourier	21
2. Robust <i>Processing</i>	22
3. Koreksi <i>Static Shift</i>	22
4. Pemodelan Data Magnetotellurik	23
D. Panas Bumi	26
a. Pengertian panas bumi	26
b. Sistem panas bumi	26

BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian	31
B. Perangkat	31
C. Data Penelitian	32
D. Prosedur Penelitian	32

BAB V. PEMBAHASAN

A. Data Pengamatan	38
B. Pengolahan Data	39
1. Pemilihan <i>time series</i>	39

2. Transformasi Fourier	40
3. Robust <i>Processing</i>	42
4. Seleksi <i>crosspower</i>	44
5. Mengaktifkan <i>Station</i>	45
6. <i>Shifting</i>	60
7. <i>Smoothing</i>	61
8. Koreksi <i>Static Shift</i>	62
9. Pemodelan Inversi 1D.....	63
10. Pemodelan Inversi 2D.....	77

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Data Pengamatan	83
B. Pengolahan Data	84

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Lokasi Daerah Penelitian.....	6
2. Peta Geologi Kota Malang.....	7
3. Model Geologi Tentatif (ESDM, 2017).....	8
4. Peta geologi daerah panasbumi (ESDM, 2017).....	8
5. Peta Geomorfologi (ESDM, 2017).....	16
6. Gelombang elektromagnetik (Derobert, dkk., 2018).....	19
7. Ilustrasi Power Spectrum (Simpson dan Bahr, 2005).....	20
8. Mode TE dan TM	23
9. Stasiun MT, Resistivitas Semu, dan Kurva Inversi 1D	23
10. Model Konseptual Sistem Panas Bumi pada Gunung Api Stratovulkano (Goff dan Janik, 2000).....	26
11. Model Konseptual Umum Sistem Panas Bumi High Terrain (Cumming and Mackie, 2010)	28
12. Komponen Sistem Panas Bumi dan Kaitannya dengan Nilai Resistivitas (Pellerin dkk, 1996)	29
13. Diagram Alir.....	32
14. Data Pengamatan	38
15. <i>Time Series</i>	39

16. Pemilihan <i>Time Series</i>	40
17. Proses FFT pada <i>Software SSMT2000</i>	41
18. Proses FFT	42
19. Menu “Edit PRM” pada <i>Software SSMT2000</i>	43
20. Parameter yang dimasukan pada “Edit PRM”	44
21. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 1 Stasiun MT01	45
22. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 1 Stasiun MT02	46
23. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 1 Stasiun MT03	47
24. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 1 Stasiun MT04	48
25. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 1 Stasiun MT05	49
26. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 1 Stasiun MT06	50
27. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 1 Stasiun MT07	51
28. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 1 Stasiun MT08	52
29. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 2 Stasiun MT01	53
30. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 2 Stasiun MT02	54
31. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A’), pada Line 2 Stasiun MT03	55

32. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A'), pada Line 2 Stasiun MT04	56
33. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A'), pada Line 2 Stasiun MT05	57
34. Seleksi <i>Crosspower</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A'), pada Line 2 Stasiun MT06	58
35. Spengaktifan <i>Station</i> pada Lintasan 1 dan Lintasan 2.....	59
36. Proses <i>Shifting</i> Sebelum (A) dan Sesudah (A'), pada <i>Line</i> 1 Stasiun MT06.....	60
37. Proses <i>Smoothing</i> D+	62
38. Proses Koreksi Statik Sebelum (A) dan Sesudah (A'), pada <i>Line</i> 1 Stasiun MT06.....	63
39. Proses Inversi 1D	65
40. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 1 MT01	66
41. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 1 MT02	66
42. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 1 MT03	67
43. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 1 MT04	67
44. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 1 MT05	68
45. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 1 MT06	68
46. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 1 MT07	69
47. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 1 MT08	69
48. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 2 MT01	70
49. Pemodelan 1D pada <i>Line</i> 2 MT02	70

50. Pemodelan 1D pada <i>Line 2</i> MT03	71
51. Pemodelan 1D pada <i>Line 2</i> MT04	71
52. Pemodelan 1D pada <i>Line 2</i> MT05	72
53. Pemodelan 1D pada <i>Line 2</i> MT06	72
54. Model X-Section Inversi 1D Bostick <i>Line 1</i>	74
55. Model X-Section Inversi 1D Occam <i>Line 1</i>	74
56. Model X-Section Inversi 1D Bostick <i>Line 2</i>	75
57. Model X-Section Inversi 1D Occam <i>Line 2</i>	76
58. Tampilan <i>Mesh</i>	78
59. Model Inversi 2D <i>Line 1</i>	85
60. Model Inversi 2D <i>Line 2</i>	86
61. Model Konseptual Panasbumi	88

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Data Manifestasi Gunung Arjuno-Welirang (ESDM, 2017).....	17
2. Pelaksanaan Kegiatan Penelitian	29
3. Parameter yang digunakan pada Pemodelan	65
4. Parameter Inversi Model.....	80

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pertumbuhan populasi manusia di dunia, menyebabkan kebutuhan akan energi juga semakin meningkat yang mengakibatkan ketersediaan energi di dunia semakin menipis. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sumber daya alam yang dapat berperan sebagai energi alternatif, salah satunya energi panas bumi, energi panas bumi merupakan energi yang dapat diperbaharui, ramah lingkungan, dan bersih, karena emisi CO₂ yang dihasilkan rendah (Daud, 2010).

Di Indonesia kebutuhan energi, telah menjadi kebutuhan pokok dan merupakan salah satu penggerak ekonomi untuk mewujudkan energi berkeadilan menuju masyarakat yang sejahtera. Saat ini, ketergantungan terhadap energi fosil masih relatif tinggi, lebih dari 90% penggunaan energi nasional berasal dari sumber energi fosil. Energi fosil merupakan energi yang tidak terbarukan, sehingga cadangannya semakin lama semakin menipis. Oleh karena itu, pemanfaatan energi baru dan terbarukan yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan menjadi suatu keharusan (ESDM, 2017) .

Dalam rangka mendukung pembangunan energi nasional secara berkelanjutan dan meningkatkan ketahanan energi nasional, pengelolaan energi menjadi hal penting untuk mencapai kemandirian energi yang mengoptimalkan pemanfaatan potensi sumber daya energi dalam negeri. Indonesia dikaruniai potensi sumber daya energi yang begitu besar dan beraneka ragam. Bukan hanya energi fosil, potensi energi terbarukan juga tersebar di seluruh wilayah Indonesia diantaranya, energi panasbumi. Potensi panasbumi di Indonesia termasuk yang terbesar di dunia dengan potensi sumber daya sebesar 11.073 MW dan cadangan sebesar 17.506 MW (KESDM, 2017).

Panasbumi juga sebagai sumber daya alam yang ramah lingkungan dan terbarukan merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dikembangkan untuk menghasilkan listrik dan mendukung pertumbuhan pembangunan ketenagalistrikan di Indonesia. Indonesia memiliki potensi Panasbumi yang melimpah dengan 331 titik potensi yang tersebar dari Sabang sampai Merauke. Panasbumi merupakan sumber energi setempat dan tidak dapat ditransportasikan, sehingga dapat menjadi kearifan lokal energi Indonesia (KESDM, 2017).

Metode magnetotellurik (MT) merupakan salah satu metode geofisika yang banyak diterapkan pada eksplorasi panasbumi serta studi mengenai sesar. Metode tersebut memiliki kelebihan antara lain: dapat memetakan distribusi resistivitas bawah permukaan hingga orde puluhan kilometer tanpa sumber buatan, peralatan yang relatif praktis, sehingga dapat diterapkan pada kondisi

medan yang cenderung sulit, serta konsep *geoelectric strike* pada metode MT yang sering kali berhubungan dengan persebaran struktur-struktur geologi di bawah permukaan (Siripunvaraporn, dkk., 2004).

Metode MT adalah metode elektromagnetik pasif yang melibatkan pengukuran fluktuasi medan listrik dan medan magnet alami yang saling tegak lurus dipermukaan bumi yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai konduktivitas batuan di bawah permukaan bumi dari kedalaman beberapa meter hingga ratusan kilometer (Simpson dan Bahr, 2005). Parameter yang diukur adalah signal elektromagnetik alami, yaitu medan magnet bumi (H_x , H_y , dan H_z) dan medan listrik bumi (E_x dan E_y).sedangkan parameter yang dianalisis adalah *apperent resistivity* dan *phase* (Daud, 2010). Dari pemetaan resistivitas bawah permukaan inilah dapat diketahui dimana letak sistem Panasbumi tersebut dengan lebih akurat, seperti *clay cap*, *reservoar*, dan *heat source*.

Pemodelan resistivitas 1 Dimensi dan 2 Dimensi metode MT pada umumnya dimulai dari mengumpulkan informasi mengenai struktur geologi regional kemudian mengambil data MT dengan orientasi titik pengukuran yang memotong jurus dari struktur tersebut. Setelah pengambilan dan pengolahan data, berbagai teknik dekomposisi tensor dan *plotting* indikator dimensionalitas dilakukan untuk meninjau dan memenuhi asumsi dari dimensionalitas data MT serta untuk menentukan arah *geoelectric strike*. *Geoelectric strike* merupakan arah dimana nilai resistivitas cenderung sama. Setelah *geoelectric strike* ditentukan, komponen-komponen impedansi dirotasi ke arah *geoelectric strike*

dan pemodelan dilakukan dengan mencocokkan kurva respon impedansi *off-diagonal* (*transverse electric* TE dan *transverse magnetic* TM) dengan kurva resistivitas terhadap kedalaman (Siripunvaraporn, dkk., 2004).

Ketika Model Panasbumi dapat dikembangkan dari banyak data selain model 1 Dimensi dan 2 Dimensi, bersama dengan respons sistem terhadap produksi dan injeksi, model konseptual dan model simulasi numerik dapat disempurnakan lebih lanjut. Model konseptual ini akan bervariasi dari satu pakar ke pakar lainnya, tergantung pada latar belakang individu dan bobot yang diberikan pada data tertentu. Namun, karena model harus konsisten dengan semua aspek yang dapat diamati dari sistem, mereka semua harus memberikan hasil dasar yang sangat mirip. Model-model ini akan bervariasi di antara individu, tergantung pada kebutuhan mereka. Misalnya, detail halus yang penting dalam model aliran di sekitar sumur tertentu akan menjadi tidak signifikan karena skala meningkat untuk memasukkan sumber daya Panasbumi lengkap (Malcom, dkk., 2017).

Topik ini sangat menarik untuk dikaji dan menjadi dasar dalam pemilihan penelitian guna menyelesaikan penyusunan tugas akhir. Berdasarkan uraian diatas, penulis memilih judul **“Analisis Inversi Model Panasbumi menggunakan Data *Magnetotelluric* (MT) pada Lapangan YOGI”** untuk dikaji lebih lanjut.

B. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memperoleh model penampang inversi 1 Dimensi dan 2 Dimensi panasbumi data Magnetotellurik.
2. Memperoleh persebaran nilai resistivitas panasbumi berdasarkan model 1 Dimensi dan model 2 Dimensi data Magnetotellurik.
3. Mengidentifikasi lapisan bawah permukaan berdasarkan nilai persebaran resistivitas.

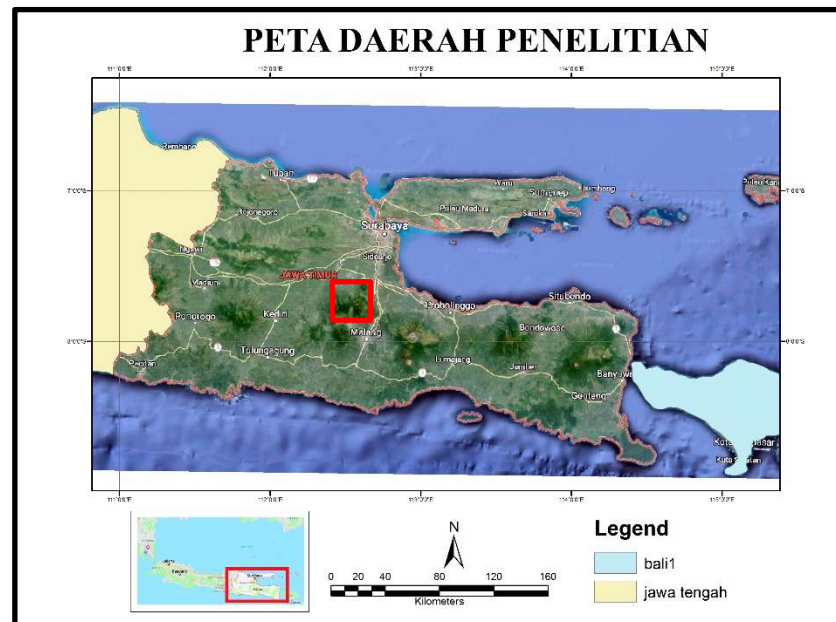
C. Batasan Masalah Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah memperoleh model inversi 1 Dimensi dan model 2 Dimensi data magnetotellurik, pada lapangan “YOGI”.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Lokasi Daerah Penelitian

Lapangan kajian kali ini berada pada lapangan panasbumi “X” terletak di Kota Malang Provinsi Jawa Timur. (**Gambar 1**).



Gambar 1. Lokasi Daerah Penelitian

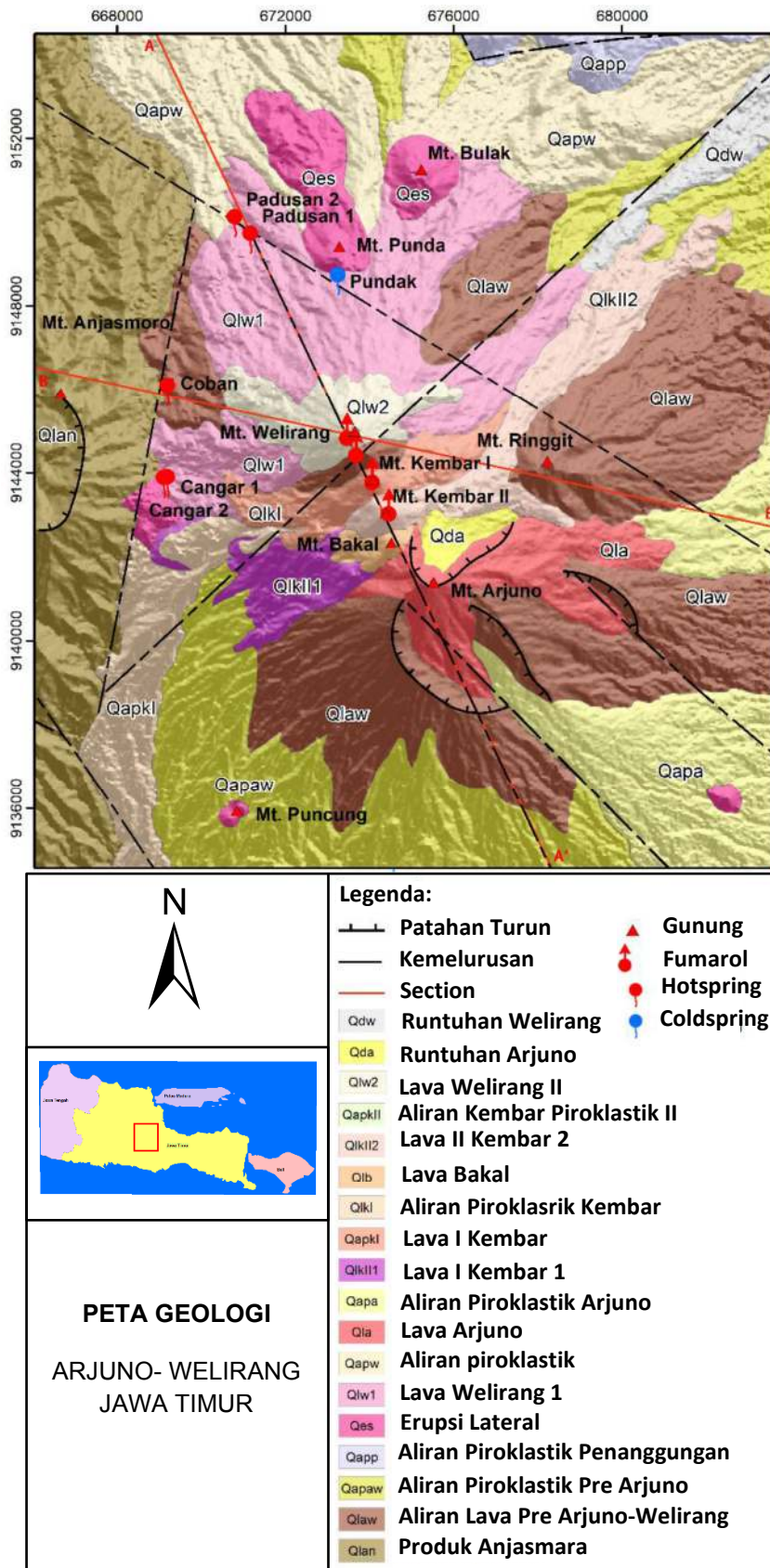
Lokasi berada pada daerah kawasan gunungapi aktif tipe A dan termasuk daerah rawan bencana letusan gunungapi dan kerentanan tanah longsor. Catatan sejarah kompleks menunjukkan kegiatan vulkanismenya pada tahun 1950 dimana terjadi letusan abu hingga ketinggian 2500 m dan pada bulan Agustus 1952 terjadi hembusan asap putih dan lumpur belerang di kawah Plupuh.

B. Stratigrafi Daerah Penelitian

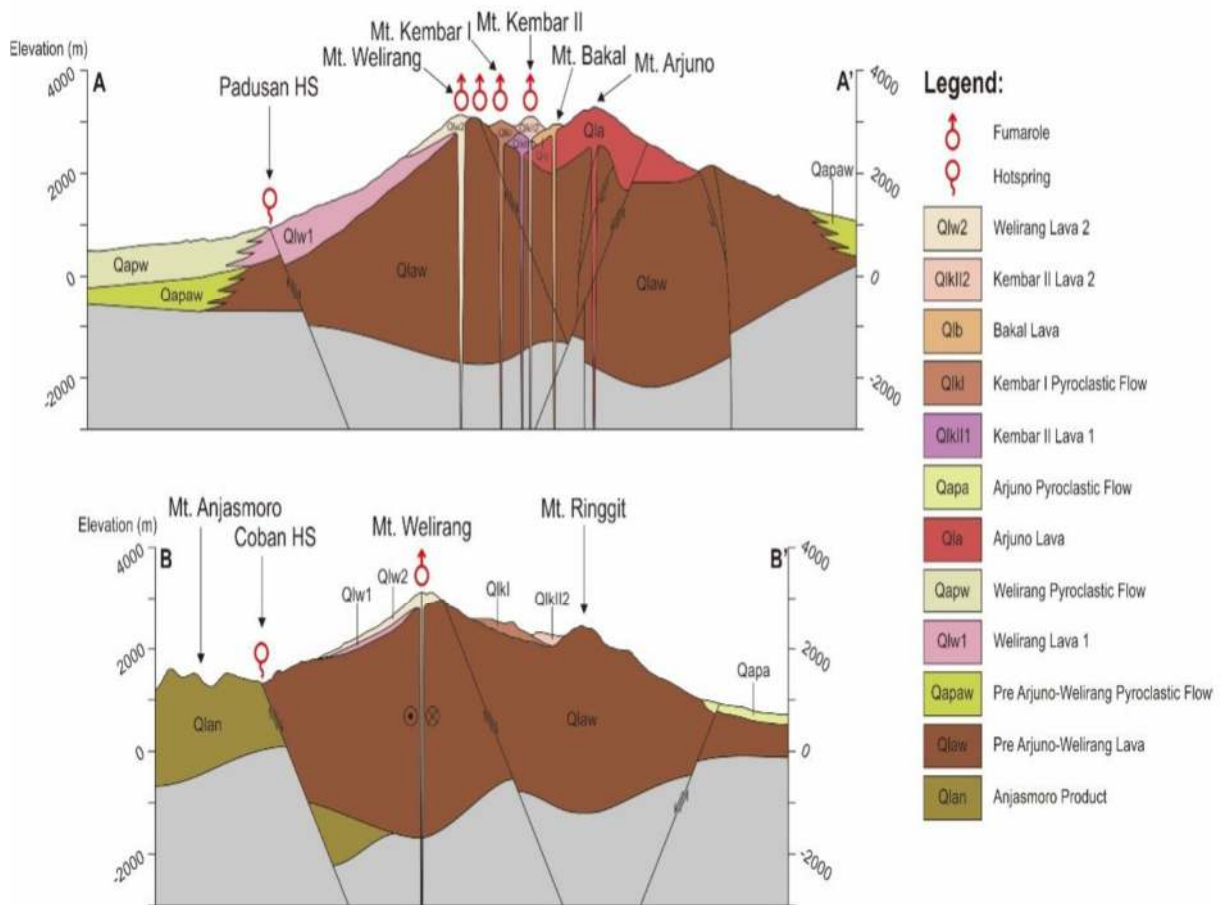
Secara geologi, batuan pada umumnya berjenis andesit - basaltik yang berasal dari beberapa pusat erupsi seperti Gunung-Arjuno, Welirang, Kembar I - II, Gunung Bakal, Gunung Pundak dan Gunung Bulak, sehingga Gunung Arjuno-Welirang diklasifikasikan sebagai kompleks gunungapi. Hasil penentuan umur (K-Ar) menunjukkan bahwa batuan produk lava basal Gunung Welirang terbentuk pada umur 200.000 tahun lalu. Pembentukan kompleks Gunung Arjuno-Welirang dipengaruhi oleh aktivitas tektonik yang searah dengan pola subduksi pada Zaman Kapur (pola Meratus) yang berarah barat daya - timur laut.

Struktur geologis prospek Arjuno-Welirang ditunjukkan pada Gambar. 2. Gambar menunjukkan beberapa kelurusan struktural dalam tren NE-SW dan NW-SE. Tubuh Arjuno, memperlihatkan empat struktur setengah lingkaran. Tiga struktur runtuh menunjukkan adanya struktur luas NW-SE yang bertanggung jawab atas deformasi. Gunung muda Struktur runtuh Arjuno mungkin disebabkan oleh tubuh massa yang tidak stabil yang runtuh ke utara dan diendapkan sebagai unit serpihan tepat di bawah Mt. Puncak Arjuno.

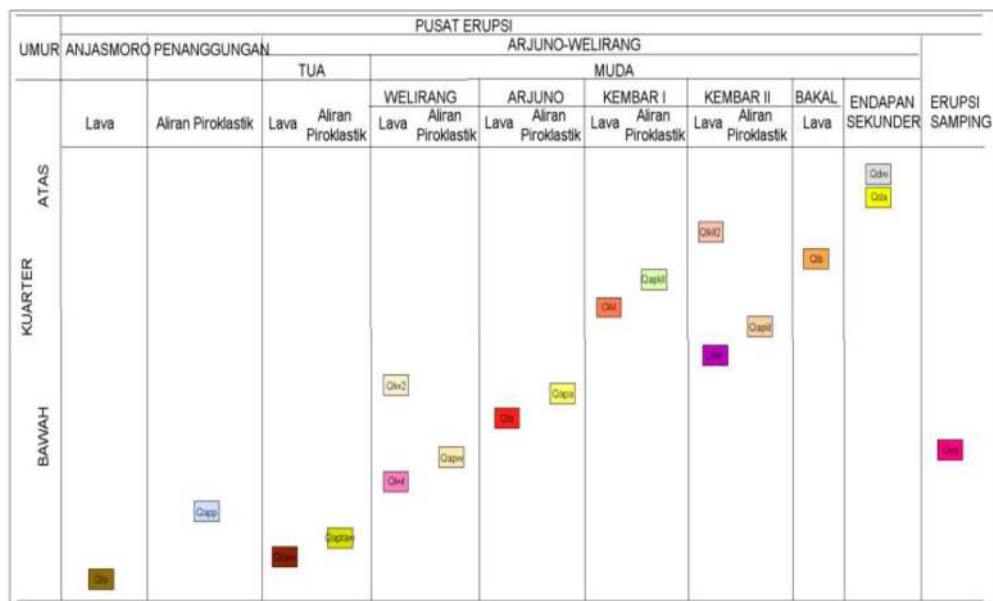
Struktur lain dengan arah NW-SE ditempati oleh Sesar Padusan-Pundak dan Sesar Arjuno-Welirang. struktur- struktur ini bertemu di daerah NW, tepatnya di tempat pemandian air panas Padusan muncul. Sesar Arjuno-Welirang adalah struktur terbuka yang merupakan jalan bagi magma untuk mencapai permukaan. Selain itu, struktur ini juga dianggap permeabel untuk fluida



Gambar 2. Peta Geologi (Daud, dkk., 2019)



Gambar 3. Model Geologi Tentatif (Daud, dkk., 2019)



Gambar 4. Peta geologi daerah panasbumi (ESDM, 2017)

Stratigrafi daerah penyelidikan terdiri dari 18 (delapan belas) satuan batuan, yang semuanya berupa batuan vulkanik. Komplek vulkanik di daerah penyelidikan dibagi tiga produk utama, yaitu produk Gunungapi Anjasmoro (Lava Anjasmoro), produk Gunung Penanggungan (Aliran Piroklastik Gunung Penanggungan) dan produk Gunung Arjuno-Welirang (Lava Arjuno-Welirang tua, aliran piroklastik Arjuno - Welirang tua, erupsi samping, Lava Welirang I, aliran Piroklastik Wilerang I, Lava Arjuno, aliran Piroklastik Arjuno, Lava Welirang II, Lava Kembar II (1), aliran Piroklastik Kembar I, Lava Kembar I, aliran Piroklastik Kembar II dan Lava Kembar II (2) serta produk longoran Welirang dan Arjuno. komponen stratigrafi daerah Gunung Arjuno-Welirang dapat dijelaskan lebih detail (Soetoyo, 2010) sebagai berikut:

a. Satuan Lava Anjasmara (Q1a)

Satuan ini tersebar di bagian barat daerah survei, tersusun oleh lava andesit basaltik dan breksi vulkanik. Lava andesit berwarna abu-abu gelap afanitik porfiritik, keras dan masif. Di beberapa daerah terlihat jelas struktur vesikular yang mencerminkan lava pada bagian atas, terdapat kekar berlembar (*sheeting joint*), tebal satuan ini lebih dari 1000 m dengan ciri topografi curam dengan bentuk dinding sesar yang cukup luas dengan bentuk radial seperti rim kaldera. Batuan tersusun oleh plagioklas dan mineral mafik (olivin, piroksen) yang cukup banyak. Singkapan muncul di sepanjang jalan dari arah Padusan ke arah kota Batu. Breksi vulkanik berwarna abu-abu gelap sampai kehitaman, menyudut, kompak dan keras,

terdiri dari komponen lava basaltik berukuran lapili - bom tersusun oleh mineral plagioklas dan piroksen, matriks berwarna coklat kehitaman tersusun tufa kasar.

b. Lava Tua Arjuno-Welirang (Qltaw)

Satuan ini tersebar di bagian barat hingga ke selatan daerah survei terutama di sekitar Gunung Ringgit, Gunung Lincing, di bagian utara sekitar Prigen dan juga tersingkap sedikit di bagian barat daerah Air Panas Coban. Karakteristik batuan berupa lava andesit-basaltis dengan tekstur porfiritik, keras dan tebalnya, yaitu >1000 m. Mineral penyusun didominasi oleh mineral mafik (piroksen) dan plagioklas. Beberapa tempat berstruktur kekar berlembar. Satuan ini diduga sebagai tubuh tua dari kompleks Arjuno-Welirang yang masih tersingkap di permukaan.

c. Aliran Piroklastik Tua Arjuno-Welirang (Qaptaw)

Satuan ini terhampar di bagian selatan daerah survei, berupa aliran piroklastik berwarna abu-abu kecoklatan, terdiri dari komponen lava, *scorea* dan *pumice* berukuran lapili sampai bom, menyudut sampai menyudut tanggung, vesikular tertanam dalam matrik tufa pasir berwarna kecoklatan. Satuan ini diperkirakan merupakan produk eksplosif dari tubuh lava tua kompleks Arjuno-Welirang yang berumur Kuartar awal, hal tersebut berkaitan dengan munculnya *pumice* dan *scorea* yang merupakan material hasil eksplosif besar. Disamping itu pembentukan

satuan ini diperkirakan berhubungan dengan runtuhnya tubuh Arjuno-Welirang yang membentuk struktur *ring fracture*.

d. Aliran Piroklastik Penanggungan (Qapp)

Satuan ini tersebar di bagian timur laut daerah survei, tersusun oleh aliran piroklastik berwarna abu-abu kecoklatan dengan komponen lava andesit produk Gunung Penanggungan, angular. Matrik batuan berupa tuf berwarna kecoklatan.

e. Erupsi Samping (Qes)

Satuan ini tersebar di tiga lokasi, masing-masing adalah lava produk Gunung Bulak, lava produk Gunung Pundak di bagian utara dan lava produk Gunung Tanggungan di bagian barat kompleks Arjuno-Welirang. Lava berkomposisi andesit - basalik berwarna abu-abu tua - kehitaman, afanitik - porfiritik dengan mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen dan sedikit olivin. Produk samping ini terbentuk setelah pembentukan lava Arjuno-Welirang tua yang muncul melalui zona struktur di bagian samping kompleks Arjuno-Welirang, memiliki ketinggian sampai 300 m dari lereng sampingnya.

f. Lava Welirang 1 (Qlw1)

Satuan ini tersebar di bagian tengah ke arah utara daerah survei. Lava basal berwarna abu-abu kehitaman, porfiritik, masif, terdiri dari mineral plagioklas, piroksen, olivin dan mineral sekunder berupa mineral lempung

dan oksida besi. Satuan ini diduga merupakan produk Sin-Arjuno Welirang yang terbentuk setelah terjadinya kolaps/ subsiden pada batuan pra-Arjuno Welirang. Munculnya lava Welirang kemungkinan diakibatkan oleh terbentuknya struktur regional yang berarah barat laut-tenggara yang memfasilitasi naiknya lava melalui zona tersebut ke permukaan. Struktur tersebut sejajar dengan munculnya pusat erupsi Gunung Kembar I, II dan Arjuno.

g. Aliran Piroklastik Welirang I (Qapw1)

Satuan ini tersebar di bagian utara daerah survei, di sekitar Padusan, Pacet hingga Kenang di kaki Gunung Penanggungan. Satuan ini memiliki hubungan yang selaras dengan Lava Welirang I. Diperkirakan terbentuk sebagai akibat adanya letusan eksplosif yang juga membentuk *ring fracture* yang menghasilkan produk aliran piroklastik yang tersebar luas dengan jatuhan piroklastik tipis. Aliran piroklastik berwarna abu-abu tua kecoklatan, keras, menyudut dengan komponen lava andesit-basal berukuran bongkah-lapili yang tertanam pada matrik tuf berukuran sedang berwarna kecoklatan. Satuan ini menindih Lava Welirang dan aliran piroklastik tua Pra-Arjuno Welirang. Jatuhan piroklastik tipis berwarna abu-abu tua, berukuran sedang tersingkap di daerah Claket menindih Aliran Piroklastik Welirang 1 dengan ketebalan <30 cm.

h. Lava Arjuno (Qlar)

Satuan ini menempati bagian tengah kompleks Arjuno-Welirang dengan penyebaran ke arah tenggara. Produk Arjuno terbentuk setelah terjadinya subsiden yang merupakan Sin-Arjuno Welirang. Batuan berkomposisi lava basal, berwarna abu-abu kehitaman, afanitik - porfiritik, setempat terdapat struktur kekar berlembar. Mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen dan olivin serta mineral lempung sedikit oksida besi. Satuan ini mengalami aktifitas struktur yang lebih kuat dibanding satuan lainnya dengan ditunjukkan dengan terbentuknya longsoran berarah tenggara dan timur laut.

i. Aliran Piroklastik Arjuno (Qapa)

Satuan tersebar di bagian tenggara daerah survei di sekitar Tambaksari. Tersusun oleh aliran piroklastik produk Arjuno yang berwarna abu-abu kecoklatan, dengan komponen lava basal berukuran lapili - bom dan matrik tuf kecoklatan berukuran sedang. Satuan ini menindih secara selaras satuan Lava Arjuno.

j. Lava Welirang II (Qlw2)

Satuan ini menindih Satuan Lava Welirang I dengan pusat erupsi sama. Pada bagian puncak terbentuk kawah yang masih aktif dan terbagi menjadi dua lokasi. Kawah Jero berada di bagian puncak dan Kawah Pluluh berada di tepian, hanya berjarak <500 m antara keduanya. Batuan berupa lava basal dan aliran piroklastik. Pada masing-masing kawah terbentuk

pengendapan belerang dalam jumlah yang banyak. Alterasi, solfatara dan fumarol ditemukan pada satuan ini. Lava Welirang berjenis basal, tekstur porfiritik, berongga (*scoreous*) menunjukkan adanya proses pendinginan di permukaan dengan cepat dan banyak mengeluarkan gas. Lava ini berselang-seling dengan aliran piroklastik dimana tersingkap charcoal sebagai salah satu komponennya.

k. Lava Kembar II (1) (Qlk2)

Satuan ini berada diantara puncak Arjuno dan Welirang, terbentuk setelah terjadinya proses amblesan yang kemudian membentuk pola kesejajaran pusat erupsinya, salah satunya adalah Gunung Kembar II. Aliran lava mengalir ke bagian barat hingga daerah Cangar. Komposisi batuan berupa lava basal berwarna abu-abu, porfiritik dengan mineral penyusun berupa plagioklas, piroksen dan sedikit olivin.

l. Aliran Piroklastik Kembar II (1) (Qapk1)

Satuan ini penyebarannya ke arah timur dari pusat erupsi Gunung Kembar II. Mengisi bagian depresi pada elevasi yang lebih rendah akibat struktur Arjuno dan membentuk pada puncak Gunung Ringgit yang memiliki elevasi lebih tinggi.

m. Lava Kembar I (Qlk1)

Penyebaran dari lava Kembar ke arah barat dan timur dari puncak erupsinya. Karakteristik batuan berupa lava andesit *hornbeln* dengan

presentasi mineral *hornblen* yang lebih banyak dari piroksen. Porfiritik dan terdiri dari mineral lava plagioklas, *hornblen*, piroksen yang tertanam dalam massa dasar gelas vulkanik. Vesikular akibat pelepasan gas di permukaan.

n. Aliran Piroklastik Kembar I (Qapk2)

Satuan ini berada di bagian barat daya daerah survei dengan penyebaran di sekitar Sumber Brantas ke arah Kota Batu dan muncul sedikit di bagian timur pusat erupsinya. Aliran piroklastik berwarna coklat dengan komponen lava berukuran lapili-bom, matrik berupa abu vulkanik berwarna kehitaman. Air panas Cangar muncul melalui rongga dan rekahan dari satuan ini, menindih satuan aliran piroklastik pra-Arjuno Welirang dan lava Kembar II (1).

o. Lava Bakal (Qlb)

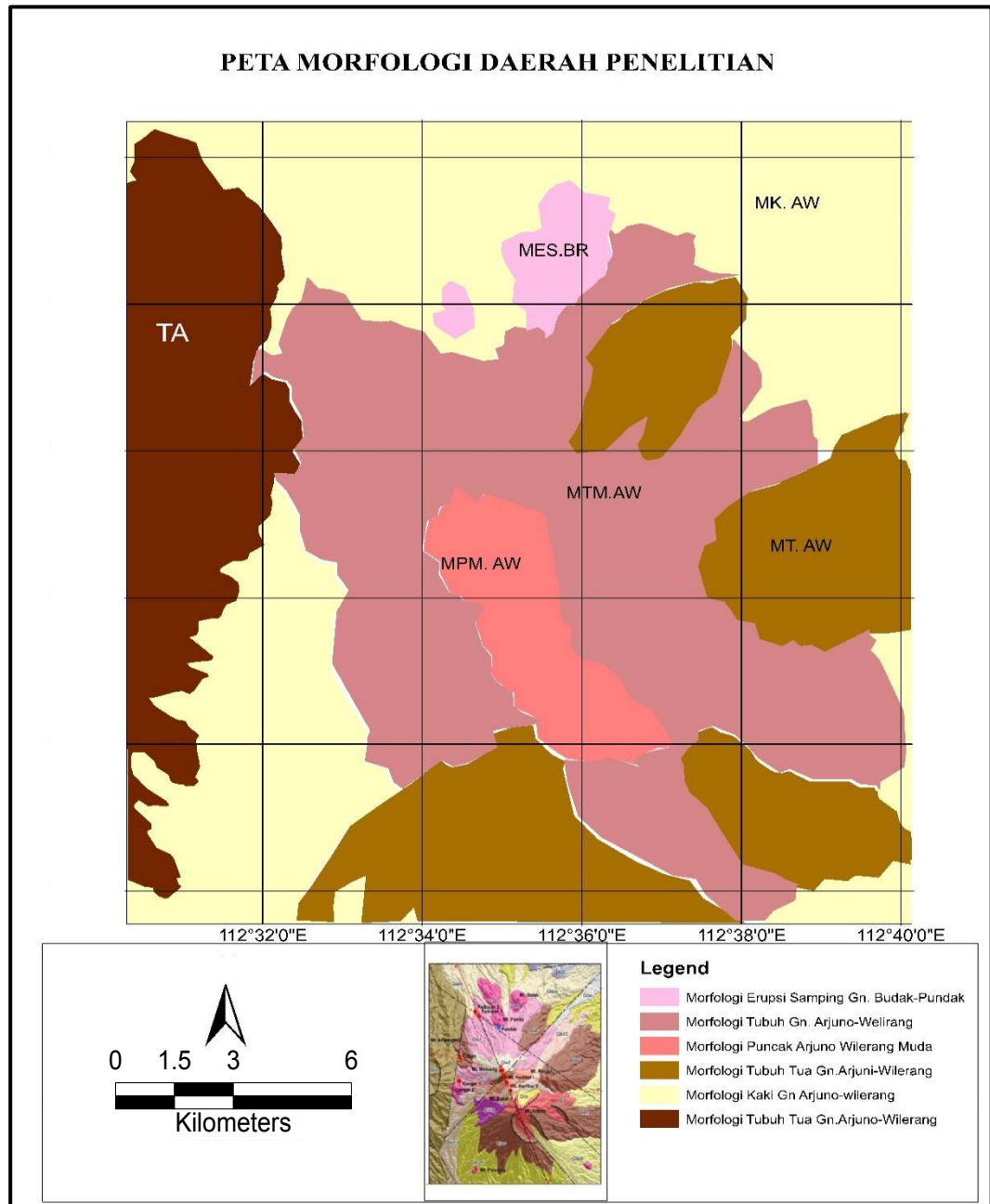
Satuan ini penyebarannya hanya sedikit. Volume lava yang dikeluarkan tidak menyebar luas hingga ke lereng bawah kompleks Arjuno-Welirang. Selain itu aliran lavanya dibatasi oleh morfologi yang dibentuk oleh aliran piroklastik Kembar II. Satuan ini menindih Lava Kembar II dan Lava Arjuno.

p. Lava Kembar II (2) (QlkII 2)

Satuan ini diperkirakan merupakan produk terakhir dari pembentukan kompleks Arjuno-Welirang yang didasarkan pada rekonstruksi pola

kemenerusan dan bentuk pola kontur. Satuan ini dibatasi oleh Lava Bakal dan Lava Kembar I.

C. Geomorfologi



Gambar 5. Peta Geomorfologi (ESDM, 2017)

Morfologi daerah penyelidikan dibagi menjadi 7 (tujuh) satuan geomorfologi, yaitu Satuan Morfologi Tubuh Gunung Anjasmoro, Morfologi Tubuh Tua

Gunung Arjuno-Welirang, Morfologi Tubuh Erupsi Samping, Morfologi Puncak Gunung Arjuno Welirang, Morfologi Kaki Gunung Arjuno - Welirang dan Morfologi Kaki Gunung Penanggungan.

D. Manifestasi

Sumber panas (*heat source*) diperkirakan berasal dari bawah kerucut Gunung Arjuno-Welirang. Sumber panas akan memanasi fluida yang tersimpan dalam reservoir yang ditutupi oleh batuan penudung (*caprock*). Manifestasi fumarola/solfatara muncul di sekitar puncak Gunung Welirang sebagai zona *upflow*, kemudian manifestasi air termal muncul di Coban, Cangar, dan Padusan yang diinterpretasikan sebagai zona *outflow* dalam sistem panasbumi Gunung Arjuno-Welirang. Area *recharge* sistem panas bumi Gunung Arjuno-Welirang diduga berada pada tubuh bagian utara, timur, dan selatan Gunung Arjuno-Welirang pada elevasi yang relatif rendah.

Tabel 1. Data Manifestasi Gunung Arjuno-Welirang (ESDM, 2017)

Lokasi sampel	Jenis	Bujur	Lintang	Elevasi (m)	Temperatur (T°C)	pH
Padusan 1	Air Panas	112,552	-7,6893	893	55	7,8
Padusan 2	Air Panas	112,565	-7,6857	901	50	8,3
Coban	Air Panas	112,534	-7,7222	1.348	39,4	8
Cangar 1	Air Panas	112,534	-7,7421	1.611	54,1	8,3

III. TEORI DASAR

A. Metode *Magnetotelluric* (MT)

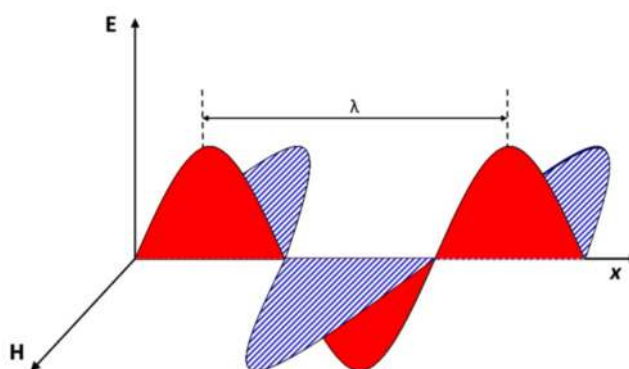
Magnetotellurik (MT) merupakan salah satu metode geofisika yang mengukur medan elektromagnetik alam yang dipancarkan oleh bumi. Mengembangkan teori yang mendasari metode magnetotellurik. Mereka mengamati bahwa medan listrik dan medan magnet berhubungan dengan arus *telluric* yang mengalir di bumi sebagai akibat dari variasi medan elektromagnetik alami bumi yang bergantung pada sifat kelistrikan terutama konduktivitas medium (bumi) (Simpson dan Bahr, 2005).

Metode magnetotellurik (MT) adalah metode *sounding* elektromagnetik (EM) dengan mengukur secara pasif komponen medan listrik (E) dan medan magnet alam (H) yang berubah terhadap waktu. Perbandingan antara medan listrik dengan medan magnet yang saling tegak lurus disebut impedansi yang merupakan sifat kelistrikan suatu medium seperti konduktivitas dan resistivitas. Kurva *sounding* yang dihasilkan dari metode MT merupakan kurva resistivitas semu terhadap frekuensi yang menggambarkan variasi konduktivitas listrik terhadap kedalaman. Sehingga secara umum metode MT

dapat digunakan untuk memperoleh informasi mengenai struktur tahanan jenis bawah permukaan (Simpson dan Bahr, 2005).

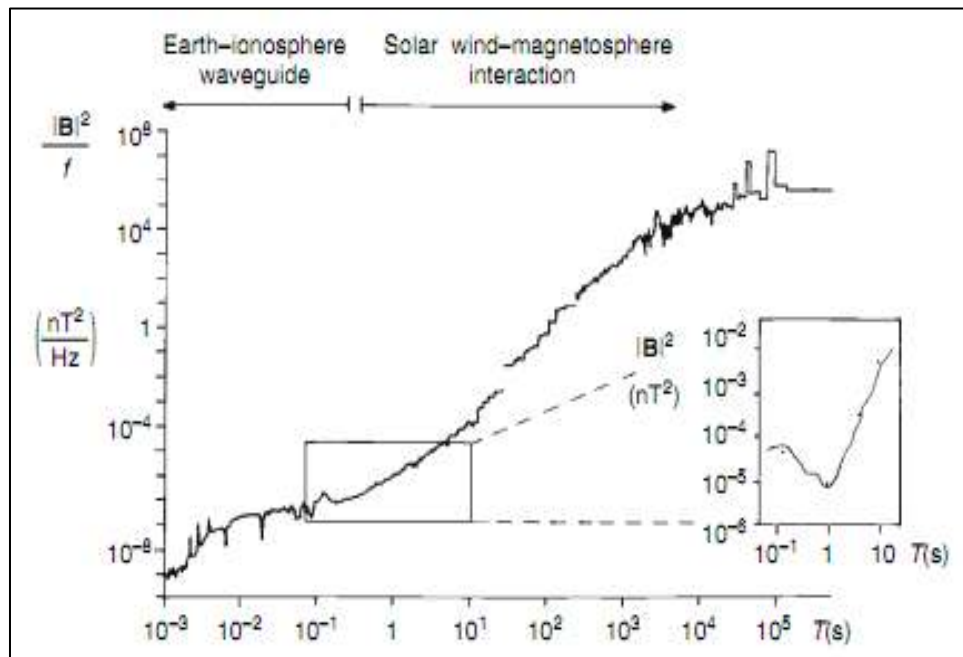
B. Prinsip Elektromagnetik

Teori gelombang elektromagnetik pertama kali dikemukakan oleh James Clerk Maxwell. Teori ini berasal dari beberapa hukum dasar: Hukum Coulomb, Hukum Biot-Savart, dan Hukum Faraday. Hukum Coulomb menyatakan bahwa muatan listrik dapat menghasilkan medan listrik. Hukum Biot-Savart menyatakan bagaimana arus listrik dapat menghasilkan medan magnet. Hukum Faraday menyatakan bahwa perubahan medan magnet dapat menghasilkan gaya gerak listrik. Maxwell mengatakan jika perubahan medan magnet dapat menghasilkan medan listrik, hal sebaliknya juga dapat terjadi, yaitu perubahan medan listrik menimbulkan medan magnet. Menurut Maxwell, ketika terjadi perubahan medan listrik E , akan terjadi perubahan medan magnet B . Perubahan medan magnet akan menyebabkan perubahan medan listrik dan seterusnya. Maxwell menyatakan bahwa perubahan medan listrik dan medan magnet ini menghasilkan gelombang listrik dan magnetik yang dapat merambat di ruang hampa.



Gambar 6. Gelombang elektromagnetik (Dérobert, dkk., 2018)

Dalam magnetotellurik, variasi waktu dalam medan elektromagnetik di bumi diukur dalam rangka untuk menentukan resistivitas elektrik dari struktur bawah permukaan. Medan elektromagnetik tersebut umumnya digunakan dikarenakan fenomena sumber eksternal seperti badai magnetik dan peristiwa *lighting* dan dikarenakan variasi geologi. Badai magnetik adalah variasi waktu dalam *solar wind*, dimana terdefleksi oleh medan magnetik di dalam bumi yang membentuk magnetosfer. Variasi waktu di dalam *solar wind* dapat menginduksi arus elektrik yang besar di ionosfer yang menyebabkan perubahan besar dalam medan magnetik di permukaan bumi dengan frekuensi <1 Hz. Sedangkan variasi waktu dalam medan elektromagnetik alam dengan frekuensi >1 Hz disebabkan oleh peristiwa *lighting* (lihat Gambar 3) (Simpson dan Bahr, 2005).



Gambar 7. Ilustrasi *Power Spectrum* (Simpson dan Bahr, 2005)

Secara umum, fenomena elektromagnetik dapat dijelaskan secara matematis melalui persamaan Maxwell yang dituliskan dalam persamaan:

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1)$$

$$\nabla \times H = j + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot B = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \cdot D = \rho \quad (4)$$

Dimana E adalah medan listrik (Volt/m), B adalah fluks atau induksi magnetik (Weber/m² atau Tesla), H adalah medan magnet (Ampere/m), j adalah rapat arus (Ampere/m²), D adalah perpindahan listrik (Coulomb/m²), dan ρ adalah rapat muata listrik (C/m³) (Simpson dan Bahr, 2005).

C. Skin Depth

Metode MT bergantung pada penetrasi medan EM yang masuk kedalam bumi. Gelombang elektromagnetik dan konduktivitas batuan bumi itu sendiri yang akan berpengaruh terhadap penetrasi. Metode magnetotellurik (MT) memiliki penetrasi yang sangat dalam yaitu dapat mencapai lebih dari 3 km. Semakin kecil frekuensi dari alat yang kita gunakan, maka akan semakin dalam penetrasi yang diperoleh. Akan tetapi proses perekaman data menjadi semakin lama (Simpson dan Karsten, 2005).

Besaran *skin depth* digunakan untuk memperkirakan kedalaman penetrasi atau kedalaman investigasi gelombang elektromagnetik. Adapun skin depth dalam metode *Magnetotellurik* dapat dituliskan dalam (Persamaan 3) berikut ini:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (5)$$

(Simpson dan Karsten, 2005).

Dimana adalah kedalaman penetrasi (m), ρ adalah resistivitas medium ($ohm.m$). Sementara f adalah nilai frekuensi dari gelombang EM tersebut. Dari (Persamaan 3), terlihat bahwa skin depth tidak hanya dipengaruhi oleh besarnya frekuensi alat yang kita gunakan, tetapi faktor resistivitas formasi batuan juga turut mempengaruhi. Semakin besar frekuensi alat yang kita gunakan, maka penetrasi yang diperoleh akan semakin dangkal. Namun, ketika frekuensi alat yang digunakan semakin kecil, maka penetrasi yang dihasilkan akan semakin dalam. Sementara dengan frekuensi alat yang sama, semakin besar nilai resistivitas formasi batuan yang ada dibawah lapisan bumi maka hasil penetrasi yang diperoleh akan semakin dalam. Sedangkan jika lapisan di bawah permukaan memiliki resistivitas formasi yang kecil, maka penetrasi yang diperoleh juga semakin dangkal.

Besar kecilnya penetrasi bergantung oleh nilai resistivitas batuan dikarenakan lapisan yang memiliki nilai resistivitas rendah akan cenderung lebih mudah mengalirkan arus dibandingkan dengan lapisan yang lebih resistif. Ketika lapisan konduktif tersebut mendapat injeksi arus dari luar, maka arus luar akan lebih cenderung mengalir hanya dilapisan konduktif saja, tidak mengalir ke lapisan di bawahnya yang lebih resistif. Oleh karena itu, faktor resistivitas formasi batuan akan sangat mempengaruhi besar kedalaman penetrasi yang diperoleh. Parameter yang diukur dalam survei Magnetotellurik (MT) adalah medan listrik dan medan magnet di wilayah tersebut (Daud, 2010).

D. Pengolahan Data Magnetotellurik

Pengolahan data MT dimaksudkan untuk mengekstraksi fungsi transfer antara medan listrik dan medan magnet dalam domain frekuensi yang mengandung informasi mengenai distribusi tahanan-jenis bawah permukaan dan untuk meminimalisasi noise pada saat pengukuran. Pada pengolahan data ini dilakukan beberapa tahapan yaitu:

a. Transformasi *Fourier*

Pada tahapan ini dilakukan transformasi dari data *time series* yang didapatkan pada saat akuisisi data dari komponen listrik E_x , E_y , dan medan magnet H_x , H_y , dan H_z . Domain waktu tersebut ditransformasi ke dalam domain frekuensi menggunakan transformasi Fourier. Berikut ini merupakan fungsi dari Transformasi Fourier dengan $\chi(\omega)$ adalah fungsi gelombang dalam frekuensi domain, $\chi(t)$ adalah fungsi gelombang dalam domain waktu, i adalah bilangan imajiner, $\omega = 2\pi f$ adalah frekuensi angular, dan t adalah waktu (Simpson dan Bahr, 2005).

$$\chi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{i\omega t} dt \quad (6)$$

Persamaan 5 merupakan persamaan matematis dari transformasi *fourier* (Simpson dan Bahr, 2005).

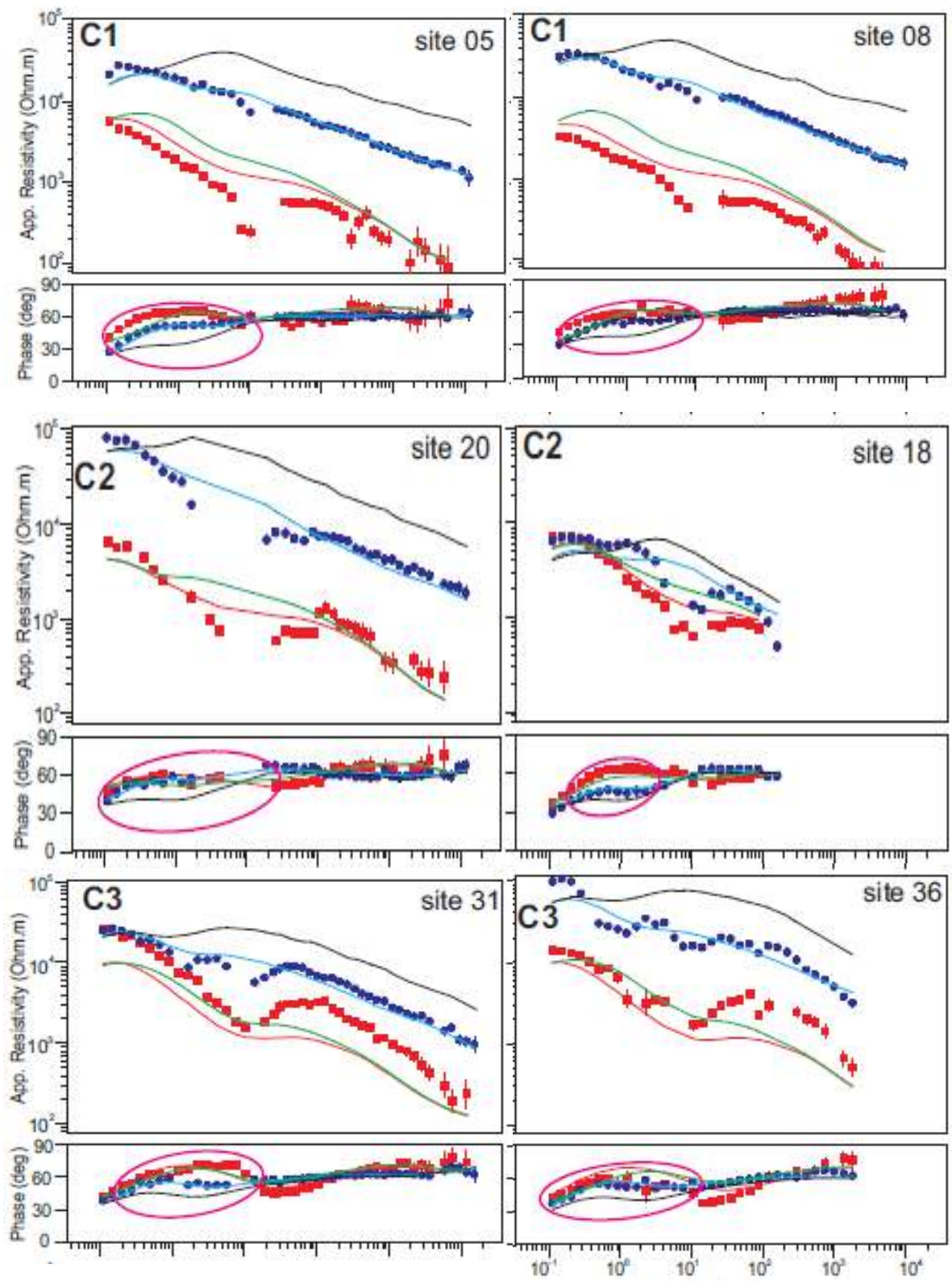
b. *Robust Processing*

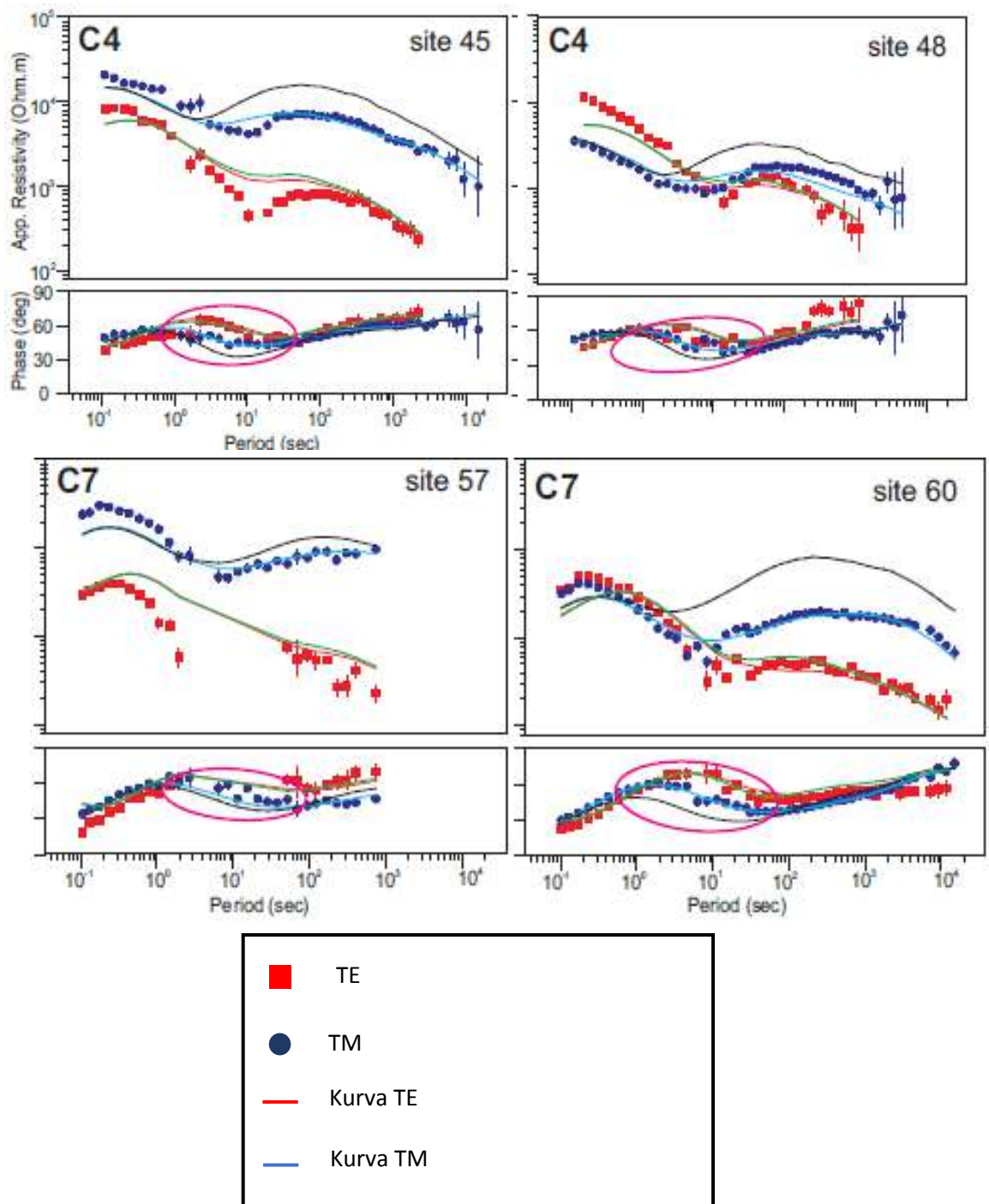
Robust Processing adalah filter noise bagi AMT yang berada pada SSMT 2000. *Robust Processing* ini memakai beberapa pengukuran dengan menggunakan teknik geostatistik yakni mengidentifikasi dan menghapus data

yang menyimpang atau dianggap noise. *Robust Processing* menggunakan beberapa pengukuran suatu kontribusi individual dari rata-rata untuk merendahkan bobot *outliers* (data yang menyimpang) pada iterasi selanjutnya (Simpson dan Bahr, 2005).

c. Koreksi *Static Shift*

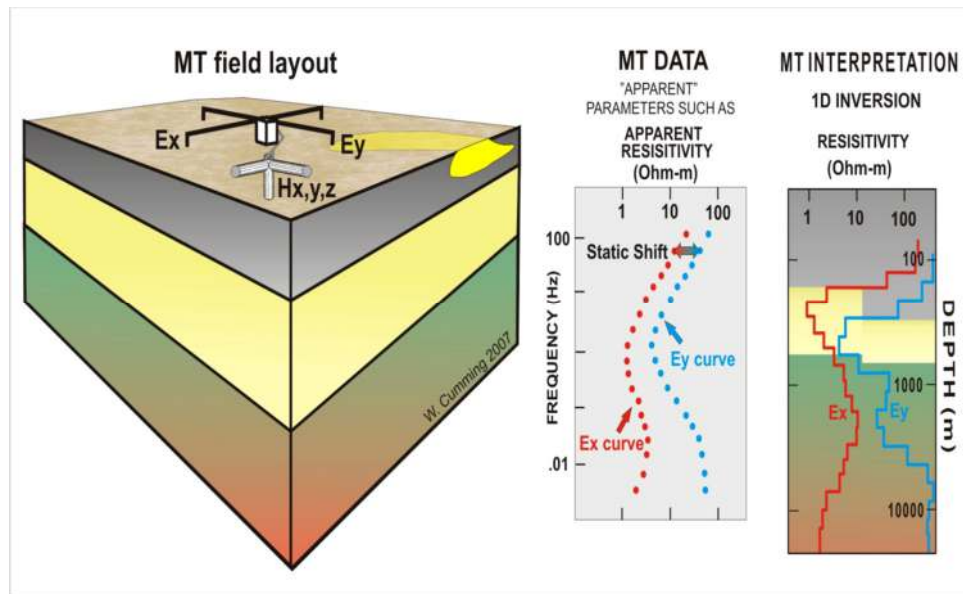
Dalam metode pengukuran MT, terdapat dua metode pengukuran yang dapat membantu dalam proses pemodelan atau interpretasi tahap awal, yaitu Transverse Electric Mode, pada komponen yang menunjukkan medan listriknya sejajar dengan arah struktur utama dinamakan Transvers Electric (TE) mode atau juga disebut E-Polarization. Transverse Magnetic Mode, pada komponen yang menunjukkan medan magnet yang sejajar dengan arah struktur utama dinamakan Transverse Magnetic (TM) mode atau disebut juga B-Polarization. Biasanya kurva TE dan TM selalu berhimpitan. Namun pada kebanyakan kasus kurva tersebut tidak berhimpitan atau disebut *shifting*. Hal ini akan menyebabkan nilai resistivitas lapisan batumannya akan salah. Koreksi *Static Shift* yakni memilah secara manual titik-titik pada kurva TE dan TM agar mendekati kurva yang seharusnya. Fenomena efek statik ini dikarenakan oleh heterogenitas permukaan, efek topografi, dan adanya kontak vertikal (Simpson dan Bahr, 2005).





Gambar 8. Mode TE dan TM (Malleswari, dkk., 2018)

d. Pemodelan Data Magnetotellurik



Gambar 9. Stasiun MT, Resistivitas Semu, dan Kurva Inversi 1D (cumming dan mackie, 2010)

Pemodelan dimaksudkan untuk mengekstraksi informasi yang terkandung dalam data untuk memperkirakan distribusi tahanan-jenis bawah permukaan melalui model-model. Untuk melihat distribusi tahanan-jenis bawah permukaan, data MT *multi-site* ditampilkan dalam bentuk penampang. Penampang tersebut diperoleh melalui pemodelan 1-Dimensi (1-D) dan 2-Dimensi (2-D) dengan data masukan berupa impedansi *TE-mode* dan *TM-mode*.

Model 1-D berupa model berlapis horizontal, yaitu model yang terdiri dari beberapa lapisan, dimana tahanan jenis tiap lapisan homogen. Dalam hal ini parameter model 1-D adalah tahanan jenis dan ketebalan tiap lapisan. Secara umum hubungan data dari parameter model dinyatakan oleh :

$$d = F(m) \quad (7)$$

dimana d adalah vektor data, m adalah vector model dan $F(m)$ adalah fungsi *forward modeling*. Teknik *forward modeling* dilakukan dengan menghitung respons dari suatu model untuk dibandingkan dengan data impedansi (tahanan-jenis semu dan fasa) pengamatan. Dengan cara coba-coba (*trial and error*) dapat diperoleh suatu model yang responsnya paling cocok dengan data, sehingga model tersebut dapat dianggap mewakili kondisi bawah permukaan. Profil tahanan-jenis 1-D beberapa titik amat dalam satu lintasan dapat digunakan sebagai model awal untuk pemodelan 2-D. Penyelesaian persamaan yang berlaku untuk medan listrik dan medan magnet pada kasus ini menggunakan metode beda hingga (*finite difference*) atau metoda elemen hingga (*finite element*). Hasil perhitungan dapat ditampilkan dalam bentuk penampang tahanan-jenis semu maupun kurva sounding untuk *TE-mode* dan *TM-mode* (Constable, dkk., 1987).

pemodelan inversi 1D terdapat dua macam mode inversi occam dan bostick. Perbedaan pada metode keduanya ada pada batas layer yang akan ditampilkan pada inversi 1D. mode pada Occam memiliki batas layer pada 45 sehingga pada struktur yang akan dihasilkan akan lebih rapat sedangkan pada mode bostick batas layer pada 8 semakin banyak layer semakin berpengaruh pada true resistivity sehingga perlu pemilihan yang optimum (Nurman, dkk., 2019).

Proses inversi bostick yang terjadi dalam metode ini yaitu diterapkan pada data resistivitas semu dan fasa yang kemudian dilakukan transformasi hingga

mendapatkan nilai resistivitas sebenarnya dan data kedalaman. Secara sederhana, transformasi ini dapat dihitung dengan persamaansederhana yang diperkenalkan oleh Goldberg dan Rotstein, yaitu :

$$\rho(D) = \rho a(\omega) \left(\frac{\pi}{2\phi} - 1 \right) \quad (8)$$

dan

$$D = \left(\frac{\rho a(\omega)}{\mu \omega} \right)^{1/2} \quad (9)$$

Dimana D adalah kedalaman, $\rho(D)$ adalah resistivitas sebagai fungsi dari kedalaman (D), $\rho a(\omega)$ adalah resistivitas semu sebagai fungsi pada frekuensi (ω), ω adalah frekuensi angular adalah permeabilitas magnetik, dan ϕ adalah fase.

Untuk dapat merepresentasikan kondisi bawah permukaan secara lebih realistis maka digunakan model 2-D dimana resistivitas bervariasi terhadap kedalaman (z) dan jarak dalam arah penampang atau profil (y) sehingga $r(y, z)$. Dalam hal ini resistivitas medium tidak bervariasi dalam arah sumbu x yang merupakan arah struktur (*strike*). Pemecahan masalah menggunakan algoritma *non-linear conjugate gradient* (NLCG) dilakukan dengan mencari solusi model yang meminimumkan fungsi objektif ϕ , yang didefinisikan oleh

$$\phi(\mathbf{m}) = (\mathbf{d} - G(\mathbf{m}))^T \mathbf{V}^{-1} (\mathbf{d} - G(\mathbf{m})) + \boldsymbol{\tau} \mathbf{m}^T \mathbf{L}^T \mathbf{L} \mathbf{m} \quad (10)$$

Dimana \mathbf{V} adalah matrix pembobot, $\boldsymbol{\tau}$ adalah parameter regulasi (bilangan positif) dan \mathbf{L} adalah operator turunan kedua faktor “*smoothing*” yang dapat dinyatakan oleh turunan pertama atau turunan keduanya. Pemodelan inversi

dengan algoritma (NLCG) diaplikasikan pada program WinGlink (Rodi dan Mackie, 2001).

Model resistivitas 2-D MT pada sistem panasbumi yang bertipe vulkanik pada umumnya akan menggambarkan distribusi nilai resistivitas rendah diantara batuan vulkanik yang memiliki resistivitas tinggi. Nilai resistivitas rendah tersebut disebabkan oleh hadirnya mineral alterasi serta kandungan fluida hidrotermal dengan kadar garam tinggi (Davey, dkk., 1998).

Pada studi mengenai sesar, model resistivitas 2-D MT pada umumnya menggambarkan struktur vertikal atau hampir vertikal dengan nilai resistivitas rendah yang memanjang hingga kedalaman beberapa kilometer sampai puluhan kilometer dan disebut dengan *fault zone conductive* (FZC). Keberadaan struktur konduktif tersebut dipengaruhi antara lain oleh mineralisasi dan fluida yang mengisi bidang sesar (Becken, dkk., 2010).

E. Panas Bumi

a. Pengertian panas bumi

Istilah sistem panas bumi vulkanik digunakan untuk mendeskripsikan asal dari transfer panas dikarenakan oleh adanya gunung vulkanik muda. Sistem panas bumi vulkanik berkaitan dengan sistem vulkanik yang transfer panasnya berkaitan dengan produksi fluida magmatik, piroklastik, dan aliran

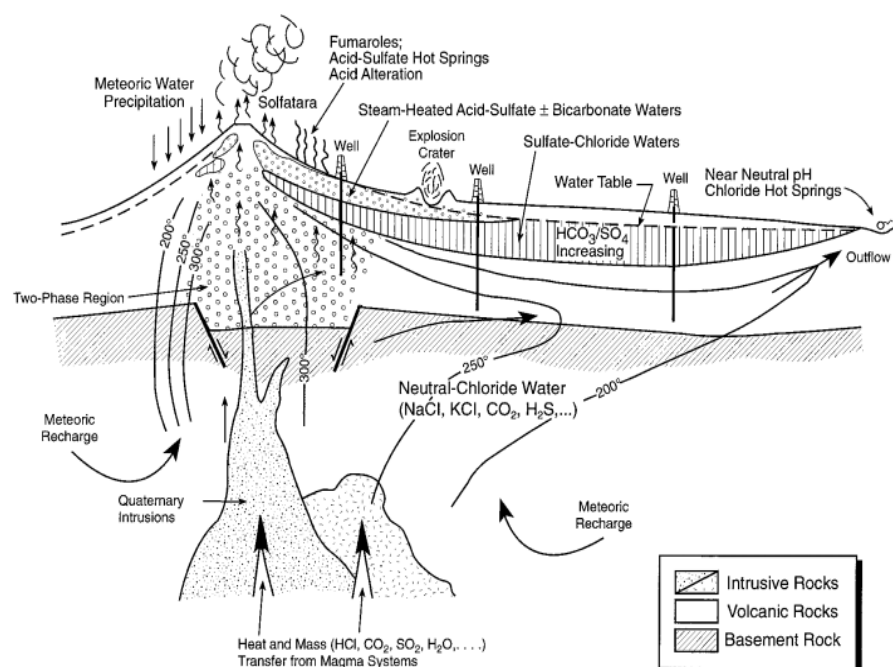
lava dari pusat keluaran dekat konduit dan pusat erupsi (Hochstein dan Sudarman, 2015).

b. Sistem panas bumi

Sistem panas bumi terdiri dari 3 elemen utama, yaitu batuan reservoir yang permeabel, aliran fluida untuk menyalurkan panas dari reservoir ke permukaan bumi, dan sumber panas. Pada kenyataannya banyak tipe batuan yang dapat menjadi rumah bagi reservoir panas bumi, dan air tanah, yang biasanya terdiri dari presipitasi air purba ke modern atau air laut, sirkulasi ke kedalaman beberapa kilometer hampir terjadi di seluruh kerak bumi (Goff dan Janik, 2000).

Prinsip dasar dari suatu sistem panas bumi adalah suatu daur hidrologi air (air tanah dan hujan) dimana dalam perjalanannya berhubungan dengan sumber panas (heat source) yang bertemperatur tinggi, sehingga terbentuk air panas atau uap panas yang terperangkap dalam batuan yang berporous dan mempunyai permeabilitas yang tinggi. Uap dan air panas tersebut akan muncul ke permukaan melalui struktur-struktur seperti sesar dan rekahan (kekar) (Medi, dkk., 2014).

Sistem panas bumi umumnya menghasilkan *hot springs* dan *fumaroles* yang muncul sebagai indikasi dari panas yang ada di dalam reservoir. Area *hot spring* dan *fumarole* banyak mengandung sulfur dan mineral lain yang terbentuk dari sejak jaman terdahulu (Goff dan Janik, 2000).



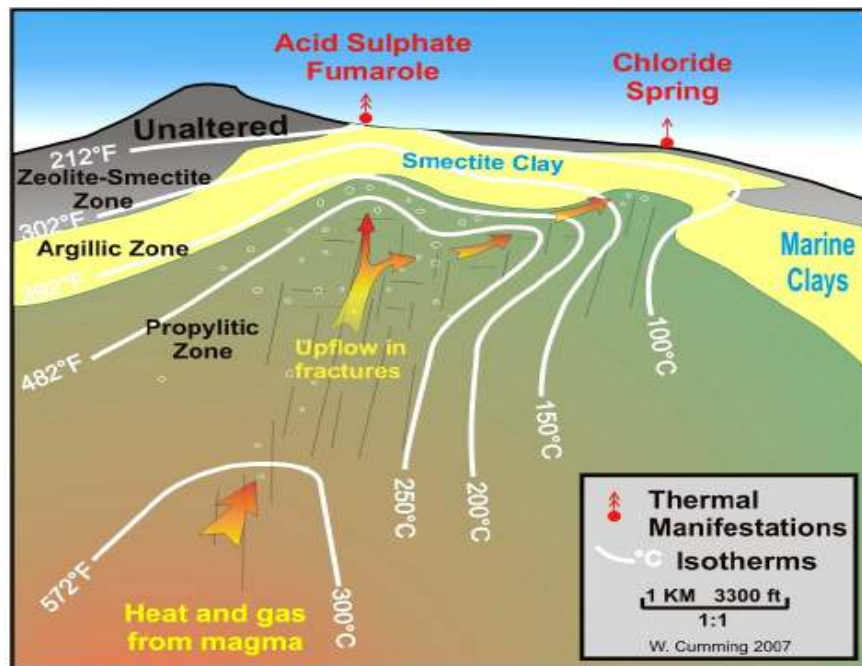
Gambar 10. Model Konseptual Sistem Panas Bumi pada Gunung Api Stratovulkano (Goff dan Janik, 2000)

Gambar 10 menunjukkan model konseptual untuk sistem panas bumi yang berada di stratovolcano aktif. Perpindahan suhu intrusi andesitik biasanya berkisar antara 850 sampai 1050°C. Air meteorik merembes jauh ke dalam tanah di mana air tersebut dipanaskan oleh badan instruksi. Saat air panas bersirkulasi, air tersebut menjadi lebih kaya akan kandungan Cl, F, Br, B, SO₄, HCO₃, silika, kation utama, dan logam terlarut dengan reaksi dengan batuan utama. Volatilitas magmatik seperti H₂O, CO₂, senyawa sulfur, HCl, HF, Hg, dan As dapat dipindahkan ke cairan yang berevolusi. Cairan umumnya menjadi "klorida-netral" yang kemudian menjadi ringan dikarenakan kerapatannya menurun. Perubahan mineral dan vein terbentuk di batuan reservoir. Seringkali, fluida panas naik melalui rekahan-rekahan ke tingkat di mana terjadi pendidihan dan fase uap air yang mengandung air panas dan terbentuk gas *noncondensable*. Gas inilah yang disebut sebagai

fumarole apabila mencapai permukaan. Ketika uap mengembun dan bercampur dengan air meteorik dangkal, H_2S dioksidasi menjadi asam sulfat, yang secara kimia mengubah batuan dan menghasilkan sumber air panas “asam-sulfat”. Air klorida-netral biasanya lebih dalam dari pada air asam sulfat, dan jika kedua jenis campuran tersebut, air asam-sulfat-klorida maka hibrida dapat terjadi. Karena topografi dan gradien hidrologi, fluida cenderung mengalir secara lateral menjauh dari pusat vulkanik, membentuk bintik-bintik hidrotermal. Mata air dari karakter klorida-netral sering ditemukan beberapa kilometer dari sumber panas dan reservoir utama. Jika bodi intrusi sebagian besar mengkristal karena usia atau ukuran kecil, atau sangat dalam, kontribusi volatil magmatik pada sistem mungkin relatif kecil dan tidak terdeteksi. Model umum ini menggambarkan banyak fitur sistem zona subduksi seperti Miravalles (Kosta Rika), Pacaya-Amatitla'n (Guatemala), Ahuachapa (El Salvador), dan Bulalo (Filipina).

Selain menggunakan model konseptual umum, digunakan juga referensi model konseptual hasil integrasi antara data geokimia dengan data geologi untuk menhkonfirmasi model hasil inversi MT. Gambar 11 mengilustrasikan pola khas *smectite clay* resistivitas rendah di atas reservoir panas bumi vulkanik temperatur tinggi yang umum. Namun, geometri *clay* juga di diagnostik terhadap sebagian besar reservoir panas bumi, termasuk sistem gaya konveksi seperti yang biasa ditemukan di bagian barat Amerika Serikat dan Turki dan konveksi reservoir sedimen (Cumming dan Mackie, 2010).

Di atas zona *upflow* pada Gambar 11, dasar tutup smectite sering meningkat karena kecenderungan *smectite* untuk bertransformasi menjadi *illite* dan *chlorite* yang lebih resistif, yang menjadi karakteristik dari *clay* di daerah reservoir permeabel (Cumming dan Mackie, 2010) menggambarkan bagaimana penutupan kontur dari elevasi dasar *clay cap* yang diturunkan dari inversi 1D sederhana dari kurva MT rata-rata digunakan untuk menargetkan reservoir panas bumi. Terkadang pendekatan ini mengarah pada pengeboran tinggi lokal pada *clay cap* yang berapa pada zona *outflow*, seperti di bawah *chloride spring* pada Gambar 11.

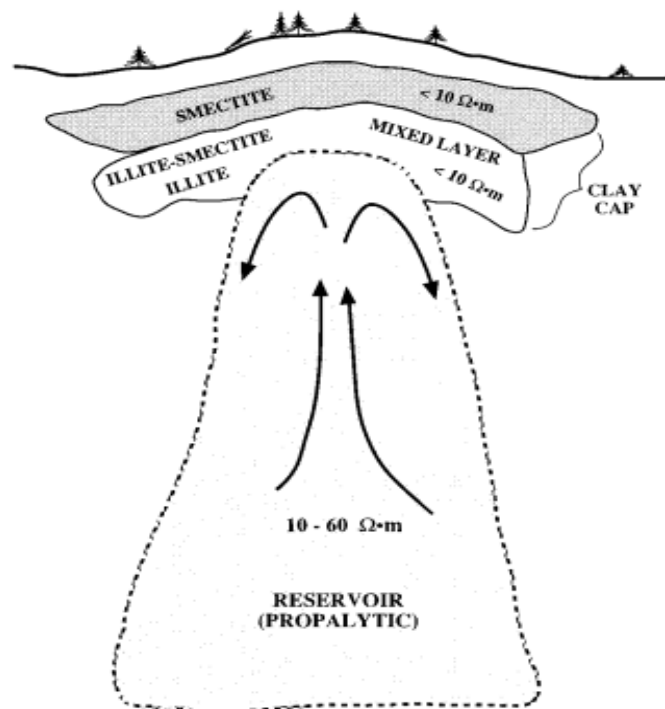


Gambar 11. Model Konseptual Umum Sistem Panas Bumi *High Terrain* (Cumming and Mackie, 2010)

Pendekatan model konseptual yang mengintegrasikan geokimia dan geologi dengan peta resistivitas dan penampang melintang dapat mengurangi risiko yang berkaitan dengan model konseptual jebakan (Cumming dan Mackie, 2010) namun memerlukan gambar *cross-section* yang realistis, memberikan premi

yang lebih tinggi untuk mengurangi distorsi MT. Sumber distorsi yang umum di peta resistivitas MT dan penampang melintang meliputi dimensi (3D) efek dalam inversi 1D dan 2D, pergeseran statis, *noise* dalam akuisisi, dan jarak antar stasiun MT.

Interpretasi komponen panas bumi pada suatu lapangan *high terrain* berdasarkan nilai resistivitas dapat dijelaskan oleh Pellerin.



Gambar 12. Komponen Sistem Panas Bumi dan Kaitannya dengan Nilai Resistivitas (Pellerin, dkk., 1996)

BAB IV. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Geofisika, Universitas Lampung, waktu pelaksanaan 01 Desember – 30 Mei 2019. Adapun pelaksanaan kegiatan penelitian sesuai pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Pelaksanaan Kegiatan Penelitian

Kegiatan	Bulan (Minggu ke-)																							
	Desember				Januari				Februari				Maret				April				Mei			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
<u>Studi Literatur</u>																								
Transformasi Fourier Raw Data <i>Magnetotelluric</i> (MT)																								
Seleksi <i>Cross Power</i>																								
Pemodelan Inversi 1D																								
Pemodelan Inversi 2D																								
Pembuatan Laporan dan Bimbingan Proposal																								
Pembuatan Laporan dan Bimbingan Hasil																								

B. Perangkat

Perangkat yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat laptop dengan *Software* SSMT2000 untuk melakukan transformasi fourier dan edit TBL. Kemudian, *software* MTEditor untuk melakukan seleksi *cross power*. *Software* WinGlink untuk melakukan pemodelan inversi 1D dan pemodelan 2D.

C. DATA PENELITIAN

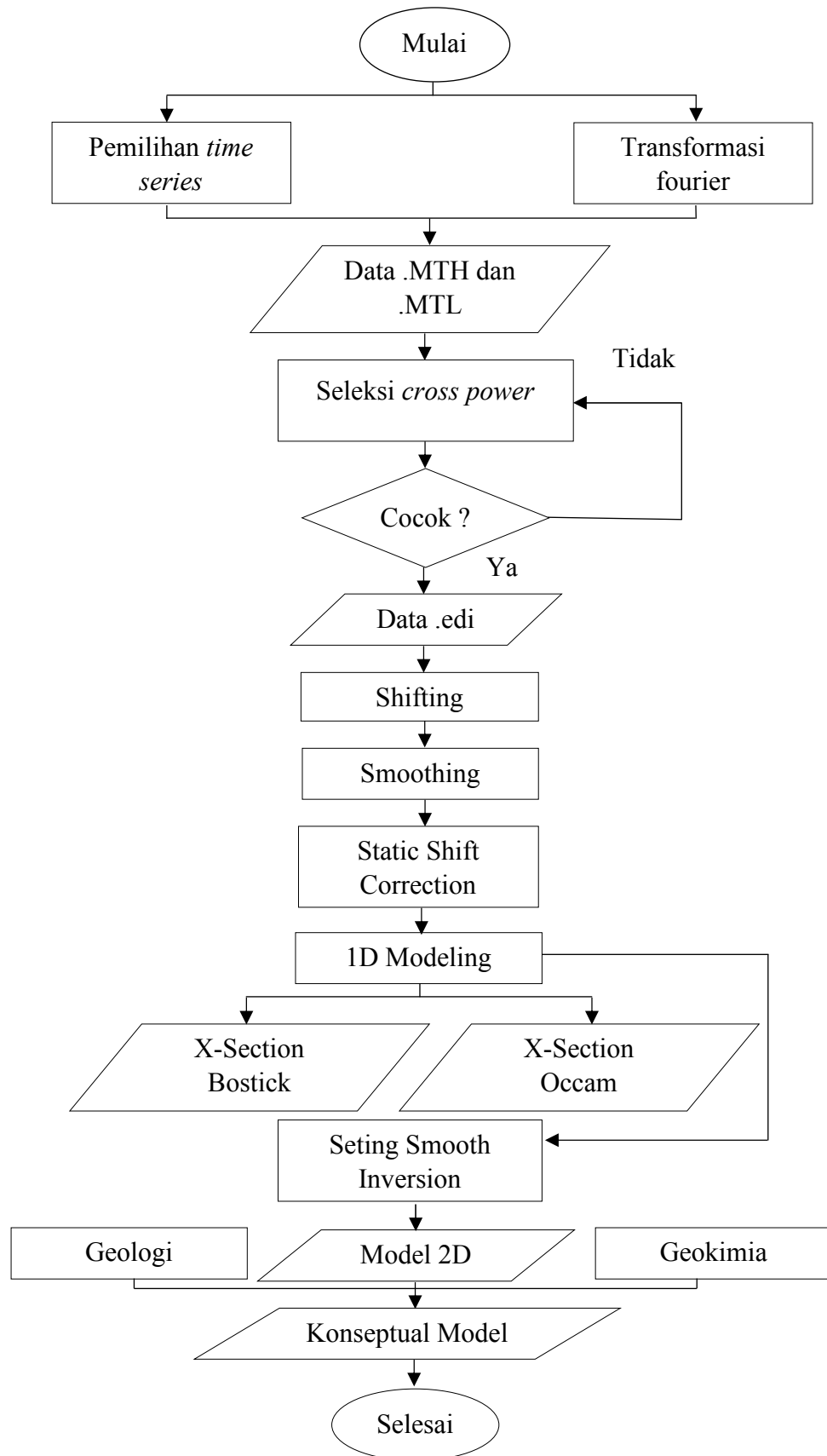
Data penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini adalah RAW data magnetotelluric (MT) berformat .TBL, .TBO, .TS3, .TS4, .TS5, berjumlah 2 line dengan line 1 berjumlah 8 titik sounding, dan line 2 berjumlah 5 titik sounding.

D. PROSEDUR PENELITIAN

Adapun tahap pengolahan data pada penelitian ini secara garis besar yaitu: Melakukan *robust processing* dan Transformasi Fourier, Pengolahan data MT terlebih dahulu harus dilakukan *robust processing* menggunakan *software* SSMT2000. Langkahnya input RAW data dan kalibrasi data, dengan cara site parameter → data format .TBL. Kemudian *input* data kalibrasi dengan cara instrument calibration → data format .CLB dan .CLC.,kemudian melakukan tranformasi fourier, dengan cara edit TBL → view time → make PFT → pemilihan time series → TS to TFT. Kemudian melakukan proses PRM, dengan cara edit PRM → process maka akan didapatkan hasil berupa data dengan format .MTH dan .MTL. Kemudian melakukan seleksi *cross power* MT Editor dengan data masukan 10 data .MTH dan .MTL. Langkah pertama yang dilakukan yaitu Klik File → *Open Site* → *file* berekstensi .MTH dan .MTL.

Melakukan pemodelan 1D *software* WinGLink dan membuat *database project*. Mengatur nama area, lokasi *hemisphere*, satuan koordinat XY dan satuan elevasi. Melakukan *import data* untuk data edi file yang sudah disiapkan. Selanjutnya membuat *line* yang nantinya akan digunakan untuk membuat

penampang *x-section* model inversi 1D. Setelah melakukan beberapa *cross section* pada hasil inversi 1D, selanjutnya adalah melakukan inversi 2D. Sebelum *running* inversi 2D harus dilakukan Pengaturan mesh terlebih dahulu. Setelah selesai selanjutnya adalah mengatur *Inversion Parameters* dan kemudian menentukan jumlah iterasi yang diinginkan Selanjutnya adalah *running* inversi 2D. Kemudian setelah melakukan pemodelan inversi 1D dan model inversi 2D, maka dilakakukan pembuatan konseptual model.



Gambar 13. Diagram Alir

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Data Magnetotellurik menghasilkan model inversi 1D dan 2D dalam bentuk sebaran nilai resistivitas, untuk mendeteksi keberadaan sistem panasbumi.
2. Metode MT dapat memodelkan sistem panasbumi seperti *claycap* sebagai batuan penutup dengan nilai resistivitas 0-10 Ohm.m, sebaran reservoir dengan nilai resistivitas 10-60 Ohm.m berdasarkan model inversi 1D dan 2D.
3. Berdasarkan sebaran resistivitas data MT memperlihatkan tiga lapisan dengan lapisan pertama ditafsirkan sebagai lapisan permukaan vulkanik yang tidak teralterasi berada pada kedalaman 0-500 m dari permukaan tanah dengan nilai resistivitas 50-500 Ohm.m, lapisan kedua pada kedalaman 500-3000 m dari permukaan tanah dengan nilai resistivitas <10 Ohm.m ditafsirkan sebagai *caprock*, lapisan ketiga pada kedalaman >3000 m dengan nilai resistivitas 10-60 Ohm.m ditafsirkan sebagai reservoir dari sistem Gunung Arjuno-Welirang.

4. Berdasarkan perhitungan sumber daya spekulatif daerah penelitian sebesar 360 MWe, dan sumber daya hipotesis sebesar 445 MWe.

B. Saran

Berikut saran untuk penelitian selanjutnya Survei gaya berat yang melingkupi daerah penelitian untuk interpretasi struktur yang ada serta keberadaan *hot rock* sebagai sistem panasbumi.

DAFTAR PUSTAKA

- Becken, M., Ritter, O., dan Streich, R. 2010. Imaging of CO₂ Storage Sites, Geothermal Reservoirs, and Gas Shales using Controlled-Source Magnetotellurics: Modeling Studies. *Chemie der Erde*. 70: 63-75.
- Constable, dan Parker, S.C. 1987. Occam's Inversion: A Practical Algorithm for Generating Smooth Models from Electromagnetic Sounding Data. *Journal of Geophysics*. 52:287-300.
- Cumming, W. dan Mackie, R. 2010. Resistivity Imaging of Geothermal Resources using 1D, 2D, and 3D MT Inversion and TDEM Static Shift Correction Illustrated by a Glass Mountain Case History. *Proceedings World Geothermal Congress 2010*.
- Daud, Y. 2010. *Electromagnetic Method: Success Story in Geothermal Exploration and Possibility for Hydrocarbon Exploration*. FMIPA UI, Depok.
- Daud, Y., Nuqramadha, W.A., Fahmi, F., Sesesega, R.S., Fitrianita, Pratama, S.A., dan Munandar, A. 2019. Resistivity Characterization of the Arjuno Welirang Volcanic Geothermal System (Indonesia) through 3D Magnetotelluric Inverse Modeling. *Journal of Asian Earth Sciences*. 174: 352-363.
- Davey, F.J., Henyey, W.S., Holbrook, D., Okaya, Stern, T.A., Melhuish, A., Henry, S., Anderson, H., Eberhart-Phillips, D., McEvelly, T., Uhrhammer, R., Jiracek, G.R., Wannamaker, I.G., Caldwell, dan Christensen, N. 1998. Preliminary Results From a Geophysical Study Across a Modern, Continent-Collisional Plate Boundary the Southern Alps, New Zealand. *Tectonophysics*. 28: 221-235.
- Dérobot, X., Balayssac, J., Sbartai, Z. M., dan Dumoulin, J. 2018. *Non-Destructive Testing and Evaluation of Structures*. Elsevier, Amsterdam.
- ESDM. 2017. *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*. Direktorat Panas Bumi, Jakarta
- Goff, F. dan Janik, C.J. 2000. *Encyclopedia of Volcanes*. Elsevier, Amsterdam.

- Hochstein, M. dan Sudarman, S. 2015. Indonesian Volcanic Geothermal Systems. *Proceeding World Geothermal Congress 2015*.
- Ito, N.W., Rasimeng, S.R., Dewanto, O., dan Mulyatno, B.S. 2019. Identifikasi Struktur Cekungan Berdasarkan Data Magnetotellurics (Mt) dengan Data Gayaberat Lapangan “Nwi” Daerah Kalimantan Barat. *Jurnal geofisika eksplorasi*.
- Kurnia, M., Suharno, dan Hidayatika, A. 2014. Introduction to Geothermal System of Way Ratai. *Proceedings Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition*.
- Malcolm, A., Grant., Paul, F., dan Bixley. 2011. Concepts of Geothermal Systems. *Physics of the Earth*. 2: 9-20.
- Malleswari, D., Veeraswamy, K., Azeez A., Gupta, A.K., Babu, N., Prasanta, K., Patro, dan Harinarayana, T. 2018. Magnetotelluric Investigation of Lithospheric Electrical Structure Beneath the Dharwar Craton in South India: Evidence for Mantle Suture and Plume-Continental Interaction. *Geoscience Frontiers*. 55:31–38.
- Pellerin, L. dan Hohmann, G.W. 1990. Transient Electromagnetic Inversion: A Remedy for Magnetotelluric Static Shifts. *Journal of Geophysics*. 55: 1242-1250.
- Pellerin, L., Johnston, J.M., dan Hohmann, G.W. 1996. A Numerical Evaluation of Electromagnetic Methods in Geothermal Exploration. *Journal of Geophysics*. 61:121-130.
- Rodi, W., dan Mackie, R. L. 2001. Nonlinear Conjugate Gradients Algorithm for 2-D Magnetotelluric Inversion. *Journal of Geophysics*. 66:174-187.
- Simpson, F. dan Bahr, K. 2005. *Practical Magnetotellurics*. Cambridge University Press, United Kingdom. 270 hlm.
- Siripunvaraporn, W., Egbert, G., dan Uyeshima, M. 2004. Interpretation of Two-Dimensional Magnetotelluric Profile Data with Three – Dimensional Inversion: Synthetic Exmpale. *Geophysic Journal International*. 160: 804-814.
- Suparno, S. 2007. *Analisis Data Geofisika: Memahami Teori Inversi*. Departemen Fisika-FMIPA Universitas Indonesia, Depok.
- Suharno. 2013. *Eksplorasi Geothermal*. Lembaga Penelitian Universitas Lampung, Bandar Lampung. 65 hlm.

