

**ANALISIS DATA GEOLISTRIK RESISTIVITAS UNTUK
PEMODELAN STRUKTUR GEOLOGI BAWAH
PERMUKAAN GUNUNG LUMPUR BANGKALAN**

SKRIPSI



Oleh:

NURISYADZATUL HURUN

NIM. 12640064

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

**ANALISIS DATA GEOLISTRIK RESISTIVITAS UNTUK PEMODELAN
STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN GUNUNG LUMPUR
BANGKALAN**

SKRIPSI

Diajukan kepada:

**Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

Oleh:

**NURISYADZATUL HURUN
NIM. 12640064**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN


ANALISIS DATA GEOLISTRIK RESISTIVITAS UNTUK PEMODELAN STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN GUNUNG LUMPUR BANGKALAN

SKRIPSI


Oleh:
NURISYADZATUL HURUN
NIM. 12640064

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji,
Pada tanggal: 02 Juni 2016

Pembimbing I


Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Pembimbing II


Erika Rani, M.Si
NIP. 19810613 200604 2 002

Mengetahui,
Ketua Jurusan


Erna Hastuti, M. Si
NIP. 198111192008012009

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
JURUSAN FISIKA

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS DATA GEOLISTRIK RESISTIVITAS UNTUK PEMODELAN STRUKTUR GEOLOGI BAWAH PERMUKAAN GUNUNG LUMPUR BANGKALAN

SKRIPSI

Oleh:
NURISYADZATUL HURUN
NIM. 12640064

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 23 Juni 2016

Penguji Utama	: <u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	: <u>Imam Tazi, M.Si</u> NIP. 19790730 200312 1 002	
Sekretaris Penguji	: <u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji	: <u>Erika Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 200604 2 002	

Mengetahui,
Ketua Jurusan


Erna Hastuti, M. Si
NIP. 198111192008012009


PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : NURISYADZATUL HURUN
NIM : 12640064
Jurusan : FISIKA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Judul Penelitian : Analisis Data Geolistrik Resistivitas untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur Bangkalan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 02 Juni 2016
Yang Membuat Pernyataan,



Nurisyadzatul Hurun
NIM. 12640064

MOTTO

Keajaiban adalah buah dari kerja keras

Dari Abu Hurairah radliyallaahu ‘anhu ia berkata : Telah bersabda Rasulullah shallallaahu ‘alaihi wa sallam : Allah ‘azza wa jalla berfirman :

“Aku terserah pada sangkaan hamba-Ku kepada-Ku, dan Aku bersama hamba-Ku ketika dia mengingat-Ku. Jika dia mengingat-Ku di dalam dirinya, maka Aku akan mengingatnya di dalam diri-Ku. Jika dia mengingat-Ku di tengah orang banyak, maka Aku juga mengingatnya di tengah orang banyak yang lebih baik dari mereka. Jika dia mendekat sejengkal kepada-Ku, Aku akan mendekat kepadanya sehasta. Jika dia mendekat kepada-Ku sehasta, maka Aku akan mendekat kepada-Nya sedepa. Jika dia mendatangi-Ku dengan berjalan, maka Aku mendatangnya dengan berlari”

[HR. Al-Bukharino.7405 dan Muslim no.2675]

فَبِأَيِّ آلَاءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبَانِ ﴿١٣﴾

“Maka nikmat Tuhan kamu yang manakah yang kamu dustakan ?”

(QS. ArRahman: 13)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Yang pertama dari yang utama...

Puji syukur ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan hembusan nafas dan detak jantung dalam kehidupanku. Atas karunia-Nya tugas akhir yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam untuk junjungan dan tauladanku Nabi Muhammad SAW.

####

Kupersembahkan karya kecilku untuk orang-orang yang kusayangi

Ibu dan Ayahku tercinta

Karya kecil ini sebagai bukti rasa terima kasih dan baktiku pada kalian yang tak pernah lelah menasehati, memberikan dukungan dan doa untuk putrinya yang belum dewasa ini. Hanya dengan lembaran kertas inilah putrimu bisa membalasnya.

#####

Dosen Pembimbing Tugas Akhirku

Bapak Drs. Abdul Basid, M.Si dan Ibu Erika Rani, M.Si....

Terima kasih atas bimbingan dan kesabarannya.

Untuk Bapak dan Ibu Dosen Fisika, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan. Semoga ilmunya manfaat dan barokah في الدنيا والآخرة

أمين

#####

Teman-temanku

Terima kasih buat teman-temanku Geofisika '12 yang selalu berbagi keluh kesah, bahagia dan gembira. Kakak2 Geofisika '11 terima kasih juga atas bantuannya.

Teman-temanku seperjuangan Fisika '12.....

Terima kasih... dan semangat

For all of you, see you on top

the end

By: nuris

KATA PENGANTAR



Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang ini berjalan dengan lancar baik. Sholawat serta salam semoga senantiasa terlimpahkan kepada Nabi Muhammad SAW, para sahabat, dan segenap orang yang mengikuti jejaknya.

Penyusunan laporan yang berjudul "Analisis Data Geolistrik Resistivitas untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur Bangkalan" ini, disusun dalam rangka menyelesaikan tugas akhir/skripsi yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Departemen Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pada kesempatan ini, penulis tidak lupa menyampaikan terima kasih dan harapan *jazakumullah al-khair* kepada semua pihak yang telah membantu, memberi pengarahan, bimbingan supaya skripsinya dapat terselesaikan dengan baik, khususnya kepada:

1. Prof. Dr. Mudjia Rahardjo, selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

2. Dr. drh. Bayyinatul Mukhtaromah, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Abdul Basid, M.Si, dan Erika Rani, M.Si, selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Segenap Civitas Akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, laboran, dan staf karyawan yang bersedia membantu, menyediakan waktu bagi penulis untuk berbagi ilmu dan memberikan bimbingan.
6. Orangtua tercinta serta segenap keluarga yang selalu mendo'akan, memberi kepercayaan dan memberikan motivasi kepada penulis dalam menuntut ilmu.
7. Teman-teman yang selalu memberikan motivasi, inspirasi, dan kebersamaannya selama ini.
8. Semua pihak yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan, oleh karena itu segala kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat diharapkan demi kemajuan bersama. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberi manfaat dan menambah khazanah ilmu pengetahuan. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Malang, 02 Juni 2016

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Gunung Lumpur (<i>Mud Volcano</i>)	6
2.1.1 Deskripsi Gunung Lumpur (<i>Mud Volcano</i>)	6
2.1.2 Studi Terdahulu tentang Gunung Lumpur	7
2.2 Proses Terbentuknya Gunung Lumpur	11
2.3 Klasifikasi Gunung Lumpur	13
2.3.1 Bentuk Gunung Lumpur	15
2.4 Faktor Penyebab Keluarnya Lumpur	16
2.5 Persebaran Gunung Lumpur di Indonesia	16
2.5.1 Gunung Lumpur di Pulau Jawa	17
2.6 Geologi Daerah Penelitian	19

2.6.1 Stratigrafi	19
2.6.2 Fisiografi.....	22
2.6.3 Sejarah Geologi.....	23
2.7 Sifat Fisis Batuan	25
2.7.1 Densitas	25
2.7.2 Porositas.....	25
2.7.3 Permeabilitas.....	27
2.8 Metode Geolistrik	29
2.9 Sifat Listrik Batuan	32
2.9.1 Konduksi secara Elektronik	33
2.9.2 Konduksi secara Elektrolitik.....	35
2.9.3 Konduksi secara Dielektrik.....	35
2.10 Konduktivitas Listrik.....	36
2.10.1 Faktor yang Mempengaruhi Sifat Listrik dalam Batuan	36
2.11 Aliran Listrik di Dalam Bumi	37
2.11.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan	38
2.11.2 Dua Titik Arus di Permukaan	39
2.12 Resistivitas Semu (<i>Apparent Resistivity</i>)	42
2.13 Konfigurasi Wenner	43
2.13.1 Konfigurasi Wenner Alpha.....	45
BAB III METODE PENELITIAN	47
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	47
3.2 Peralatan Penelitian.....	47
3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	48
3.4 Metode Penelitian Geolistrik	49
3.4.1 Pengambilan Data Geolistrik	49
3.4.2 Pengolahan Data	52
3.4.3 Interpretasi Data	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Pengukuran Koordinat Posisi	54
4.2 Hasil Pengolahan Data	55
4.2.1 Resistivitas Semu	55
4.2.2 Model Penampang 2D dari 3 Lintasan	56
4.3 Metode Geolistrik Resistivitas dengan Konfigurasi Wenner Alpha.....	57
4.4 Interpretasi Data.....	58
4.5 Interpretasi Kualitatif	58
4.5.1 Lintasan 1.....	59
4.5.2 Lintasan 2 dan 3	59
4.6 Interpretasi Kuantitatif	59
4.6.1 Lintasan 1.....	60
4.6.2 Lintasan 2.....	61
4.6.3 Lintasan 3.....	63
4.6.4 Interpretasi Lintasan 1, 2 dan 3.....	64
4.7 Model Penampang 3D dari 3 Lintasan	68
4.8 Pemodelan Struktur Geologi Menurut Kajian al-Qur'an	76
BAB V PENUTUP	79
5.1 Kesimpulan.....	79
5.2 Saran.....	79

**DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN**

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur dasar dan elemen utama dari gunung lumpur kerucut. Biasanya mengemisikan gas, lumpur dan air dan ditandai dengan tidak adanya fragmen batuan padat.....	12
Gambar 2.2	Gunung lumpur yang terdapat di Pulau Jawa bagian timur dan Madura	18
Gambar 2.3	Kenampakan gunung lumpur Bujhel Tasek Laki, Geger di Bangkalan Madura.....	19
Gambar 2.4	Bujhel Tasek Bini salah satu gunung lumpur yang berjarak sekitar 400 m dari Bujhel Tasek Laki.....	19
Gambar 2.5	Peta geologi daerah penelitian	21
Gambar 2.6	Fisiografi daerah Jawa Timur	22
Gambar 2.7	Porositas batuan	25
Gambar 2.8	Porositas total.....	26
Gambar 2.9	<i>Fracture</i> batuan	27
Gambar 2.10	Permeabilitas dan ukuran butir	28
Gambar 2.11	Kandungan garam elektrolit dalam air tanah/batuan	33
Gambar 2.12	Silinder konduktor	34
Gambar 2.13	Perbesaran bagian tipis pada sebuah tanah	37
Gambar 2.14	Sumber arus 2 titik pada permukaan homogen isotropis	38
Gambar 2.15	Sumber arus berupa titik pada permukaan bumi homogen	38
Gambar 2.16	Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaanmedium homogen isotropis dengan resistivitas ρ	40
Gambar 2.17	Perubahan bentuk pada bidang equipotensial dan garis aliran arus untuk dua titik sumber arus pada permukaan tanah homogen.....	42
Gambar 2.18	Konfigurasi Wenner.....	44
Gambar 2.19	Susunan elektroda arus dan potensial pada konfigurasi Wenner ...	44
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	49
Gambar 3.2	Diagram alir pengolahan data geolistrik	50
Gambar 3.3	Skema pengambilan data <i>mapping</i>	51
Gambar 4.1	Model penampang 2D lintasan 1	60
Gambar 4.2	Model penampang 2D lintasan 2	62

Gambar 4.3 Model penampang 2D lintasan 3	63
Gambar 4.4 Penampang 2 dimensi dengan dihubungkan dengan peta penelitian pada 3 lintasan.....	66
Gambar 4.5 Pola sebaran lumpur Bujhel Tasek Bini pada lintasan 1.....	67
Gambar 4.6 Pola sebaran lumpur Bujhel Tasek Laki pada lintasan 2 dan 3	68
Gambar 4.7 Model penampang 3D lintasan 1,2 dan 3.....	69
Gambar 4.8 Model penampang <i>interface</i> 3D	69
Gambar 4.9 Model penampang <i>interface</i> 3D dari posisi belakang.....	70
Gambar 4.10 Madura termasuk ke dalam zona Rembang	71
Gambar 4.11 Bentuk gunung lumpur Bujhel Tasek	74

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Resistivitas dari batuan dan bijih mineral (ohm-meter)	56
Tabel 4.2 Hasil interpretasi lithologi pada lintasan 1	61
Tabel 4.3 Hasil interpretasi lithologi pada lintasan 2	62
Tabel 4.4 Hasil interpretasi lithologi pada lintasan 3	64

DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Data lintasan 1
- Lampiran 2 Data lintasan 2
- Lampiran 3 Data lintasan 3



ABSTRAK

Nurisyadzatul Hurun. 2016. **Analisis Data Geolistrik Resistivitas untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur Bangkalan**. Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (1) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Erika Rani, M.Si

Kata Kunci: Gunung Lumpur, Resistivitas, Litologi batuan dan Struktur geologi

Di Madura, tepatnya Desa Katal Barat Kabupaten Bangkalan terdapat 2 titik gunung lumpur yang masih aktif yang dikenal dengan sebutan Bujhel Tasek Laki dan Bujhel Tasek Bini. Keberadaan gunung lumpur ini memberikan kekhawatiran bagi masyarakat sebab ditakutkan terjadi luapan lumpur yang besar seperti yang terjadi di Sidoarjo yang telah banyak menelan korban. Survei yang digunakan dalam penelitian ini adalah survei geolistrik resistivitas yang merupakan salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menginterpretasi bawah permukaan tanah dengan menggunakan konsep fisika berupa sifat listrik batuan dan tanpa merusak material-material tersebut. Survei ini bertujuan untuk memetakan bawah permukaan berkenaan struktur geologi, litologi batuan dan mengetahui pola penyebaran lumpur. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil 3 lintasan yang posisinya berada di gunung lumpur Bujhel Tasek Laki dan Bujhel Tasek Bini yang kemudian diinterpretasi dan dianalisa setelah dilakukan pemodelan dengan software *Res2dinv* dan *Voxler 3*. Berdasarkan hasil analisa dari semua titik pengukuran pola penyebaran dari lumpur mengarah ke arah barat daya dan timur laut dengan struktur bawah permukaan daerah penelitian didominasi dengan batu pasir, lempung dan batu kapur yang mengandung air asin.

ABSTRACT

Nurisyadzatul Hurun. 2016. **Analysis of Geoelectric Resistivity Data for Structural Modeling on Subsurface Geology Mud Volcano Bangkalan**. Final Project. Department of Physics, Faculty of Science and Technology of the State Islamic University of Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Drs.Abdul Basid, M.Si (II) Erika Rani, M.Si

Keywords: Mud volcano, resistivity, rock lithology and geological structure

In Madura, precisely Katal Barat Village subdistrict of Bangkalan there are two active point of mud volcanoes known as Bujhel Tasek Laki and Bujhel Tasek Bini. The existence of this mud volcano alarmed for the community because it was feared would occur mudflow as happened in Sidoarjo who had many casualties. The survey used for this observation was the resistivity geoelectric method, this method is a geophysical method that uses the concepts of physics in the form of electrical properties of rock to interpret the subsurface structure without damaging these materials. The purpose of this survey is to map the subsurface structure related to geological structure, lithological composition of rocks and determine distribution of mud. Data acquisition was done by taking three lines where the position located at the mud volcano Bujhel Tasek Laki and Bujhel Tasek Bini, then modeled using software RES2DINV and Voxler3 and the result are interpreted and analyzed. According to the results of the analysis, all the measuring points shows the distribution of the spread of mud leads to the northeast and southwest with the subsurface geological structure in the research area is dominated by sandstone, clay and limestone containing brines.

مستخلص البحث

نور الشذة الحورون. 2016 . تحليل البيانات الجيوكهربائية المقاومة لنمذجة الجيولوجيا التركيبية تحت السطح في البركان الطين بانجكالان . أطروحة . قسم الفيزياء كلية العلوم و التكنولوجيا الجامعة الدولية الإسلامية مولانا مالك إبراهيم مالانج . المشرف : (١) دكتور عبد الباسط الماجستير، (٢) اريكا راني الماجستير

كلمات الرئيسية : بركان الطين، المقاومة، الخصائص الصخرية ، و الجيولوجيا التركيبية

في مادورا، اصله في القرية كاتال برات بانجكالان وجد الثاني نقطة بركان الطين الذي زال نشاطا المعروف باسم بوجيل تاسيك لابي و بوجيل تاسيك بيني. وجود بركان الطين جعل القلق بالنسبة للمجتمع لأنه يخشى أن تحدث الطين المتدفق كما حدث في سيدوارجو أن الحسائر البشرية. مسوحات تستخدم في البحوث هي مسوحات الجيوكهربائية المقاومة هي أسلوب الجيوفيزيائية التي تستخدم مفهوم الفيزياء في شكل الخصائص الكهربائية صخرة لتفسير هياكل تحت مستوى الأرض دون أن يخرب مواده. هدف هذا المسح هو يخرط الجيولوجيا التركيبية، الخصائص الصخرية و تحديد توزيع الطين. حصول على البيانات تفعل بتحديد الثلاث اسطر تقع في بوجيل تاسيك لابي و بوجيل تاسيك بيني ثم نمذجة باستخدام برامج RES2DINV و Voxler3 والنتائج تفسيره وتحليل. بحسب نتائج التحليله كل نقاط القياس يصف بتوزيع الطين توجيه الي الجنوب الغرب و الشمال الشرقي والبنية تحت سطح الأرض في منطقة الأبحاث هيمنت من الحجر الرملي و الطين والحجر الكلسي التي تحتوي المحاليل الملحية.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gunung lumpur merupakan fenomena geologi yang banyak ditemui di dunia. Salah satu negara yang banyak didapati gunung lumpur adalah Indonesia, terutama di wilayah pulau Jawa, seperti gunung lumpur Bledug Kuwu yang ada di Grobogan yang menjadi tempat wisata dan gunung lumpur di Sidoarjo atau yang lebih dikenal dengan sebutan LUSI (Lumpur Sidoarjo) yang telah banyak menyita perhatian karena semburannya yang sangat besar hingga menelan banyak korban.

Gunung lumpur yang terdapat di Jawa bagian timur pada umumnya terbentuk pada cekungan yang terisi oleh endapan batuan sedimen laut yang cukup tebal, mengandung minyak dan gas bumi. Kemunculan lumpur dalam proses pembentukan gunung umumnya diakibatkan oleh adanya struktur geologi, seperti lipatan dan sesar serta energi yang mendorongnya sehingga lumpur tersebut dapat mencapai permukaan.

Di Madura, tepatnya di Desa Katal Barat Kecamatan Geger Kabupaten Bangkalan terdapat gunung lumpur yang sudah ada sejak ratusan tahun lalu. Awalnya keberadaan gunung lumpur ini tidak terlalu menarik perhatian masyarakat sekitar, namun dengan adanya peristiwa LUSI tersebut membuat masyarakat mulai khawatir. Hal ini dikarenakan di Desa Katal Barat tersebut terdapat dua gunung lumpur yang dikenal dengan sebutan Bujhel Tasek Laki dan BujhelTasekBini.

Bujhel Tasek Laki adalah gunung lumpur yang berbentuk kerucut layaknya gunungapi pada umumnya, sedangkan Bujhel Tasek Bini berbentuk kubangan seperti kolam. Hal ini dikarenakan viskositas dari kedua gunung lumpur yang berbeda. Viskositas lumpur Bujhel Tasek Laki lebih tinggi dibanding lumpur Bujhel Tasek Bini yang relatif lebih cair, sehingga lumpur Bujhel Tasek Laki lebih cepat membeku dan membentuk menyerupai kerucut. Sedangkan Bujhel Tasek Bini, lumpurnya menyebar dan membentuk kolam dengan lebar sekitar 10-15 meter.

Melihat fenomena tersebut, perlu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengeksplorasi kedua gunung lumpur sehingga nantinya dapat diketahui bagaimana struktur bawah permukaan dari gunung lumpur tersebut. Sebagaimana firman Allah dalam surat ar-Rahman ayat 33:

يَمْعَشَرِ الْجِنَّ وَالْإِنْسِ إِنَّ آسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَفْطَارِ آسْمَوَاتِ وَالْأَرْضِ فَآنْفُذُوا ۚ لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَانٍ (٣٣)

"Hai jama'ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menembus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka lintasilah, kamu tidak dapat menembusnya kecuali dengan kekuatan." (Q.S. ar-Rahman [55]:33).

Dari ayat di atas dapat dipahami bahwa sebagai hamba Allah kita diperbolehkan atau diberikan kesempatan untuk melakukan eksplorasi baik itu dengan tujuan untuk mengetahui apa yang terjadi baik di langit maupun di bumi. Namun untuk bisa mengetahui hal tersebut maka diperlukan kekuatan, kekuatan yang dimaksud adalah kekuatan yang berupa tubuh dan ilmu pengetahuan. Dalam bidang geofisika, untuk bisa melakukan eksplorasi perlu menggunakan metode geofisika.

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode geolistrik tahanan jenis (resistivitas). Geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang digunakan untuk menginterpretasi bawah permukaan tanah dengan menggunakan konsep fisika dan tanpa merusak material-material tersebut. Prinsip kerja geolistrik adalah mengukur tahanan jenis dengan mengalirkan arus listrik ke dalam batuan atau tanah melalui elektroda arus. Kemudian arus diterima oleh elektroda potensial dengan menganggap bumi sebagai resistor.

Penggunaan geolistrik pertama kali dilakukan oleh Conrad Schlumberger pada tahun 1912. Metode geolistrik tahanan jenis konfigurasi Wenner merupakan salah satu metode geofisika untuk mengetahui perubahan tahanan jenis lapisan batuan di bawah permukaan tanah dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Injeksi arus listrik ini menggunakan 2 buah elektroda arus A dan B yang ditancapkan ke dalam tanah dengan jarak tertentu. Semakin panjang jarak elektroda AB akan menyebabkan aliran arus listrik bisa menembus lapisan batuan lebih dalam.

Kelebihan dari metode geolistrik resistivitas ini selain biaya alat lebih murah, waktu yang dibutuhkan untuk pengambilan data lebih cepat serta pengolahan data yang lebih mudah dibanding metode geofisika yang lain. Sehingga dapat dikatakan bahwa metode resistivitas ini dapat membantu dalam memotong waktu dan biaya yang dibutuhkan dalam penelitian. Metode ini juga merupakan metode geofisika aktif yang dilakukan dengan membangkitkan medan gangguan berupa arus listrik yang diinjeksikan ke bumi. Meskipun tergolong dalam metode geofisika aktif, metode resistivitas ini tidak bersifat merusak dan

metode ini banyak digunakan untuk eksplorasi yang berhubungan dengan air, dimana objek dalam penelitian ini adalah gunung lumpur yang berasosiasi dengan air.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang di atas dapat diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana model struktur geologi bawah permukaan dari gunung lumpur di Desa Katal Barat Bangkalan?
2. Bagaimana pendugaan susunan litologi batuan di bawah permukaan daerah penelitian berdasarkan data geolistrik tahanan jenis (resistivitas)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diambil dapat ditarik beberapa tujuan diantaranya sebagai berikut:

1. Membuat model struktur geologi bawah permukaan di daerah penelitian sebagai gambaran kondisi bawah permukaan dari gunung lumpur.
2. Mengidentifikasi litologi batuan yang menyusun struktur bawah permukaan gunung lumpur di daerah penelitian berdasarkan data geolistrik tahanan jenis.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun beberapa manfaat dilaksanakannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan informasi terkait tentang kondisi struktur bawah permukaan pada daerah gunung lumpur di Desa Katal Barat Bangkalan.

2. Menambah wawasan serta pengetahuan terkait litologi batuan di daerah penelitian dengan penggunaan metode geolistrik tahanan jenis sehingga dapat dijadikan referensi untuk penelitian selanjutnya dalam bidang geofisika.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan yang diperoleh lebih optimal maka diambil beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian berlokasi di 2 titik gunung lumpur yakni di Bujhel Tasek Laki dan Bujhel Tasek Bini di desa Katal Barat Kecamatan Geger Kabupaten Bangkalan Madura.
2. Pengambilan data geolistrik tahanan jenis dengan menggunakan konfigurasi Wenner Alpha dilakukan dengan jenis penyelidikan *mapping (horizontal profiling)*
3. Analisa kontur nilai tahanan jenis (resistivitas) dan pemodelan 3D struktur bawah permukaan daerah penelitian.
4. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan software diantaranya Ms. Excel, Res2Dinv, dan Voxler3.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gunung Lumpur (*Mud Volcano*)

Gunung lumpur merupakan teka-teki dalam bidang geosains hingga hampir 2 abad. Keduanya banyak ditemui di lepas pantai (*offshore*) dan di pantai atau laut (*onshore*), dan walaupun keduanya terjadi di beraneka macam lingkungan tektonik, namun mayoritas ditemui di daerah kompresi tektonik. Gunung lumpur menunjukkan geometri yang bervariasi (diameter bisa mencapai hingga 10 km dengan ketinggian beberapa ratus meter) dan keanekaragaman mengenai asal usul dari fluida dan fase padatnya. Gas (dominan metana), air dan lumpur diperkirakan mengalami mobilisasi pada kedalaman hanya beberapa meter, tetapi lokasinya bisa berada pada kedalaman beberapa kilometer (Kopf, 2002).

2.1.1 Deskripsi Gunung Lumpur (*Mud Volcano*)

Gunung lumpur atau *mud volcano* adalah istilah generik yang umum digunakan untuk menggambarkan struktur yang memancarkan air, lumpur, atau hidrokarbon. Daerah panas bumi yang sering ditemui memiliki struktur kecil disebut gunung lumpur yang terbentuk oleh air panas dan uap. Struktur kecil (<5 m) terbentuk selama faksi cair juga disebut gunung lumpur (Milkov, 2000).

Gunung lumpur yang mengeluarkan metana biasanya juga terkait dengan cadangan hidrokarbon besar (seperti di Laut Kaspia dan Teluk Meksiko). Dalam beberapa tahun terakhir minat terhadap penelitian gunung lumpur telah meningkat, sebagian karena eksplorasi minyak bumi dan sebagian juga karena

gunung lumpur berkontribusi dalam emisi gas metana secara global yang merupakan gas rumah kaca yang potensial (Milkov et al, 2003).

Gunung lumpur adalah fenomena geologis yang muncul sebagai akibat semburan lumpur yang liar. Biasanya reservoir batuan yang didiami oleh fluida berupa lumpur adalah batuan gamping pada kedalaman lebih dari 3000 meter di bawah permukaan, selain itu juga didiami oleh garam. Sehingga memungkinkan terjadinya kubah garam (*salt dome*), diapir (intrusi atau penerobosan batuan karena tekanan melalui rekahan) dan gunung lumpur (*mud volcano*). Istilah *mud volcano* atau gunung lumpur digunakan untuk suatu fenomena keluarnya air lumpur atau lempung ke permukaan bumi. Erupsi air lumpur umumnya berhubungan dengan gas alam. Lumpur mengendap di sekitar lubang erupsi dan membentuk kerucut seperti kerucut gunung api (Mazini, 2007).

2.1.2 Studi Terdahulu tentang Gunung Lumpur

Gunung lumpur merupakan fenomena alam yang menarik dan tidak biasa. Gunung ini terjadi di daerah kompresi tektonik dan biasanya dengan akumulasi hidrokarbon di dalamnya. Terdapat 3 aspek penting diantaranya: (1) gunung lumpur mungkin merupakan indikasi adanya potensi minyak bumi, (2) gunung lumpur merupakan media penting untuk memperoleh informasi tentang sedimentasi di bawah permukaan serta kondisinya, (3) gunung lumpur bawah laut bisa menimbulkan bahaya untuk operasi pemboran, instalasi anjungan dan jalur pipa (Milkov, 2000).

Lebih dari 30% gunung lumpur di dunia terpusat di daerah Azerbaijan. Berdasarkan studi komprehensif oleh geologis Azeri dan Rusia, lebih dari 300 gunung lumpur telah ditemukan di daratan dan di laut Azerbaijan serta didominasi dengan ketinggian rata-rata 400 m dan lebar beberapa kilometer (Yusinov, 2004).

Banyak hipotesa yang diberikan untuk menjelaskan mekanisme dari formasi gunung lumpur. Terdapat 1 teori yang menjelaskan formasi gunung lumpur menyebabkan naiknya *mud diapir* (intrusi lumpur) dimana pasokan gas dan pembentukan fluida sebagai daya pengendali pembentukan gunung lumpur (Kopf, 2002). Hipotesis lain diajukan oleh Lorenz (1975), menjelaskan bahwa formasi gunung lumpur menyebabkan aliran cepat dari fluida pori ke serpih yang plastis dan selanjutnya masa yang sangat terfluidisasi ini menghilang melalui patahan-patahan atau struktur penghubung lainnya (Fowler et al, 2000).

Gunung lumpur juga biasanya berasosiasi dengan antiklin seperti studi yang dilakukan oleh Gubkin dan Fedorov (1938) di bagian Turkmenistan Barat (daerah Kerch-Taman). Pendapat ini menyatakan bahwa pertumbuhan struktur antiklin selama masa pengendapan material sedimen menghasilkan perlapisan sedimen yang memiliki heterogenitas dalam hal tekanan pada dimensi lateral. Pelipatan dan peningkatan tekanan yang dihasilkannya menjadi pemicu terjadinya injeksi material plastis ke arah atas, terutama di sumbu-sumbu antiklin. Argumen ini mengarah pada kesimpulan bahwa struktur antiklin-diapir ini adalah satu-satunya pemicu terbentuknya gunung lumpur. Akan tetapi, tentu saja, teori ini segera menemui sanggahannya sendiri karena banyak juga antiklin di lokasi penelitian mereka yang sama sekali tidak berasosiasi dengan gunung lumpur.

Teori ketiga dalam kelompok kedua ini yang berpendapat bahwa gunung lumpur memiliki hubungan yang kuat dengan keberadaan deposit minyak dan gas bumi berdasarkan pada fakta-fakta yang ditemukan di beberapa lokasi di Depresi Trukmenistan Barat dan kasus di Azerbaijan, dimana di lokasi yang disebutkan terakhir setidaknya geologis sudah mengidentifikasi sebanyak 34 buah gunung lumpur pada region yang mengandung sebanyak 21 struktur jebakan minyak dan gas bumi. Pada tahun 1920-an sebenarnya para geologis Soviet percaya bahwa kehadiran gunung lumpur akan merusak jebakan-jebakan minyak (dan gas) bumi, hingga akhirnya keyakinan ini pudar dengan ditemukannya cadangan minyak Bibi-Eibat di daerah Lokbatan (Febryan, 2010).

Terdapat hubungan menarik yang ditemukan antara bentuk gunung lumpur dan material yang dierupsikan. Seperti gunungapi, tidak diketahui kekuatan erupsinya tapi dicirikan dengan aktivitas yang konstan dari *gryphon* (kubah kawah) dan *salses* (kolam lumpur) yang umumnya tidak membentuk topografi yang tinggi, dan suatu waktu menyatu dengan dataran di sekelilingnya. Titik tertinggi umumnya hanya 10-20 m, tetapi terkadang menutupi daerah seluas beberapa kilometer persegi. Kawah (*crater*) dengan diameter lebih dari 400 m, dan dasar dari gunungapi umumnya ratusan meter, terkadang melintang beberapa kilometer. Di sisi lain, material yang disemburkan sangat kuat akan mempengaruhi bentuk dan tinggi dari tubuh gunung lumpur. Material yang makin padu mempunyai lereng yang lebih terjal dan ketinggian yang lebih besar (Yusinov, 2004).

Potensi bahaya dari semburan gunung lumpur bisa berupa letusan lumpur, emisi dari gas beracun dan membuang gas-gas secara spontan (Guliyev and Feyzullayev, 1994). Fenomena bencana ini dapat terjadi secara tiba-tiba tanpa peringatan, namun hanya memberikan dampak pada daerah di dekat gunung lumpur dan karena itu hanya dilakukan upaya yang bersifat lokal. Namun tidak semua semburan gunung lumpur berbahaya dan liar (Yusinov, 2004).

Gunung lumpur pada dasarnya dibagi dalam dua kelompok, mereka terkait dengan kompleks magmatik dan yang terkait dengan minyak bumi. Terjadinya gunung lumpur secara luas didistribusikan ke seluruh dunia, sering terletak di sepanjang patahan, lipatan yang berhubungan dengan patahan, dan sumbu antiklin. Jalur yang terdapat pada struktur bertindak sebagai jalur dari aliran fluida yang kemudian fluida tersebut mengumpul dan akhirnya mencapai permukaan. Gunung lumpur episodik mengalami letusan keras dalam jumlah besar berupa gas yang bercampur dengan air, minyak, lumpur dan fragmen batuan membentuk sesuatu yang disebut Breksi Lumpur (Kholodov, 2002).

Sebagian besar gunung lumpur yang telah diketahui hingga saat ini berada di sepanjang batas lempeng yang aktif dan lebih spesifiknya, di sepanjang puncak antiklin, kompresi yang melalui lempeng tektonik konvergen dan terkait tinggi dari tingkat akumulasi sedimen yang secara umum dianggap sebagai mekanisme utama dari permulaan gunung lumpur. Sedimen berlempung dan batuan biasanya sangat rapuh (lemah) dan karena itu, di bawah pengaruh gaya kompresif, rentan terhadap beragam perubahan mineral lempung, proses dehidrasi dan deformasi melalui patahan. Bahkan, di bawah pengaruh keadaan tersebut, pembentukan

termal dan/atau biogenik dari gas hidrokarbon biasanya meningkat. Secara bersamaan, hal ini menunjukkan bahwa pembentukan saluran potensial vulkanik, liquifaksi (faksi cair), fluidisasi, gasifikasi, inversi densitas, dan migrasi dari material gunung lumpur melalui diapir atau daerah patahan/saluran (Kopf, 2011).

2.2 Proses Terbentuknya Gunung Lumpur

Peristiwa gunung lumpur dikontrol oleh beberapa faktor, diantaranya aktivitas tektonik, pemuatan sedimen karena sedimentasi yang cepat, sedimen plastik halus dan akumulasi hidrokarbon yang kontinu (terus-menerus) (Hensen et al, 2007).

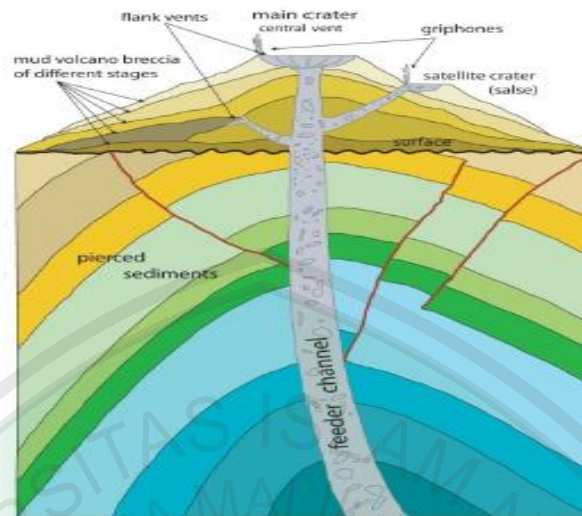
Gunung lumpur yang masih muda dan kuat umumnya mengeluarkan lumpur breksi dengan perbandingan matriks-klastik yang sangat tinggi, dimana lumpur breksi dari gunung lumpur yang lebih tua mungkin hampir bebas klastik dengan kandungan lumpur sampai 99%. Yang kemudian sering dihubungkan dengan tahap akhir dari siklus erupsi, ketika dinding batuan melemah di sepanjang saluran yang telah tergeser oleh naiknya lumpur ke atas permukaan (Graue, 2000).

Gunung lumpur terbentuk karena melepaskan gas alami yang naik ke permukaan ketika menemukan *conduit* (sesar mendatar yang tegak) dan membawa lumpur (*mud*) yang memiliki densitas lebih ringan dari sedimen di sekitarnya. Lumpur, gas, batuan, belerang dan garam serta air akan diletuskan di permukaan membentuk kerucut seperti gunung. Proses sedimentasinya serupa *mud diapir* dalam skala yang lebih kecil tetapi dalam gerakan yang lebih cepat, yang dipicu oleh adanya paket sedimen berdensitas rendah dikelilingi paket

sedimen berdensitas lebih tinggi. Gerakan tektonik berpengaruh, juga sedimen yang diendapkan secara cepat. Wilayah sesar mendatar aktif merupakan lahan subur gunung lumpur.

Ada pula yang menyebutkan bahwa pemicu gunung lumpur adalah akibat adanya gaya dari dalam perut bumi (endogenik). Gunung lumpur sebenarnya identik dengan diapir lumpur/garam. Gunung lumpur merupakan intrusi massa yang relatif *mobile* (bergerak/berpindah) terhadap strata (lapisan/tingkatan) di sekitarnya yang diakibatkan adanya daya apung (*buoyancy*) dan perbedaan tekanan berlebihan (*oversaturated*) dan ketika massa yang mengintrusi sampai di permukaan, maka fenomena inilah yang dikenal dengan sebutan gunung lumpur (*mud volcano*) (Satyana, 2001).

Terjadinya gunung lumpur biasanya berasosiasi dengan suatu keadaan geologi yang lapisan sedimennya belum terkompaksikan, mempunyai tekanan tinggi dan mengakibatkan timbulnya diapir dari serpih ataupun penusukan oleh serpih. Gejala tersebut juga sering berasosiasi dengan daerah yang disebut *over pressured area*, yaitu daerah tekanan tinggi yang tekanan serpihnya lebih besar daripada tekanan hidrostatik, dengan demikian dapat menimbulkan kesulitan pemboran. (Satyana, 2001).



Gambar 2.1 Struktur dasar dan elemen utama dari gunung lumpur kerucut.
(Dimitrov, 2002)

Air dalam ekstrusi gunung lumpur biasanya memblokir dari kedua sumber yang dangkal dan yang dalam serta biasanya diperoleh melalui berbagai macam proses. Lumpur breksi dan air gunung lumpur umumnya bercampur dimana aliran gunung lumpur memiliki viskositas yang berbeda-beda. Selama erupsi yang besar, gunung lumpur bisa mengeluarkan aliran material hingga 5 juta m^3 (Graue, 2000).

Metana hampir selalu mendominasi gas (70-90%) yang diproduksi dan diemisikan (dikeluarkan) melalui gunung lumpur. Sisanya termasuk (dari urutan terbawah) karbondioksida, nitrogen, hidrogen sulfida, argon dan helium (Judd, 2005).

Sistem pengisi internal gunung lumpur belum diketahui. Meskipun studi menggambarkan variabilitas yang besar, biasanya mereka terdiri dari bagian utama, pusat dan akar dengan kedalaman tertentu dari saluran pengisi dimana sebagian lumpur material vulkanik diangkut. Saluran pengisi dapat berbentuk apa saja dari bentuk silinder hingga bentuk yang tidak beraturan sampai hanya berbentuk celah. Bagian yang dekat permukaan, saluran pengisi cenderung tipis

dan merengkah dan menjadi pipa/saluran lateral yang lebih kecil. Diameter dari saluran vulkanik mungkin memiliki dampak yang mendalam pada aktivitas gunung lumpur (Stewart, 2006).

2.3 Klasifikasi Gunung Lumpur

Komposisi gunung lumpur terdiri atas semua material yang dikeluarkan dari perut bumi baik berupa massa padat, plastis, cair, dan gas. Massa padat berupa bebatuan, garam sedangkan massa plastis berupa bubur lempung. Sebaliknya massa cair dapat berupa air (air tanah, air magmatik/vulkanik dan air laut) sedangkan massa gas berupa gas metana, hidrat dan gas belerang.

Secara umum, gunung lumpur diklasifikasikan menjadi 2 jenis utama yaitu: gunung lumpur yang berasosiasi dengan gunung api dan gunung lumpur yang tidak berhubungan dengan gunung api. Gunung lumpur tipe pertama dicirikan keberadaannya berdekatan dengan gunung api aktif. Umumnya gunung lumpur ini bersuhu tinggi, mengeluarkan uap air dalam jumlah besar, dan tidak hadirnya gas hidrokarbon. Contoh gunung lumpur ini adalah solfatara atau fumarol dan geyser yang dihasilkan oleh aktivitas vulkanik. Gunung lumpur tipe yang kedua adalah gunung lumpur yang tidak ada kaitannya dengan gunung api. Dengan kata lain gunung ini meletus secara independen tanpa terkait dengan gunung api. Gunung lumpur ini dicirikan dengan air letusan yang bersuhu relatif rendah/dingin dan mengandung material hidrokarbon (dalam bentuk gas). Tipe gunung lumpur ini merupakan gunung lumpur yang sesungguhnya (Munawaroh, 2014).

Sedangkan percobaan untuk mengklasifikasikan gunung lumpur berdasarkan karakter semburan dengan memperhatikan ekspresi permukaan telah dilakukan oleh Kalinko (1964). Ia membedakan menjadi tiga kelas gunung lumpur diantaranya:

1. Kelas satu: tipe Lokbatan

Tipe gunung lumpur ini dengan bentuk kerucut terjal \

2. Kelas Kedua: tipe Chikishlyar.

Gunung lumpur tipe ini dengan bentuk sangat rendah dengan tonjolan atau kubah rata (*flat domes*), dimana menyatu dengan bidang di sekelilingnya, atau membentuk depresi pipih (*plateshape depressions*) yang diisi oleh air.

3. Kelas tiga: tipe Schugin.

Dicirikan oleh suatu bentuk yang bervariasi, tetapi yang umum dari gunung lumpur tipe ini membentuk kawah komposit (*composite crater*).

2.3.1 Bentuk Gunung Lumpur

Gunung lumpur berdasarkan garis seismik memiliki bentuk yang berbeda-beda. Beberapa bentuk memiliki perbedaan yang menonjol di dasar laut, sedangkan yang lain melebur bergabung menjadi bantuan sekitarnya. Empat jenis gunung lumpur yang dibedakan berdasarkan bentuk dan penampilan di dasar laut yang dijelaskan di sini: Cekung, cembung, datar dan terkubur.

Cekung, jenis gunung lumpur ini biasanya memiliki bentuk kerucut dengan khas kawah di atasnya. *Cembung*, gunung lumpur jenis ini memiliki permukaan yang cembung dan relatif halus dengan ditandai tidak adanya kawah atau distorsi

negatif di dasar laut. *Datar*. gunung lumpur memiliki bentuk kerucut dan reflektor datar di bagian atas. Ada kasus ketika gunung lumpur tidak memiliki relief khas seperti yang disebutkan di atas. Kurangnya sinyal seismik dapat disebabkan oleh gas jenuh sedimen. *Dikuburkan* (buried) jenis gunung lumpur ini ditandai dengan kurangnya bentuk/wujud dari gunung lumpur di atas permukaan. Tubuh gunung lumpur ditutupi oleh sedimen dan tidak berhubungan dengan bagian atas permukaan. Gunung lumpur yang seperti ini biasanya memiliki fitur yang menumpuk (tumpukan/timbunan) yang ditafsirkan sebagai arus paleo yang mengungkapkan aktivitas mereka di masa lalu (Yusinov, 2004).

2.4 Faktor Penyebab Keluarnya Lumpur

Ada dua faktor yang menyebabkan terjadinya semburan lumpur tersebut yaitu (Risma, 2013):

1. Faktor alam

Munculnya lumpur panas di dunia selalu dikaitkan dengan adanya gunung lumpur (*mud vulcano*). Komposisi gunung lumpur ini terdiri atas semua material yang dikeluarkan perut bumi baik berupa masa padat, plastis, cair, dan gas. Munculnya gunung lumpur ini dipicu adanya bubur lumpur yang bercampur dengan kantong-kantong gas (metana) yang mengalami kelebihan tekanan terkubur di bawah permukaan yang berusaha keluar ke permukaan bumi. *Conduit* untuk keluarnya lumpur tersebut berupa bukaan atau rekahan terbentuk akibat proses tektonik atau pembentukan patahan atau struktur antiklin.

2. Kegiatan manusia

Kegiatan manusia (*man made activity*), terjadi semburan lumpur panas yang diakibatkan oleh adanya aktivitas atau kegiatan manusia contohnya pemasangan rig dan pengeboran minyak bumi, seperti yang terjadi di Sidoarjo.

2.5 Persebaran Gunung Lumpur di Indonesia

Kalau ditinjau dari persebarannya di muka bumi, maka gunung lumpur mengikuti pola persebaran gunungapi (*volcano*), juga tersebar secara luas di seluruh dunia. Secara umum persebaran ini dapat digolongkan ke dalam dua golongan besar, yaitu gunung lumpur yang berada di daratan (*subaerial*) dan gunung lumpur yang berada di bawah laut (*subaqueous*). Gunung lumpur yang berada di daratan secara total jumlahnya lebih dari 700 buah.

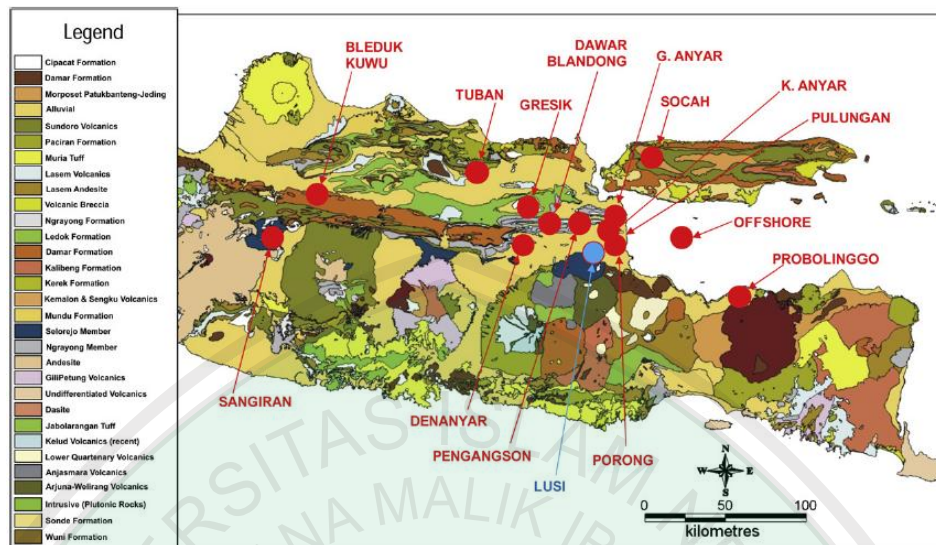
Di Indonesia, khususnya, termasuk ke dalam provinsi yang ke-16. Provinsi gunung lumpur ke-16 ini termasuk Malaysia dan Indonesia. Di Indonesia, gunung lumpur terdapat di pulau Sumatera, Kalimantan, Jawa dan Papua. Secara keseluruhan terdapat sekitar 50 buah gunung lumpur di provinsi ini dan yang terbanyak terdapat di pulau Kalimantan (Munawaroh, 2014).

2.5.1 Gunung Lumpur di Pulau Jawa

Gunung lumpur merupakan fenomena yang memanjang dalam lapisan bumi. di pulau Jawa. Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, utara Bali hingga utara Lombok yang jika suatu ketika terjadi patahan akibat pergerakan bumi, maka gunung lumpur akan menemukan jalan keluarnya. Untuk di pulau Jawa sendiri gunung lumpur terdapat di kota-kota berikut: Jawa Tengah di daerah Bleduk Kuwu, Purwodadi dan Sangiran, sedangkan di Jawa Timur ditemukan di Kalang

Anyar, Pulungan, Gunung Anyar hingga Bangkalan yang berada dalam satu pola kelurusan berarah NE-SW. Beberapa gunung lumpur bahkan membentuk pulau-pulau seperti banyak ditemukan di utara pulau SAWu baratnya Timor dan di utara Timor.

Ada empat macam gunung lumpur (*mud volcano*) yang dipelajarinya di Azerbaijan yang dikelompokkan oleh *State Oil Company of Azerbaijan Republic*. Pertama tipe *Explosive* yang dicirikan dengan semburan lumpur dan gas yang sangat kuat dan secara seketika terbakar. Sedangkan tipe yang kedua adalah *effusive* yang dicirikan dengan keluarnya lumpur seketika dalam jumlah yang besar namun tidak ada gas yang terbakar. Tipe yang ketiga adalah *effusive* yang dicirikan aliran lumpur yang viskositasnya encer tanpa mengeluarkan gas dalam jumlah yang banyak. Sedangkan tipe yang terakhir adalah tipe *extrusive* yang dicirikan aliran lumpur yang lambat dengan kandungan viskositas yang encer dengan kandungan gas yang sangat sedikit. Dari keempat di atas tipe pertama dan kedua ini sangat berbahaya. Tipe yang lain sedikit kurang berbahaya bahkan mungkin bisa diprediksi. Tetapi harus dipelajari dulu struktur geologi bawah permukaannya sebelum ditentukan tipe dari semburan lumpur tersebut (Yusinov, 2004).



Gambar 2.2 Gunung lumpur yang terdapat di Pulau Jawa bagian timur dan Madura (Istadi, 2009).



Gambar 2.3 Kenampakan gunung lumpur Bujhel Tasek Laki, Geger di Bangkalan Madura (Zaennudin, 2010).



Gambar 2.4 Bujhel Tasek Bini salah satu gunung lumpur yang berjarak sekitar 400 m dari Bujhel Tasek Laki (Zaennudin, 2010).

2.6 Geologi Daerah Penelitian

2.6.1 Stratigrafi

Daerah Madura dibentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen Awal hingga Pliosen dan batuan endapan permukaan yang terdiri dari endapan aluvium. Batuan tertua adalah Formasi Tawun (Tmt), terdiri dari batulempung, napal dan batugamping orbitoid, berumur Miosen Awal-Miosen Tengah, Formasi Ngrayong (Tmtn) menindih selaras Formasi Tawun yang terdiri dari batupasir kuarsa berselingan dengan batugamping orbitoid dan batulempung, berumur Miosen Tengah.

Formasi Ngrayong tertindih selaras oleh Formasi Bulu (Tmb) yang terdiri dari batugamping pelat dengan sisipan napal pasiran, berumur Miosen Tengah bagian atas. Formasi Pasean (Tmp) menindih selaras Formasi Bulu, terdiri dari perselingan napal pasiran dan batugamping lempungan, berumur Miosen Akhir.

Formasi Madura (Tpm) menindih tak selaras Formasi Pasean, terdiri dari batugamping terumbu dan batugamping dolomitan, berumur Pliosen. Formasi ini tertindih tak selaras oleh Formasi Pamekasan (Qpp) yang terdiri dari konglomerat, batupasir dan lempung, berumur Plistosen. Endapan paling muda adalah aluvium terdiri dari pasir kuarsa, lempung, lumpur, kerikil dan kerakal, berumur Holosen.

Struktur di daerah Madura adalah lipatan dan sesar. Struktur antiklin dan sinklin berarah barat - timur, jurus sesar umumnya berarah baratdaya - timurlaut dan baratlaut - tenggara. Antiklin umumnya berkembang pada Formasi Ngrayong,


Bulu dan Formasi Pasean. Sinklin pada umumnya berkembang pada Formasi Ngrayong. Sesar yang terdapat di daerah ini adalah sesar naik, sesar geser dan sesar normal, jurus sesar naik berarah barat - timur, jurus sesar geser dan sesar normal berarah baratdaya - timur laut dan baratlaut - tenggara. Kelurusan pada umumnya searah dengan jurus sesar geseran sesar normal.



Gambar 2.5 Peta geologi daerah penelitian (Supandjono, 1992)

Keterangan:

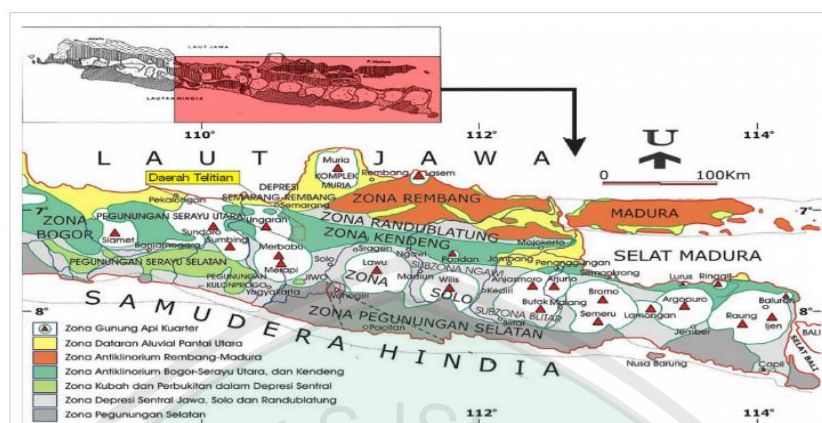
- | | | |
|-----|-------------------|---|
| Qa | Aluvium | : Kerakal, kerikil, pasir lempung dan setempat pecahan cangkang fosil. |
| Qpp | Formasi Pamekasan | : Batu pasir coklat kemerahan, batu lempung kelabu, konglomerat, komponen utama batu gamping. |

Tm _{pm}	Formasi Madura	: Batu gamping terumbu, tanah kecoklatan, batu gamping kapuran, putih kekuningan.
Tm _w	Formasi Watukoceng	: Pasiran dengan batu gamping, batu pasir kuarsa bersisipan batu gamping orbitoid dan batu pasir berlapis tipis.
Tm _t	Formasi Tawun	: Napal pasiran bersisipan batu gamping dan batu pasir gampingan, batu lempung gampingan.
	Lokasi	: Gunung lumpur Bujhel Tasek
	U----- D	: Sesar (U bagian yang naik, D bagian yang turun)

2.6.2 Fisiografi

Secara fisiografi, Madura termasuk bagian timur Perbukitan Kendeng, bagian tengah Perbukitan Rembang-Madura, pendataran aluvium Jawa sebelah utara, pendataran tengah Jawa Timur dan bagian timur lekuk Randublatung. Bagian timur Perbukitan Kendeng yang ada di Lembar ini tertutup aluvium. Yang berbeda dengan itu adalah Perbukitan Rembang-Madura yang menerus sampai Pulau Madura. Tiga satuan morfologi yang dapat dibedakan pada daerah ini, yaitu pedataran rendah, perbukitan menggelombang, dan perbukitan kras.

Daerah penelitian yang berada di Desa Katal Barat Kecamatan Geger Kabupaten Bangkalan termasuk bagian dari Lajur Rembang-Madura kelanjutan dari Jawa Tengah yang terbentuk oleh batuan sedimen yang berumur Miosen sampai Plistosen dan endapan yang terbentuk sekarang. Batuan yang tergabung dalam Lajur Rembang-Madura adalah Formasi Tawun, Formasi Madura, Formasi Lidah dan Formasi Pamekasan (Supanjono, 1992).



Gambar 2.6 Fisiografi daerah Jawa Timur (www.hmgi.or.id)

Batuan tertua di Lajur Rembang-Madura yang tersingkap adalah Formasi Tawun yang berumur Miosen Awal-Tengah. Di atasnya terdapat Formasi Watukoceng yang berumur Miosen Tengah, tetapi formasi itu menjemari dengan Formasi Tawun. Selaras di atas Formasi Watukoceng terdapat Formasi Madura, dan di atasnya lagi menindih tak selaras Formasi Pamekasan yang berumur Plistosen. Satuan paling muda adalah aluvium yang menindih tak selaras semua formasi yang lebih tua. Struktur geologi di Lajur Rembang-Madura memperlihatkan tektonik yang nisbi lebih kuat daripada di Lajur Kendeng. Lipatan di Lajur Rembang-Madura mempunyai kemiringan lapisan antara 20° dan 50° . Sesar-sesarnya lebih rapat dan lipatannya berupa antiklin yang menyelinp ke barat laut, dengan lereng selatan nisbi lebih terjal. Sesar di Madura pada umumnya berarah baratdaya dan timurlaut seperti sesar yang memotong sayap utara dan selatan Antiklin Gibang. Dalam hal ini yang menurun adalah bongkah timur terhadap yang barat. Hanya sebagian kecil saja sesar yang berarah timur-barat, misalnya yang terdapat di ujung barat (Supandjono, 1992).

2.6.3 Sejarah Geologi

Sejarah geologi yang dapat diamati di Lajur Rembang-Madura dimulai pada kala Meosen Awal ketika Formasi Tawun diendapkan dalam lingkungan laut terbuka. Pada Kala Miosen Tengah terbentuk Formasi Watukoceng yang tersusun sebagian besar oleh batu pasir kuarsa yang menunjukkan adanya susut laut. Ada dugaan pada kala itu terjadi tektonik yang menyebabkan terbentuknya sembul di Paparan Sunda sebagai asal klastika kuarsa. Pada Kala Miosen Akhir sampai Pliosen Awal terbentuk paparan laut dangkal, sehingga terjadi pengendapan karbonat yang cukup luas. Pelipatan, penyesaran, pengangkatan dan erosi terjadi di Lajur Rembang-Madura sejak Pliosen Akhir sampai Plistosen Awal. Pada Plistosen Akhir, terjadi penurunan sebagian yang diikuti oleh pengendapan Formasi Pamekasan di lingkungan peralihan antara darat dan litoral. Diduga wilayah ini terangkat kembali pada Kala Holosen (Bammelen, 1949).

Pada zaman Plistosen Tengah proses tektonik berlangsung semakin kuat, yang mengakibatkan terbentuknya pelipatan yang berarah relatif timur-barat, dan patahan naik serta patahan normal berarah relatif sama, yaitu timur-barat. Lipatan-lipatan kecil (*anticlinorium*) Cepu terus berlanjut hingga ke Pulau Madura. Di sebelah selatan wilayah ini terdapat jalur gunung api Gunung Lawu Tua, Gunung Wilis, dan Anjasmoro. Aktivasnya berlangsung sampai Plistosen Atas (1 juta tahun yang lalu). Produk letusannya menghasilkan endapan batuan Formasi Notopuro. Di sebelah utara Zona Randublatung di sekitar Rembang terbentuk Gunung Lasem dan Gunung Butak yang merupakan aktivitas magmatik *back arc basin*. Daerah Rembang dan sekitarnya berubah menjadi daratan 1,5 juta tahun yang lalu (Supandjono, 1992).

Zona Randublatung dari 1 juta tahun yang lalu sampai saat ini terus mendangkal, yang dahulunya berupa rawa-rawa/laut sangat dangkal berubah menjadi dataran aluvial. Daerah ini merupakan tempat terkumpulnya endapan-endapan sungai atau dataran limpah banjir yang menghasilkan endapan-endapan lumpur seperti di SAWah-SAWah yang ada sekarang (Supandjono, 1992).

Sesar adalah struktur geologi yang terbentuk karena terdapatnya dislokasi atau patahan yang memotong bidang-bidang perlapisan antar batuan. Pada umumnya bidang sesar terisi oleh fluida atau mineral yang relatif lebih konduktif dari batuan sekitarnya. Hal ini akan mengakibatkan penurunan resistivitas. Jadi pada sesar/patahan akan mempunyai resistivitas yang relatif lebih rendah dari daerah sekitarnya (Reynold, 2005).

2.7 Sifat Fisis Batuan

2.7.1 Densitas

Densitas adalah massa per satuan volume. Besar kecilnya densitas suatu material dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Harsono, 1997):

- a. Komposisi mineral dan kimianya
- b. Suhu
- c. Tekanan
- d. Porositas
- e. Material yang mengisi ruang pori

2.7.2 Porositas

Porositas adalah rasio ruang kosong pada batuan dengan total volume batuan, dan mencerminkan kapasitas penyimpanan fluida reservoir. Porositas dinyatakan sebagai persentase di log.

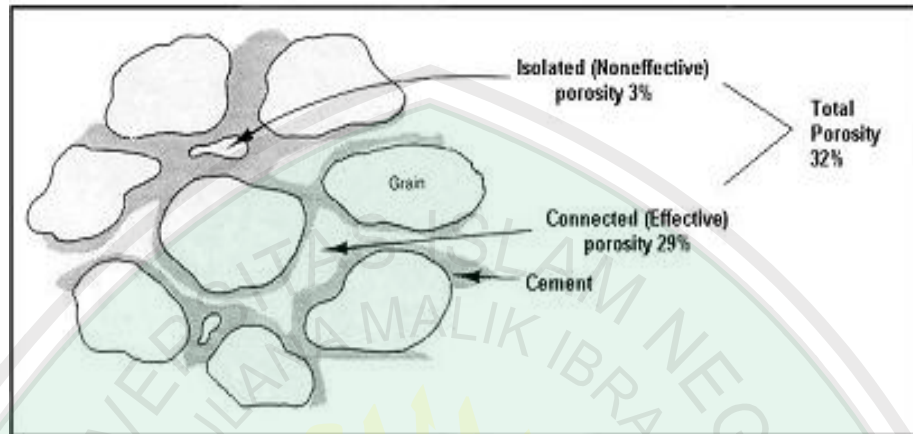


Gambar 2.7 Porositas batuan (Halliburton, 2001)

$$\text{Porosity } (\phi) = \frac{\text{Volume ruang kosong}}{\text{Volume total batuan}} \quad (2.1)$$

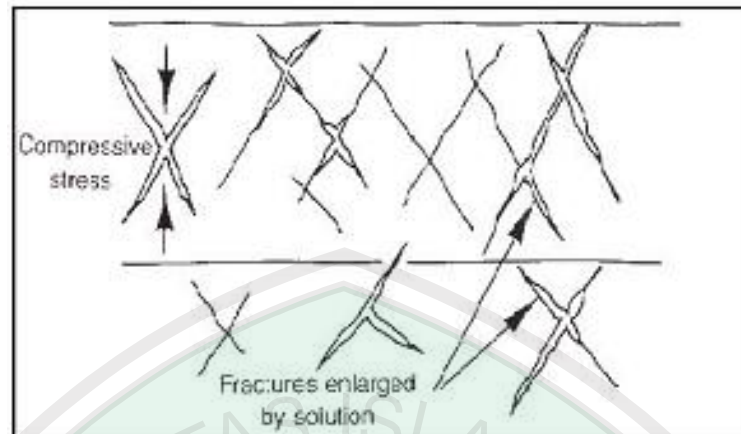
1. *Primary Porosity*. Jumlah ruang pori-pori hadir dalam sedimen pada saat pengendapan, atau terbentuk selama sedimentasi. Ini biasanya merupakan fungsi dari jumlah ruang antara butir pembentuk batuan.
2. *Secondary Porosity*. Hasil porositas seperti dari tanah pembubaran, rekristalisasi dan rekahan.
3. *Effective Porosity vs Total Porosity*. Porositas efektif adalah volume pori yang saling berhubungan yang tersedia bebas untuk fluida. Porositas total semua ruang kosong di batuan dan matriks apakah efektif atau tidak efektif.
4. *Maximum Porosity vs Realistic Porosity*. Porositas bisa mendekati sangat baik dalam *sand* yang dipadatkan, maksimum secara teoritis bisa mencapai 47,6%. Dalam batuan pasir, nilai ini biasanya jauh lebih rendah karena sementasi dan kompaksi/pemadatan. Dalam karbonat, itu adalah mungkin untuk melampaui

porositas maksimum teoritis. Hal ini dapat dicapai jika karbonat sangat retak bersama dengan *vuggy* (Halliburton, 2001).



Gambar 2.8 Porositas total (Peters, tanpa tahun)

5. *Fracture porosity*. Hasil dari kehadiran bukaan yang dihasilkan oleh pemecahan atau pecahan batuan. Semua jenis batuan dipengaruhi oleh *fracturing* dan komposisi batuan akan menentukan seberapa rapuh batuan dan berapa banyaknya *fracturing* yang akan terjadi. Dua tipe dasar *fractures* meliputi *fractures* tektonik terkait alam dan *fractures* hidrolik. Hidrolik *fracturing* adalah metode untuk mendorong produksi dengan menginduksi retakan dan rekahan dalam formasi dengan menginjeksi fluida ke dalam batuan reservoir pada tekanan yang melebihi kekuatan batuan. Rekahan hidrolik dapat meningkatkan porositas efektif dan permeabilitas formasi.



Gambar 2.9 *Fracture* batuan (Peters, tanpa tahun)

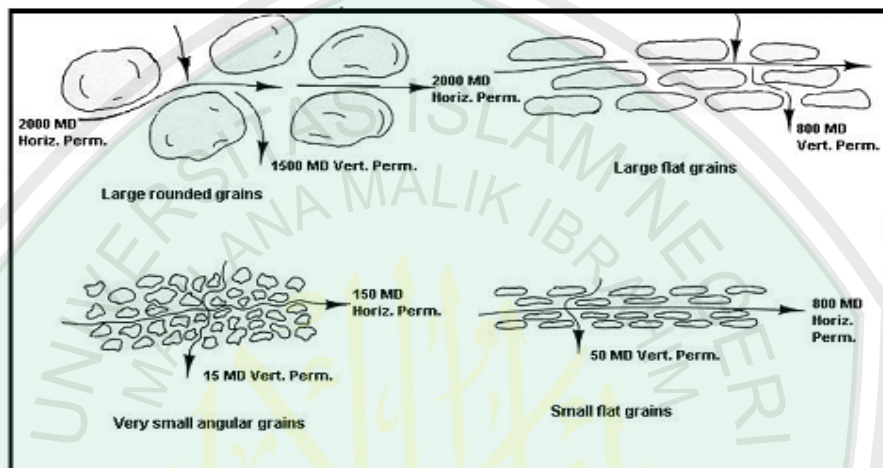
2.7.3 Permeabilitas

Permeabilitas adalah ukuran kemudahan formasi yang memungkinkan fluida mengalir melaluinya. Untuk menjadi permeabel, formasi harus memiliki porositas yang saling berhubungan. Contoh beberapa variasi dalam permeabilitas dan porositas (Halliburton, 2001):

1. Beberapa batupasir halus dapat memiliki sejumlah besar porositas saling berhubungan. Oleh karena itu, permeabilitas formasi *fine-grained* tersebut mungkin cukup rendah.
2. Serpih dan *clays* yang mengandung partikel sangat halus yang sering menunjukkan porositas yang sangat tinggi. Namun, karena pori-pori dalam formasi ini sangat kecil, sebagian besar serpih dan *clays* menunjukkan hampir tidak ada permeabilitas.
3. Beberapa batugamping mungkin berisi sedikit porositas, atau terisolasi rongga porositas yang tidak saling berhubungan. Jenis formasi akan menunjukkan sangat sedikit permeabilitas. Namun, jika formasi secara *fractures* alami (atau

bahkan hidrolis fraktur), permeabilitas akan lebih tinggi karena pori-pori terisolasi saling berhubungan dengan *fractures*.

4. Porositas tidak tergantung pada ukuran butir
5. Permeabilitas tergantung pada ukuran butir



Gambar 2.10 Permeabilitas dan ukuran butir (Halliburton, 2001)

2.8 Metode Geolistrik

Metode geolistrik merupakan salah satu metode dalam geofisika yang mempelajari sifat aliran listrik di dalam bumi dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah. Umumnya, metode resistivitas ini baik untuk eksplorasi dangkal, yaitu sekitar 100 meter. Jika kedalaman lapisan lebih dari harga tersebut, informasi yang diperoleh kurang akurat, hal ini disebabkan karena melemahnya arus listrik untuk jarak bentang yang semakin besar (Santoso, 2002).

Manusia diciptakan oleh Allah SWT di bumi ini dengan memiliki keterbatasan indrawi dalam melihat semua yang ada di langit dan di bumi,

sehingga diperlukan suatu ilmu pengetahuan untuk bisa melihat atau mengeksplorasi dan salah satu wujud dari ilmu pengetahuan dalam bidang geofisika adalah menggunakan metode geolistrik resistivitas. Sebagaimana dalam surat Ar-Rahman ayat 33, Allah SWT berfirman:

بِمَعَشَرَ الْجِنَّ وَالْإِنْسِ إِنِ اسْتَطَعْتُمْ أَنْ تَنْفُذُوا مِنْ أَقْطَارِ آسْمَوَاتٍ وَالْأَرْضِ فَاَنْفُذُوا ۚ لَا تَنْفُذُونَ إِلَّا بِسُلْطَنٍ (۳۳)

“Hai jama’ah jin dan manusia, jika kamu sanggup menebus (melintasi) penjuru langit dan bumi, maka lintasilah, kamu tidak dapat menembusnya kecuali dengan kekuatan” (Q.S. ar-Rahman [55]:33).

Dari ayat di atas dapat dipahami bahwa Allah SWT telah mempersilahkan kepada makhluk-Nya untuk melakukan eksplorasi terhadap langit dan bumi dalam mengetahui segala hal yang ingin kita ketahui. Namun ayat di atas memberi pengecualian yaitu dengan kekuatan, kekuatan yang dimaksud adalah kekuatan dari tubuh dan dari pikiran yang berupa ilmu pengetahuan. Jadi sebagai hamba Allah SWT yang memiliki ilmu pengetahuan dan teknologi dalam geofisika hendaknya terus berupaya untuk menemukan segala sesuatu yang terdapat di bumi baik berupa sumber daya alam yang bermanfaat baik berupa minyak dan gas bumi (hidrokarbon) atau batubara, dan menemukan fenomena alam yang terjadi di bumi atau juga sebagai mitigasi bencana alam yang terjadi dengan berusaha mengetahui gejala-gejala yang terjadinya sebelumnya. Kemudian perintah ini ditegaskan kembali dalam Allah SWT berfirman dalam surat Yunus ayat 101:

قُلْ أَنْظَرُوا مَاذَا فِي آسْمَوَاتٍ وَالْأَرْضِ ۚ وَمَا تُغْنِي الْآيَاتُ وَالنُّذُرُ عَنْ قَوْمٍ لَّا يُؤْمِنُونَ (۱۰۱)

“Katakanlah: Perhatikanlah apa yang ada di langit dan di bumi. Tidaklah bermanfaat tanda kekuasaan Allah dan rasul-rasul yang memberi peringatan bagi orang-orang yang tidak beriman.” (Q.S. Yunus [10]:101).

Memaknai kata “unzhuru” yang berarti periksa berarti Allah SWT memerintahkan kita untuk memeriksa segala sesuatu yang terdapat di langit dan bumi. Menurut Achmad Baiquni dalam *Seri Tafsir Al-Qur’an Bil Ilmi: 01, Al-Qur’an Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, arti kata unzhuru adalah lakukanlah, nazhor atau intizhor dalam Elia’s Modern Dictionary, 9th Edition, Cairo, dinyatakan mempunyai beberapa makna yaitu: 1) intazhoro = untuk melihat secara dekat, meneliti, 2) intazhoro = diharapkan, untuk mengantisipasi, untuk melihat ke depan, 3) intazhoro = menunggu (kata-kata yang sering digunakan di tempat parkir kendaraan di tanah Arab). Namun beliau tidak menafsirkan kata “unzhuru” dengan “lihatlah”, sebab kata yang sama dipergunakan dalam teguran Allah SWT dalam ayat 17 sampai dengan 20 surat al-Ghasyiyah, yang tidak mengandung arti melihat saja melainkan melihat dengan memperhatikan.

Dari ayat ini dapat diambil pelajaran bahwasanya Allah SWT memerintahkan kepada hamba-Nya untuk tidak hanya sekedar melihat penciptaan-Nya saja, melainkan juga dengan perhatian melalui ilmu pengetahuan. Diharapkan manusia dapat memperoleh pengetahuan yang berguna dalam menjalankan peranannya sebagai khalifah di bumi, pemeriksaan dengan perhatian yang besar untuk mengetahui sesuatu memerlukan observasi yang berulang-ulang secara teliti serta pengumpulan data secara sistematis yang kemudian dianalisis

untuk memperoleh suatu kesimpulan tentang apa yang diperiksa itu untuk dihimpun sebagai pengetahuan (Efendi, 2015).

Metode pengamatan geofisika pada dasarnya adalah mengamati gejala-gejala gangguan yang terjadi pada keadaan normal. Gangguan ini dapat bersifat statik dapat juga bersifat dinamik, yaitu gangguan yang dipancarkan ke bawah permukaan bumi. Pada metode ini, arus listrik dialirkan ke dalam lapisan bumi melalui dua buah elektroda arus. Dengan diketahuinya harga arus potensialnya maka bisa ditentukan nilai resistivitasnya. Berdasarkan nilai resistivitas struktur lapisan bawah permukaan bumi, dapat diketahui jenis material pada lapisan tersebut (Telford, 1990).

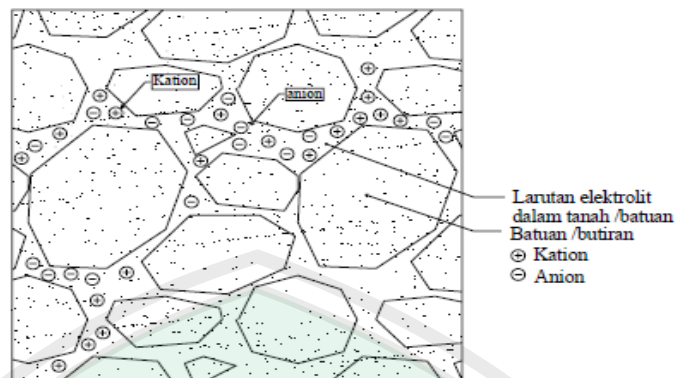
Berdasarkan teknik pengukuran geolistrik, dikenal dua teknik pengukuran yaitu metode geolistrik resistivitas *mapping* dan *sounding (drilling)*. Metode geolistrik resistivitas *mapping* merupakan metode resistivitas yang bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas lapisan bawah permukaan secara horisontal. Oleh karena itu, pada metode ini digunakan jarak spasi elektroda yang tetap untuk semua titik *sounding* (titik amat) di permukaan bumi. Metode geolistrik resistivitas *sounding* bertujuan untuk mempelajari variasi resistivitas batuan di bawah permukaan bumi secara vertikal. Pada metode ini, pengukuran pada suatu titik *sounding* dilakukan dengan jalan mengubah-ubah jarak elektroda. Perubahan jarak elektroda dilakukan dari jarak elektroda kecil kemudian membesar secara gradual. Jarak elektroda ini sebanding dengan kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Semakin besar jarak elektroda, semakin dalam lapisan batuan yang terdeteksi. Pada pengukuran di lapangan, pembesaran jarak elektroda dapat

dilakukan jika menggunakan alat geolistrik yang memadai. Dalam hal ini alat tersebut harus dapat menghasilkan arus yang besar atau arus yang cukup sensitif dalam mendeteksi beda potensial yang kecil di dalam bumi. Oleh karena itu, alat geolistrik yang baik adalah alat yang dapat menghasilkan arus listrik cukup besar dan mempunyai sensitivitas tinggi (Reynolds, 1997).

2.9 Sifat Listrik Batuan

Resistivitas adalah karakteristik batuan yang menunjukkan kemampuan batuan tersebut untuk menghantarkan arus listrik. Aliran arus listrik dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi 3 macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik dan konduksi secara dielektrik (Milsom, 2003).

Sifat konduktivitas listrik tanah dan batuan pada permukaan bumi sangat dipengaruhi oleh jumlah air, kadar garam/salinitas air serta bagaimana cara air didistribusikan dalam tanah dan batuan tersebut. Konduktivitas listrik batuan yang mengandung air sangat ditentukan terutama oleh sifat air, yakni elektrolit (larutan garam yang terkandung dalam air yang terdiri dari anion dan kation yang bergerak bebas dalam air). Adanya medan listrik eksternal menyebabkan kation dalam larutan elektrolit dipercepat menuju kutub negatif sedangkan anion menuju kutub positif. Tentu saja, batuan berpori atau pun tanah yang terisi air, nilai resistivitas (ρ) listriknya berkurang dengan bertambahnya kandungan air. Begitu pula sebaliknya, nilai resistivitas listriknya akan bertambah dengan berkurangnya kandungan air (Telford, 1990).

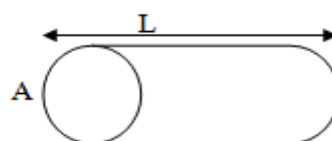


Gambar 2.11 Kandungan garam elektrolit dalam air tanah/batuan (Telford, 1990).

2.9.1 Konduksi Secara Elektronik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut. Aliran listrik ini juga dipengaruhi oleh sifat atau karakteristik masing-masing batuan yang dilewatinya. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut adalah resistivitas (tahanan jenis) yang menunjukkan kemampuan bahan untuk menghantarkan arus listrik. Semakin besar nilai resistivitas suatu bahan maka semakin sulit bahan tersebut menghantarkan arus listrik, begitu pula sebaliknya. Resistivitas mempunyai pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak hanya tergantung pada bahan tetapi juga bergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut. Sedangkan resistivitas tidak bergantung pada faktor geometri (Lowrie, 2007).

Jika ditinjau sebuah silinder dengan panjang L , luas penampang A dan resistansi R seperti gambar 2.12,



Gambar 2.12 Silinder konduktor (Lowrie, 2007).

maka dapat dirumuskan:

$$R = \rho L/A \quad (2.2)$$

Dimana ρ adalah resistivitas (Ωm), L adalah panjang silinder konduktor (m), A adalah luas penampang silinder konduktor (m^2), dan R adalah resistansi (Ω).

Sedangkan menurut hukum Ohm, resistansi R dirumuskan:

$$R = V/I \quad (2.3)$$

Dimana R adalah resistansi (ohm), V adalah beda potensial (volt), I adalah kuat arus (ampere). Dari kedua rumus tersebut didapatkan nilai resistivitas (ρ) sebesar:

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.4)$$

Banyak orang sering menggunakan sifat konduktivitas (σ) batuan yang merupakan kebalikan dari resistivitas (ρ) dengan satuan ohm/m.

$$\sigma = 1/\rho = \frac{IL}{VA} = \left(\frac{I}{A}\right)\left(\frac{L}{V}\right) = \frac{J}{E} \quad (2.5)$$

Dimana J adalah rapat arus (ampere/ m^2) dan E adalah medan listrik (volt/m) (Lowrie, 2007).

2.9.2 Konduksi Secara Elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Namun pada kenyataannya batuan biasanya bersifat porus dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Akibatnya batuan-batuan tersebut menjadi konduktor elektrolitik, dimana konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Konduktivitas dan resistivitas batuan porus bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak, dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang. Menurut rumus Archie:

$$\rho_e = a \phi^{-m} S^{-n} \rho_w \quad (2.6)$$

Dimana ρ_e adalah resistivitas batuan, $a \phi$ adalah porositas, S adalah fraksi pori-pori yang berisi air dan ρ_w adalah resistivitas air. Sedangkan a, m dan n adalah konstanta, untuk nilai m disebut faktor sementasi. Untuk nilai n yang sama, Schlumberger menyarankan $n = 2$ (Lowrie, 2007).

2.9.3 Konduksi Secara Dielektrik

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran arus listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, bahkan tidak ada sama sekali. Elektron dalam batuan berpindah dan berkumpul terpisah dalam inti karena adanya pengaruh medan listrik di luar, sehingga terjadi polarisasi (Lowrie, 2007).

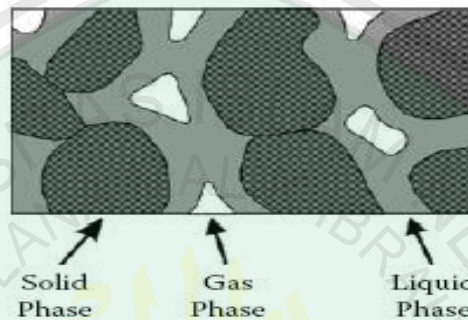
2.10 Konduktivitas Listrik

Menurut Syekhfani (2014) dalam Agustina(2014), konduktivitas listrik digunakan untuk mengetahui tingkat kegaraman yang ada dalam tanah. Konduktivitas listrik adalah fenomena aliran listrik berasal dari muatan partikel (ion, koloid) yang membentuk kekuatan medan listrik. Komponen padatan dan cairan tanah, yang terdiri dari senyawa dan unsur mengandung ion (kation, anion) bermuatan positif (+) dan negatif (-), saat terjadi aliran listrik dari + ke - melalui media cair, akan muncul daya medan listrik yang berpengaruh terhadap mobilitas ion/koloid .

2.10.1 Faktor yang Mempengaruhi Sifat Listrik dalam Tanah

Kemampuan dari bahan tanah untuk mentransfer arus listrik, seperti yang ditunjukkan oleh resistivitas (atau konduktivitas listrik) tanah, ditentukan oleh komponen-komponen yang membentuk tanah. Tanah biasanya terdiri padat, gas, dan fase cair (gambar 2.13). Fase padat tanah meliputi mineral dan bahan organik serta termasuk fragmen yang lebih besar (umumnya bahan batu), dapat dibagi dengan ukuran partikel menjadi pasir (2,0-0,05 mm), lumpur (0,05-0,002 mm), dan tanah liat (kurang dari 0,002 mm). Kuarsa dianggap sebagai isolator listrik yang sangat baik, biasanya mendominasi pasir dan lumpur ukuran fraksi tanah ini. Fraksi lempung terdiri terutama dari mineral lempung dan bahan organik. Mengingat kondisi cukup basah, mineral lempung dan bahan organik memberikan kontribusi yang signifikan untuk arus listrik mengalir di tanah. Tanah dalam fase gas sebagian besar adalah udara, yang merupakan insulator yang baik, dan seperti kuarsa, akan menentang aliran listrik. Fase cair tanah adalah larutan berair

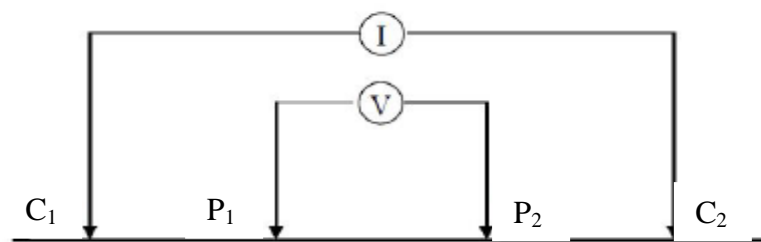
elektrolit disebut sebagai "larutan tanah". Elektrolit adalah zat kimia yang akan terdisosiasi menjadi ion-ion dalam solusi. Biasanya ada berbagai anion terlarut dan kation dalam larutan tanah, dan beberapa yang paling umum adalah SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^- , NO_3^- , PO_4^{-3} , Ca_2^+ , Mg_2^+ , K^+ , Na^+ , dan NH_4^+ (Allred, et al. 2008).



Gambar 2.13 Perbesaran bagian tipis pada sebuah tanah (Allred, et al. 2008).

2.11 Aliran Listrik di dalam Bumi

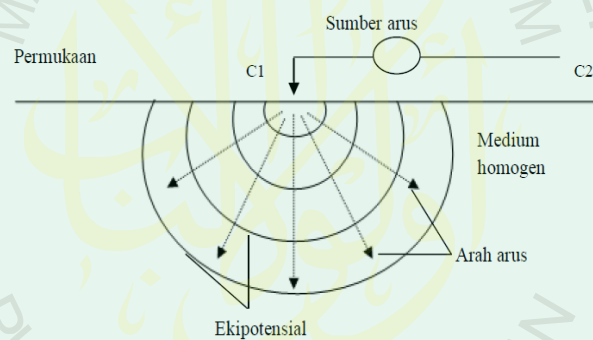
Saat memasukkan dua arus pada elektroda seperti pada gambar di bawah ini, potensial yang dekat pada titik permukaan akan dipengaruhi oleh kedua arus elektroda tersebut. C_1 dan C_2 merupakan elektroda arus yang akan menginjeksikan arus ke bawah permukaan bumi kemudian perbedaan potensial yang dihasilkan akan ditangkap oleh P_1 dan P_2 yang merupakan elektroda potensial.



Gambar 2.14 Sumber arus 2 titik pada permukaan homogen isotropis (Telford, 1990)

2.11.1 Titik Arus Tunggal di Permukaan

Metode pendekatan yang paling sederhana dalam mempelajari secara teoritis tentang aliran arus listrik di dalam bumi adalah bumi dianggap homogen dan isotropis. Jika sebuah elektroda tunggal yang dialiri arus listrik diinjeksikan pada permukaan bumi yang homogen isotropis, maka akan terjadi aliran arus yang menyebar dalam tanah secara radial dan apabila udara di atasnya memiliki konduktivitas nol, maka garis potensialnya akan berbentuk setengah bola dapat dilihat pada gambar 2.15 (Telford, 1990).



Gambar 2.15 Sumber arus berupa titik pada permukaan bumi homogen (Telford, 1990)

Aliran arus yang keluar dari titik sumber membentuk medan potensial dengan kontur ekuipotensial berbentuk permukaan setengah bola di bawah permukaan. Dalam hal ini, arus mengalir melalui permukaan setengah bola maka arus yang mengalir melewati permukaan tersebut adalah:

$$I = 2\pi r^2 J = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} = -2\pi \sigma A \quad (2.7)$$

Dimana $J =$ rapat arus listrik $= -\sigma \frac{dv}{Dr}$

Untuk konstanta integrasi A dalam setengah bola yaitu:

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.8)$$

Sehingga diperoleh:

$$V = -\frac{A}{r} \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) \frac{1}{r} \quad (2.9)$$

Dimana ΔV = beda potensial, I = kuat arus yang dilalui oleh bahan (ampere).

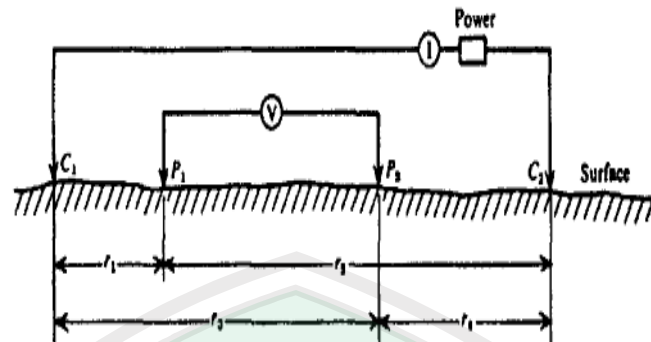
Maka nilai resistivitas listrik yang diberikan oleh medium:

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.10)$$

Persamaan (2.9) merupakan persamaan ekuipotensial permukaan setengah bola yang tertanam di bawah permukaan tanah (Telford, 1990).

2.11.2 Dua Titik Arus di Permukaan

Apabila terdapat elektroda arus C_1 yang terletak pada permukaan suatu medium homogen, terangkai dengan elektroda arus C_2 dan diantaranya ada dua elektroda potensial P_1 dan P_2 yang dibuat dengan jarak tertentu seperti pada gambar 2.16, maka potensial yang berada di dekat titik elektroda tersebut bisa dipengaruhi oleh kedua elektroda arus.



Gambar 2.16 Dua pasang elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan medium homogen isotropis dengan resistivitas ρ (Telford, 1990)

Oleh karena itu potensial P_1 yang disebabkan arus di C_1 adalah:

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \quad (2.11)$$

Dimana:

$$A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.12)$$

Karena arus pada kedua elektroda adalah sama dan arahnya berlawanan, maka potensial P_1 yang disebabkan arus di C_2 adalah:

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \quad (2.13)$$

Dimana:

$$A_2 = -A_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.14)$$

Karena arus pada dua elektroda besarnya sama dan berlawanan arah sehingga diperoleh potensial total di P_1 :

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.15)$$

Dengan cara yang sama diperoleh potensial total di P_2 yaitu:

$$V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.16)$$

Sehingga dapat diperoleh beda potensial antara titik P₁ dan P₂ yaitu:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.17)$$

Dengan ΔV : beda potensial antara P₁ dan P₂

I : arus (A)

ρ : resistivitas (Ωm)

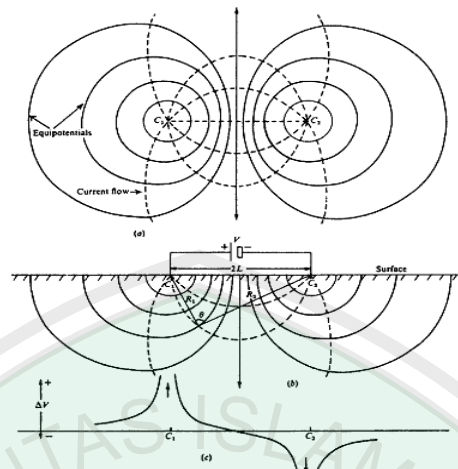
r₁ : jarak C₁ ke P₁ (m)

r₂ : jarak C₂ ke P₁ (m)

r₃ : jarak C₁ ke P₂ (m)

r₄ : jarak C₂ ke P₂ (m)

Susunan keempat elektroda tersebut merupakan susunan elektroda yang biasanya dalam metode geolistrik resistivitas. Pada konfigurasi ini garis-garis aliran arus dan ekuipotensial diubah oleh dekatnya kedua elektroda arus. Perubahan dari garis-garis ekuipotensial yang melingkar lebih jelas pada daerah antara dua elektroda arus sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.17 (Reynolds, 2005).



Gambar 2.17 Perubahan bentuk pada bidang equipotensial dan garis aliran arus untuk dua titik sumber arus pada permukaan tanah homogen (Telford, 1990).

2.12 Resistivitas Semu (*Apparent Resistivity*)

Metode geolistrik tahanan jenis didasarkan pada anggapan bahwa bumi mempunyai sifat homogen isotropis. Dengan asumsi ini, tahanan jenis yang terukur merupakan tahanan jenis yang sebenarnya dan tidak tergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya bumi tersusun atas lapisan-lapisan dengan resistivitas yang berbeda-beda, sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-lapisan tersebut. Karenanya, harga resistivitas yang diukur seolah-olah merupakan harga resistivitas untuk satu lapisan saja. Resistivitas yang terukur sebenarnya adalah resistivitas semu (ρ_a) (Reynold, 2005).

Berdasarkan persamaan (2.17) besar resistivitas semu dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\rho = 2\pi \left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.18)$$

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.19)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4}\right)\right]} \quad (2.20)$$

Dimana K adalah faktor geometri yaitu besaran koreksi letak kedua elektroda potensial terhadap letak kedua elektroda arus. Dengan mengukur ΔV dan I maka dapat ditentukan harga resistivitas (Reynolds, 2005).

Beberapa hal yang mempengaruhi nilai resistivitas semu adalah sebagai berikut (Prasetyawati, 2004):

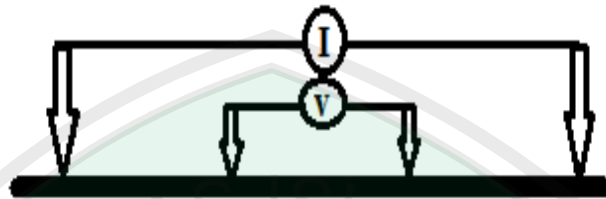
1. Ukuran butir penyusun batuan, semakin kecil besar butir maka kelolosan arus akan semakin baik, sehingga mereduksi nilai tahanan jenis.
2. Komposisi mineral dari batuan, semakin meningkat kandungan mineral clay akan mengakibatkan menurunnya nilai resistivitas.
3. Kandungan air, air tanah atau air permukaan merupakan media yang mereduksi nilai tahanan jenis.
4. Kelarutan garam dalam air di dalam batuan akan mengakibatkan meningkatnya kandungan ion dalam air sehingga berfungsi sebagai konduktor.
5. Kepadatan, semakin padat batuan akan meningkatkan nilai resistivitas.

2.13 Konfigurasi Wenner

Metode ini diperkenalkan oleh Wenner (1915). Konfigurasi Wenner cukup populer dipergunakan dalam pengambilan data geolistrik, baik 1D atau VES (*Vertical Electrical Sounding*) maupun *mapping* 2D atau ERT (*Electrical Resistivity Tomography*). Nilai tahanan jenis semu didapat dengan faktor geometri (K) yaitu (Milsom, 2003):

$$\rho_a = 2\pi a \frac{\Delta V}{I} \quad (2.21)$$

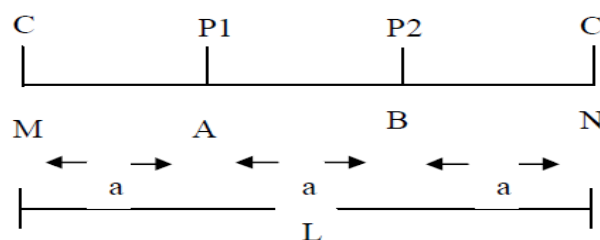
Adapun skema gambar konfigurasi Wenner adalah:



Gambar 2.18 Konfigurasi Wenner (Milsom, 2003)

Konfigurasi Wenner merupakan salah satu konfigurasi yang sering digunakan dalam eksplorasi geolistrik dengan susunan jarak spasi sama panjang ($r_1 = r_4 = a$ dan $r_2 = r_3 = 2a$). Jarak antara elektroda arus adalah tiga kali jarak elektroda potensial, jarak potensial dengan titik *sounding*-nya adalah $a/2$, maka jarak masing elektroda arus dengan titik *sounding*-nya adalah $3a/2$. Target kedalaman yang mampu dicapai pada metode ini adalah $a/2$. Dalam akuisisi data lapangan susunan elektroda arus dan potensial diletakkan simetri dengan titik *sounding*.

Pada konfigurasi Wenner jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial adalah sama. Seperti yang tertera pada gambar 2.19.



Gambar 2.19 Susunan elektroda arus dan potensial pada konfigurasi Wenner (Loke, 2004)

Dari gambar diatas terlihat bahwa jarak $AM = NB = a$ dan jarak $AN = MB = 2a$, dengan menggunakan persamaan (2.20) diperoleh:

$$K = \frac{2\pi}{\left[\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{2a}\right) - \left(\frac{1}{2a} - \frac{1}{a}\right)\right]} \quad (2.22)$$

$$K = 2\pi a \quad (2.23)$$

Sehingga faktor geometri untuk konfigurasi Wenner adalah:

$$K_w = 2\pi a \quad (2.24)$$

$$\rho = K_w \cdot R \quad (2.25)$$

Pengambilan data geolistrik yang ideal dilakukan pada permukaan tanah yang memiliki topografi landai, namun pada kenyataan di lapangan topografi bervariasi. Maka dari itu kemiringan permukaan tanah dapat diabaikan jika kemiringan $< 15^\circ$ (Milsom, 2003).

2.13.1 Wenner Alpha

Wenner Alpha memiliki konfigurasi elektroda potensial yang berada diantara elektroda arus yang tersusun dari C_1 - P_1 - P_2 - C_2 . Jarak elektroda yang satu dengan yang lainnya sama dengan a . Faktor geometri konfigurasi ini adalah $K = 2\pi a$. Keuntungan dan keterbasan konfigurasi Wenner Alpha adalah (Loke, 2004):

1. Konfigurasi elektroda Wenner Alpha sangat sensitif terhadap perubahan lateral setempat dan dangkal. Hal tersebut terjadi karena anomali geologi diamati oleh elektroda C_1 dan P_1 berkali-kali. Namun demikian untuk jarak C -

P yang lebih pendek, daya tembus (penetrasi) lebih besar, sehingga berlaku untuk eksplorasi resistivitas dalam.

2. Karena bidang akuipotensial untuk benda homogen berupa bola, maka data-data lebih mudah diproses dan dimengerti. Disamping itu nilai *error* kecil.
3. Karena sensitif terhadap perubahan-perubahan ke arah lateral di permukaan, konfigurasi ini banyak digunakan untuk penyelidikan geotermal.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada mulai 30-31 Mei 2015. Tempat penelitian terletak di sekitar gunung lumpur Bujhel Tasek Laki dan Bujhel Tasek Bini yang berjarak sekitar 400 m dari Bujhel Tasek Laki Desa Katal Barat Kabupaten Bangkalan Madura yang secara astronomis terletak 6,977 LS dan 112,91 BT. Pengolahan data bertempat di Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Peralatan Penelitian

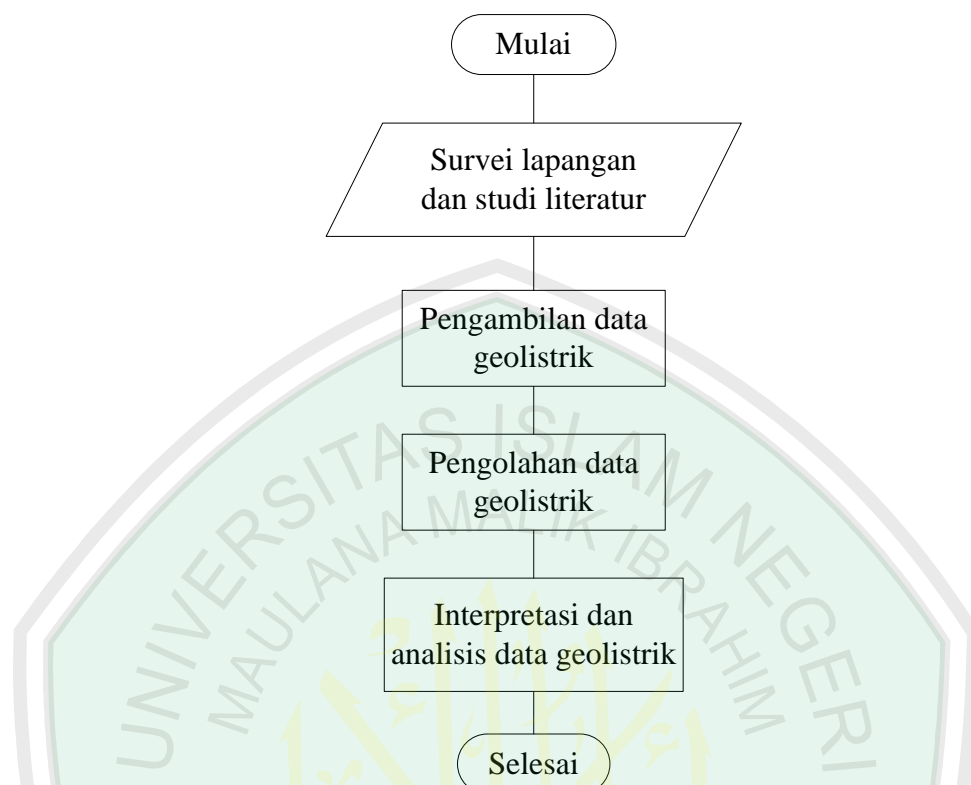
Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data di lapangan menggunakan metode geolistrik tahanan jenis yaitu:

1. *Resistivity* Meter merek CAMPUS TIGRE (Swedia)
2. Elektroda Arus dan Potensial (@ 2 unit)
3. Kabel Arus dan Potensial (@ 2 unit)
4. Accu kering (26 Ampere/12 Volt)
5. Palu (4 Buah)
6. GPS *Garmin N76*, sebagai alat penentu posisi lintang, bujur dan ketinggian dari setiap titik ukur
7. Rol meter, sebagai alat pengukur jarak
8. Kamera, sebagai alat pengambilan dokumentasi
9. Peta geologi dan topografi daerah penelitian

10. Kompas
11. Seperangkat komputer
12. Software MS. Excel
13. Software Res2Dinv
14. Software Voxler 3

3.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan dalam penelitian ini adalah sebelum melakukan pengambilan data di lapangan terlebih dahulu harus survei lokasi dan mengumpulkan referensi tentang sumber lumpur baik secara geologi, topografi dan lain sebagainya maupun metode yang digunakan dalam pengambilan data sehingga nantinya memudahkan dalam pengambilan data di lapangan. Setelah itu baru dilakukan pengambilan data dimana penelitian ini menggunakan metode geolistrik tahanan jenis dengan konfigurasi Wenner Alpha. Data yang diperoleh dari metode geolistrik tahanan jenis kemudian dilakukan pengolahan data berdasarkan pengolahan data masing-masing software, setelah itu dilakukan interpretasi dan analisa data dari hasil pengolahan data geolistrik tahanan jenis. Sedangkan hasil akhir dari metode tersebut bisa mengetahui pemetaan struktur bawah permukaan dari gunung lumpur dan mengetahui sebaran lumpur di Desa Katal Barat Bangkalan. Adapun alur pelaksanaan penelitian bisa dilihat pada gambar 3.1.

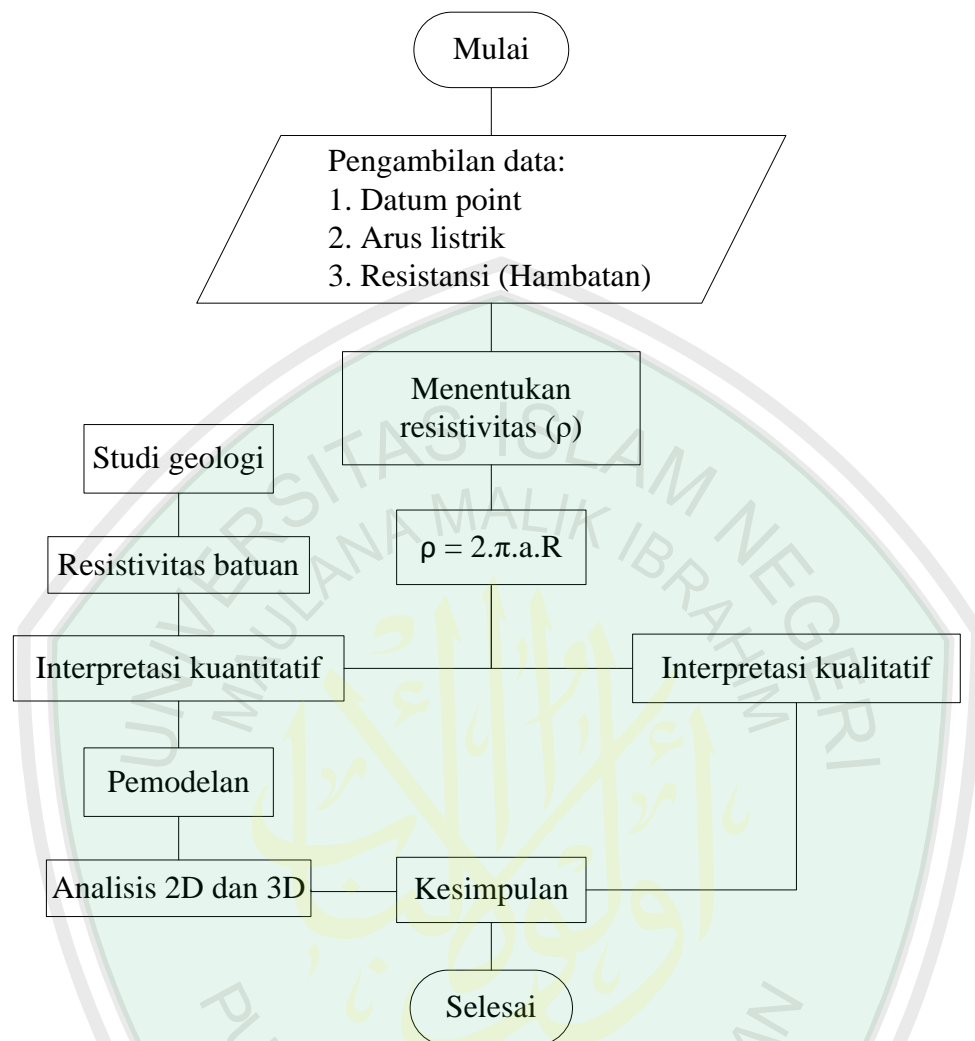


Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

3.4 Metode Penelitian Geolistrik

3.4.1 Pengambilan Data Geolistrik

Pengambilan data geolistrik tahanan jenis dilakukan dengan mengukur tahanan jenis batuan. Penyelidikan yang digunakan adalah jenis *mapping* (secara horisontal). Pengambilan data *mapping* menggunakan konfigurasi Wenner Alpha dengan tiap spasi awal 10 meter dengan panjang tiap lintasan 150 meter. Bentuk penelitian geolistrik tahanan jenis ini mengikuti diagram alir yang ditunjukkan gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram alir pengolahan data geolistrik

Proses pengambilan data pada metode *mapping* dengan menggunakan konfigurasi Wenner Alpha dengan panjang tiap lintasan 150 meter bentangan AB antara 10 meter. Jumlah titik data *mapping* horisontal tersebar di area lumpur yang ingin diteliti. Prosedur *mapping* horisontal untuk konfigurasi Wenner sebagai berikut:

Ditempatkan elektroda-elektroda arus AB dan tegangan MN dengan jarak yang sama (a_1)

Kemudian dicatat posisi koordinat datum point serta ketinggian.

Selanjutnya dicatat beda potensial (V), kuat arus listrik (I) dan nilai resistan (R) yang terukur pada alat *resistivity* meter .

Dipindah elektroda pada jarak ke 2 dengan jarak antar elektroda sebesar a_2 . Dan dicatat kuat arus listrik dan nilai hambatan yang terukur. Arah bentangan antara A, N, M dan B harus lurus.

Langkah pada poin 2 dilakukan (dapat berkali-kali) sampai panjang lintasan yang diharapkan.

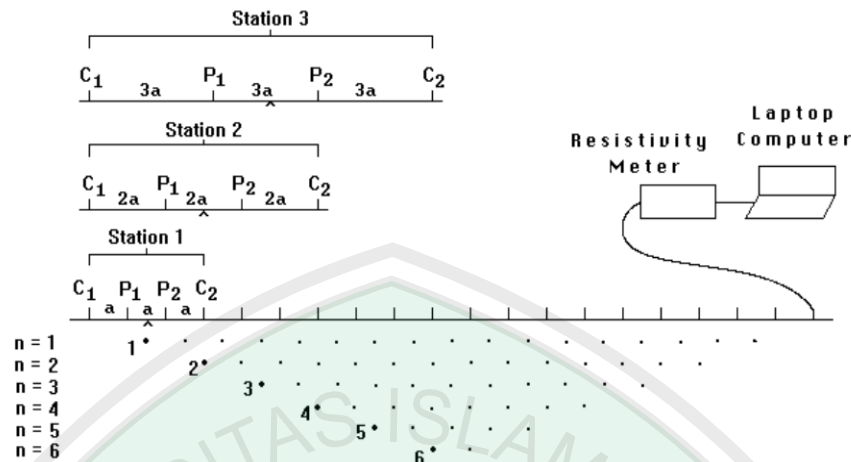
Lalu dipindah titik datum point dan dilakukan sesuai urutan prosedur 1-4.

Untuk lebih jelasnya tampak pada gambar 3.3. Data yang diambil dari penelitian ini meliputi data primer, yaitu:

1. Jarak antar elektroda (jarak elektroda AB dan MN)
2. Jarak antar titik *mapping*
3. Besar arus yang diinjeksikan (I)

Beda potensial yang terjadi (ΔV)

Nilai hambatan (R)



Gambar 3.3 Skema pengambilan data *mapping* (Milsom, 2003).

3.4.2 Pengolahan Data

Data geolistrik *mapping* yang telah diperoleh dari lapangan diolah dengan menggunakan software Ms.Excel 2010 untuk menghitung nilai resistivitasnya dan software Res2Dinv untuk mendapatkan data struktur bawah permukaan dalam bentuk kontur secara mendatar sehingga memberikan data 2 dimensi sebaran nilai resistivitas pada titik-titik pengukuran yang telah menjadi target poin. Kemudian data selanjutnya diolah dengan software Voxler3 untuk memberikan gambaran 3 dimensi lapisan bawah permukaan. Dari data *mapping* 3 dimensi kemudian dilakukan interpretasi dan analisa hasil.

3.4.3 Interpretasi Data

Analisa dan interpretasi data geolistrik dilakukan dengan analisa dan interpretasi *mapping* dua dimensi dan tiga dimensi. Analisa dan interpretasi 2 dimensi *mapping* memberikan gambaran sebaran nilai resistivitas dengan bentuk tampilan menyerupai pemetaan. Informasi yang diperoleh adalah nilai resistivitas

secara merata di area lumpur dengan ketebalan lapisan tanah yang diduga 20-30 meter.

Sedangkan analisa dan interpretasi tiga dimensi *mapping* memberikan gambaran struktur bawah permukaan atau ketebalan tanah. Informasi yang diperoleh adalah struktur, kedalaman dan jenis batuan dasar, berdasarkan nilai resistivitas tiap lapisan tersebut secara horisontal.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gunung lumpur Bujhel Tasek baik Bujhel Tasek Laki maupun Bujhel Tasek Bini ini merupakan gunung lumpur tua yang sudah ada sejak ratusan tahun lalu. Kedua gunung ini memiliki bentuk yang berbeda, Bujhel Tasek Laki memiliki bentuk kerucut layaknya seperti gunungapi dengan tinggi mencapai sekitar 10-15 meter. Sedangkan Bujhel Tasek Bini membentuk sebuah kolam lumpur (*salses*) dengan lebar kolam sekitar 12 meter. Konsistensi semburan kedua gunung lumpur tersebut termasuk kecil dan memiliki suhu lumpur yang rendah.

Metode geofisika yang digunakan untuk mengidentifikasi struktur geologi bawah permukaan gunung lumpur adalah metode geolistrik resistivitas. Penelitian dilakukan dengan mengambil 3 *line* (garis) dengan panjang masing-masing *line* 150 meter dimana 2 *line* posisinya berada di Bujhel Tasek Laki dan 1 *line* berada di Bujhel Tasek Bini. Konfigurasi yang digunakan adalah konfigurasi Wenner Alpha dengan posisi elektroda arus (C) dan elektroda potensial (P) secara berurutan C1 P1 P2 C2 dengan spasi antar elektroda 10 meter dan pergeseran 10 meter. Dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas ini akan diperoleh penampang 2D dan 3D yang menunjukkan distribusi resistivitas batuan yang berada di bawah permukaan. Sehingga dari hasil yang diperoleh peneliti dapat menggambarkan daerah penelitian berdasarkan dari sifat listrik batuan yang ada di bawah permukaan bumi. Data resistivitas yang diperoleh nantinya akan dihubungkan dengan data geologi untuk tahap interpretasi. Hal ini dikarenakan

data geofisika yang diperoleh berupa nilai resistivitas batuan ini hanya memberikan informasi berdasarkan parameter fisis dari metode geolistrik.

Pada bab IV ini akan ditunjukkan hasil yang diperoleh dari kegiatan penelitian di lapangan berupa pengukuran koordinat posisi, pengukuran dengan menggunakan metode resistivitas konfigurasi Wenner Alpha dan interpretasi serta analisis dari semua data yang diperoleh. Sesuai dengan hasil analisis dan pembahasan pada bab ini, kemudian akan dapat ditarik beberapa kesimpulan pada bab berikutnya.

4.1 Pengukuran Koordinat Posisi

Pengukuran koordinat posisi ini merupakan pengukuran dimana titik ukur dari metode resistivitas dilakukan dengan menggunakan GPS Garmin N76. Titik ukur yang dicari adalah 3 lintasan lurus masing-masing sepanjang 150 meter. Posisi dari ketiga lintasan adalah sebagai berikut:

1. *Line* 1: berada di sebelah timur dari gunung lumpur Bujhel Tasek Bini dengan posisi $6^{\circ} 59' 40,31''$ - $6^{\circ} 59' 43,34''$ LS dan $112^{\circ} 58' 23,56''$ - $112^{\circ} 58' 21,35''$ BT.
2. *Line* 2: berada di sebelah timur gunung lumpur Bujhel Tasek Laki dengan posisi $6^{\circ} 59' 33,21''$ - $6^{\circ} 59' 36,62''$ LS dan $112^{\circ} 58' 11,53''$ - $112^{\circ} 58' 09,99''$ BT.
3. *Line* 3 : berada di sebelah barat gunung lumpur Bujhel Tasek Laki dengan posisi $6^{\circ} 59' 31,57''$ - $6^{\circ} 59' 35,20''$ LS dan $112^{\circ} 58' 10,84''$ - $112^{\circ} 58' 09,35''$ BT.

4.2 Hasil Pengolahan Data

Proses pengolahan data resistivitas yang telah dilakukan selanjutnya digunakan untuk mengidentifikasi struktur litologi batuan yang berada di bawah permukaan gunung lumpur Bujhel Tasek. Selain itu juga untuk mengetahui pola sebaran dari gunung lumpur dengan melihat nilai resistivitas semunya.

4.2.1 Resistivitas Semu

Pengambilan data resistivitas telah dilakukan di Desa Katal Barat, Bangkalan dan telah memperoleh data sebanyak 105 titik pengukuran dari 3 lintasan dengan rincian masing-masing lintasan 35 titik pengukuran. Interval jarak antara tiap elektroda adalah 10 m dengan pergeseran sebanyak 5 kali ($n=1,2,3,4$ dan 5).

Nilai resistivitas semu disini merupakan representasi dari resistivitas suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang diteliti. Nilai R (resistansi) yang terukur bukan merupakan resistansi untuk satu lapisan, terutama untuk *range* elektroda yang lebar, sehingga nilai yang terukur nilainya bervariasi. Bervariasinya nilai resistansi pada tiap titik pengukuran yang diperoleh dikarenakan potensial yang terukur dipengaruhi oleh lapisan-lapisan di bumi. Lapisan-lapisan di bumi tersusun atas berbagai macam jenis batuan yang memiliki nilai konduktivitas yang berbeda-beda, dimana nilai konduktivitas berbanding terbalik dengan nilai resistivitas. Sehingga semakin besar nilai konduktivitasnya maka semakin rendah nilai resistivitasnya begitupun sebaliknya. Hal ini berarti ketika semakin besar nilai dari resistivitas suatu batuan maka semakin sulit batuan

dalam menghantarkan arus listrik. Tabel 4.1 di bawah berikut menunjukkan jenis-jenis batuan berdasarkan besar resistivitasnya:

Tabel 4.1 Resistivitas dari batuan dan bijih mineral (ohm-meter) (Milson,2003)

No.	Resistivity of Common rocks	
1	Topsoil	50-100
2	Loose sand	500-5000
3	Gravel	100-600
4	Clay	1-100
5	Weathered bedrock	100-1000
6	Sandstone	200-8000
7	Limestone	500-10.000
8	Greenstone	500-200.000
9	Gabbro	100-500.000
10	Granite	200-100.000
11	Basalt	200-100.000
12	Graphitic schist	10-500
13	Slates	500-500.000
14	Quartzite	500-800.000
Ore Minerals		
15	Pyrite (ores)	0.01-11
16	Pyrrhotite	0.001-0.01
17	Chalcopyrite	0.005-0.1
18	Galena	0.001-100
19	Sphalerite	1000-1.000.000
20	Magnetite	0.01-1000
21	Cassiterite	0.001-10.000
22	Hematite	0.01-1.000.000

4.2.2 Model Penampang 2D dari 3 Lintasan

Data dari ketiga lintasan yang diperoleh selanjutnya dihitung nilai resistivitas semu (bukan nilai resistivitas yang sebenarnya) dengan mengalikan nilai resistansi dan faktor geometri dari konfigurasi Wenner Alpha ($K = 2\pi a$). Kemudian diolah dengan software Res2dinv untuk mendapatkan nilai resistivitas

yang sebenarnya. Hasil yang diperoleh dari software Res2dinv berupa model penampang stratigrafi yang dihasilkan dari inverse data nilai resistivitas dan memiliki nilai *error* (dalam bentuk prosentase). Nilai *error* yang dihasilkan dari data yang diolah bisa dikarenakan adanya nilai ekstrim suatu data yang diakibatkan oleh kesalahan pembacaan atau di karenakan kondisi alam. Namun pada saat pengambilan data, terjadi hujan yang cukup lama sehingga mempengaruhi hasil dari pengukuran yang mengakibatkan data yang diperoleh memiliki nilai resistansi yang lebih kecil. Air hujan yang terserap oleh tanah bisa meningkatkan nilai konduktivitas suatu tanah. Telah diketahui bahwa nilai tahanan jenis suatu lapisan batuan atau material berbeda-beda, faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai tahanan jenis salah satunya adalah kandungan dan mutu air.

4.3 Metode Geolistrik Resistivitas *Mapping* dengan Konfigurasi Wenner Alpha

Pengambilan data pada konfigurasi Wenner Alpha ini terdiri dari 3 lintasan yakni lintasan 1, 2 dan 3 dengan panjang masing-masing lintasan adalah 150 meter. Untuk ketiga lintasan dilakukan pengukuran yang dimulai dari arah utara ke selatan, dengan panjang bentangan atau spasi antar elektroda sebagai berikut:

1. n1: panjang spasi antar elektroda sebesar 10 meter dan diperoleh data sebanyak 13 datum point
2. n2 : panjang spasi antar elektroda sebesar 20 meter dan diperoleh data sebanyak 10 datum point

3. n_3 : panjang spasi antar elektroda sebesar 30 meter dan diperoleh data sebanyak 7 datum point
4. n_4 : panjang spasi antar elektroda sebesar 40 meter dan diperoleh data sebanyak 4 datum point
5. n_5 : panjang spasi antar elektroda sebesar 50 meter dan diperoleh data sebanyak 1 datum point.

Sehingga jumlah data yang diperoleh tiap lintasan adalah sebanyak 35 data dan jumlah keseluruhan data berjumlah 105 data. Selain data-data di atas, juga diukur posisi lintang dan bujur sepanjang lintasan pada setiap titik datum.

4.4 Interpretasi Data

Dalam menentukan lithologi batuan bawah permukaan bumi pada lintasan 1,2 dan 3 di sekitar semburan lumpur Bujhel Tasek di desa Katal Barat, Geger Bangkalan dilakukan melalui 2 tahap, yakni: interpretasi kualitatif dan interpretasi kuantitatif.

4.5 Interpretasi Kualitatif

Interpretasi kualitatif dilakukan dengan cara membaca pola anomali resistivitas atau tahanan jenis yang selanjutnya dihubungkan dengan tatanan geologi dan tabel nilai resistivitas batuan, sehingga secara umum dapat memberikan gambaran struktur geologi bawah permukaan daerah penelitian. Berdasarkan hasil pemetaan, yaitu peta bawah permukaan pada lokasi penelitian yang terbagi dalam 3 lintasan (1,2 dan 3) diperoleh penafsiran.

4.5.1 Lintasan 1

Pada lintasan 1 (panjang lintasan 150 meter berada di sebelah timur dari gunung lumpur Bujhel Tasek Bini) hasilnya setelah dikorelasi dengan data geologi daerah penelitian yaitu diduga terdiri atas : batu kapur yang mengandung air asin, lempung, pasir, dan air tanah

4.5.2 Lintasan 2 dan 3

Pada lintasan 2 (panjang lintasan 150 meter berada disebelah timur gunung lumpur Bujhel Tasek Laki) dan pada lintasan 3 (panjang lintasan 150 meter berada sebelah barat 10 meter lintasan 2) setelah dikorelasikan dengan data geologi, hasilnya diduga bahwa kandungan batuanannya tidak jauh berbeda dengan lintasan 1. Dari peta penampang bawah permukaan dapat ditafsirkan bahwa terdapat beberapa batuan terdiri atas lempung, batupasir, batu kapur yang mengandung air asin dan pirit.

4.6 Interpretasi Kuantitatif

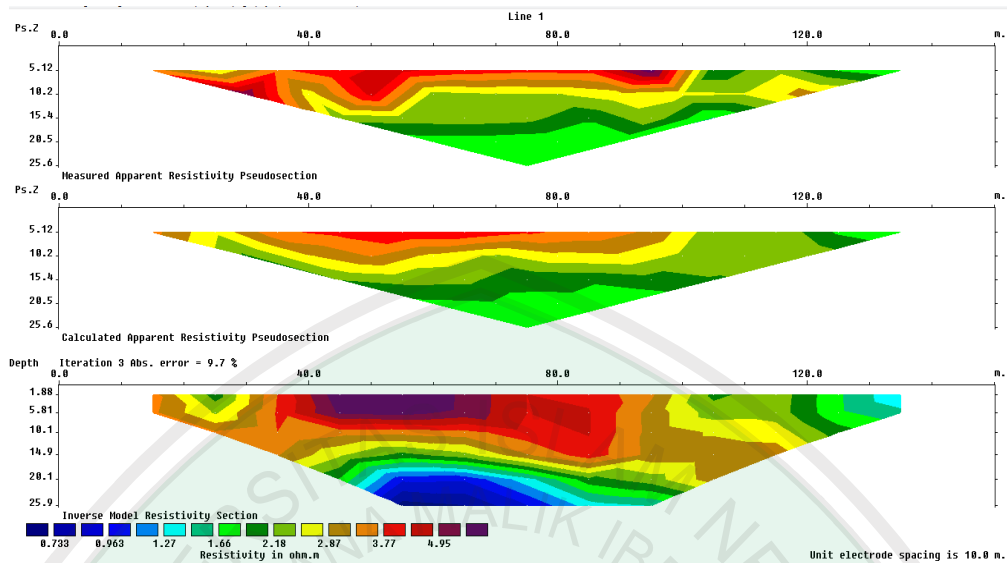
Interpretasi kuantitatif dilakukan dengan menganalisis penampang pola anomali resistivitas sepanjang lintasan tertentu yang telah ditentukan. Interpretasi kuantitatif dilakukan berdasarkan hasil dari penafsiran kualitatif, sehingga dapat menentukan bagian-bagian penampang anomali yang menarik untuk ditafsirkan struktur geologi bawah permukaannya. Namun dalam interpretasi kuantitatif terdapat ambiguitas karena beragam model yang dapat dihasilkan, yang disebabkan adanya parameter faktor geometri, rapat massa dan kedalaman yang

tidak pasti. Maka dari itu perlu adanya data pendukung berupa data geologi daerah penelitian serta data geofisika lainnya.

Dalam penelitian ini, data pendukung yang digunakan dalam interpretasi kuantitatif adalah data geologi (peta geologi daerah penelitian) dan data nilai tahanan jenis batuan, sehingga gambaran struktur bawah permukaan daerah penelitian dapat diuraikan di bawah ini.

4.6.1 Lintasan 1



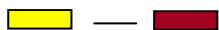
Sesuai dengan hasil interpretasi kualitatif sebelumnya bahwa pada lintasan macam-macam jenis batuan hasil endapan batuan sedimen. Namun pada interpretasi kuantitatif yang akan dibahas adalah formasi batuan yang ada di sepanjang lintasan tersebut. Setelah dikorelasikan dengan data geologi diduga bahwa penampang bawah permukaan lintasan 1 yang berada pada koordinat $6^{\circ} 59' 40,31''$ - $6^{\circ} 59' 43,34''$ LS dan $112^{\circ} 58' 23,56''$ - $112^{\circ} 58' 21,35''$ BT, anomali keberadaan lumpur ditunjukkan dengan warna merah dan ungu. Dari proses pengolahan data maka didapatkan model penampang 2 dimensi seperti berikut:



Gambar 4.1 Model penampang 2D lintasan 1

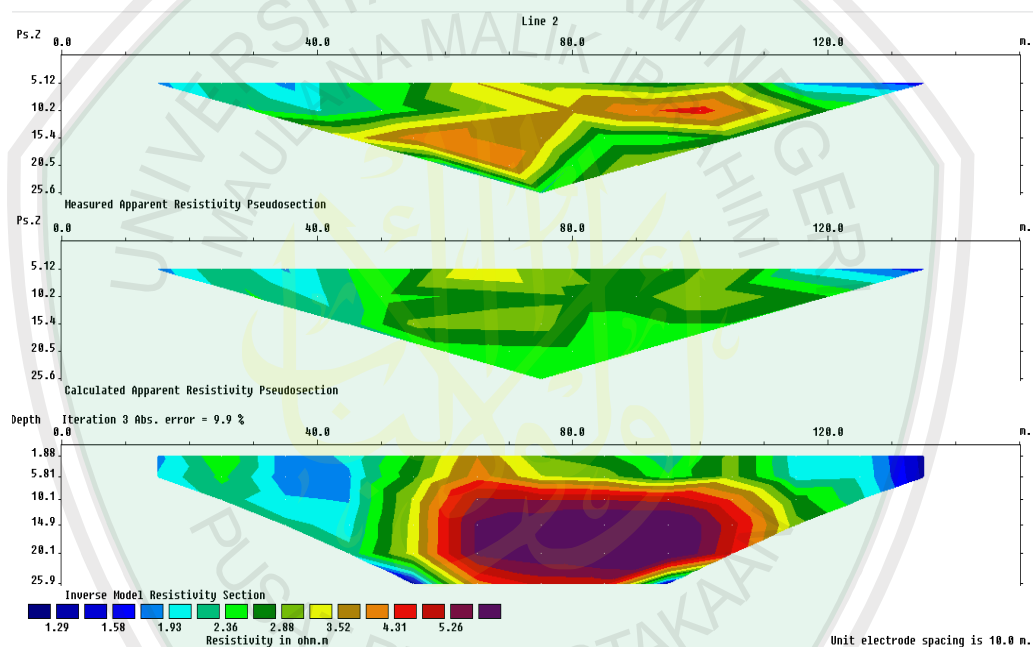
Kedalaman dari anomali yang terdeteksi berkisar dari 1,88 meter sampai 17 meter dengan nilai *error* sebesar 9,7%. Interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan pemodelan yang dihasilkan:

Tabel 4.2 Hasil interpretasi lithologi pada lintasan 1 (Sumber acuan : Telford 1990; Loke, 2004)

No.	Skala Warna	Nilai Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Batuan/Material
1.		0,733 - 1,66	Air tanah, magnetite, pirit, pasir
2.		1,67 – 2,87	Pasir, lempung, batu kapur yang mengandung air asin
3.		2,88 – 5,10	Batu pasir, lempung, lempung pasiran, batu kapur yang mengandung air asin

4.6.2 Lintasan 2

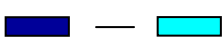
Lintasan 2 berada pada koordinat $6^{\circ} 59' 33,21''$ - $6^{\circ} 59' 36,62''$ LS dan $112^{\circ} 58' 11,53''$ - $112^{\circ} 58' 09,99''$ BT yang berlokasi di sebelah timur gunung lumpur Bujhel Tasek Laki. Setelah dikorelasikan dengan data geologi dan dari pengolahan data maka didapatkan model penampang 2D dengan kedalaman yang diperoleh mencapai 25,9 meter dengan nilai *error* sebesar 9,9%. sebagai berikut:







Gambar 4.2 Model penampang 2D lintasan 2

Hasil interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan pemodelan yang dihasilkan:

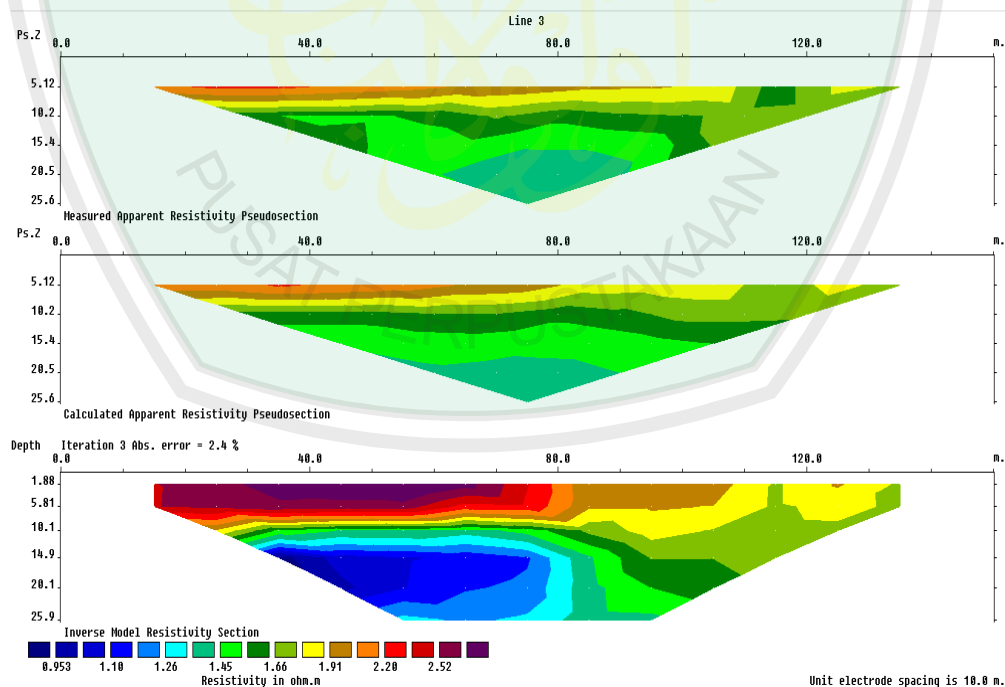
Tabel 4.3 Hasil Interpretasi lithologi pada lintasan 2 (Sumber acuan : Telford, 1990; Loke, 2004)

No.	Skala Warna	Nilai Resistivitas (Ωm)	Jenis Batuan/Material
1.		1,29 – 1,92	Air tanah, magnetite, pirit,

			pasir, lempung
2.	 — 	1,93 – 2,86	Pasir, lempung
3.	 — 	2,87 – 6,01	Batu pasir, lempung, lempung pasiran, batu kapur yang mengandung air asin

4.6.3 Lintasan 3


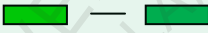

Lintasan 3 berada pada koordinat $6^{\circ} 59' 31,57''$ – $6^{\circ} 59' 35,20''$ LS dan $112^{\circ} 58' 10,84''$ – $112^{\circ} 58' 09,35''$ BT. Lintasan ini berada 10 meter dari lintasan 2 dan posisinya sejajar dengan lintasan 1 dan lintasan 2. Setelah dikorelasikan dengan data geologi dan telah diolah datanya, didapatkan model penampang 2D sebagai berikut:



Gambar 4.3 Model penampang 2D lintasan 3

Kedalaman yang diperoleh mencapai 25,9 meter dengan nilai *error* sebesar 2,4%. Interpretasi lapisan bawah permukaan berdasarkan pemodelan yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Hasil Interpretasi lithologi pada lintasan 3 (Sumber acuan : Telford 1990; Loke, 2004)

No.	Skala Warna	Nilai Tahanan Jenis (Ωm)	Jenis Batuan/Material
1.		0,951 – 1,25	Air tanah, magnetite, pirit, pasir, lempung
2.		1,26 – 1,65	Air tanah, magnetite, pirit, pasir, lempung
3.		1,66 – 2,52	Pasir, lempung, batu kapur yang mengandung air asin

4.6.4 Interpretasi Lintasan 1, 2 dan 3

Dari hasil konversi ketiga lintasan menggunakan software Res2dinv diperoleh 3 gambar. Gambar pertama adalah gambar yang menunjukkan hasil model data yang terukur di lapangan. Gambar kedua merupakan hasil dari model yang dibuat oleh software yang diperoleh dari hasil perhitungan untuk mendekati bentuk dari model pertama. Sedangkan gambar yang ketiga adalah hasil inversi dari gambar kedua, dengan nilai *error* yang merupakan perbedaan dari gambar pertama dan gambar kedua. Semakin kecil nilai *error* yang dihasilkan maka data yang diperoleh semakin mendekati model struktur bawah permukaan yang sebenarnya.

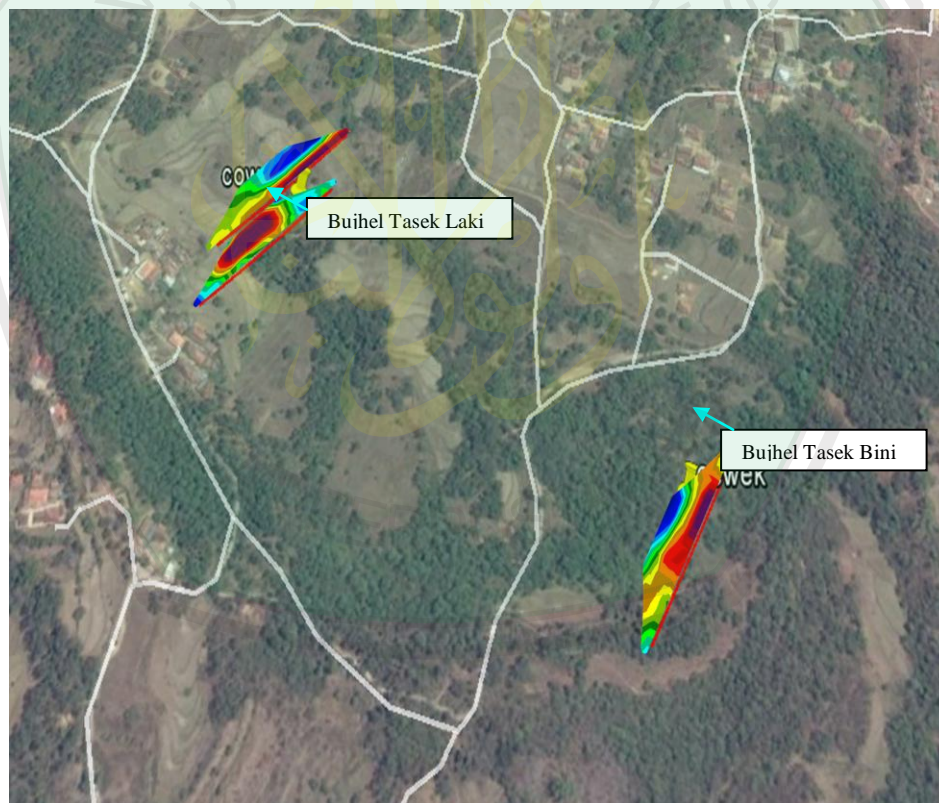
Nilai dari resistivitas yang didapat oleh model penampang hasil dari pengolahan dapat diketahui dengan melihat skala warna yang berada di bawahnya. Pendugaan dari keberadaan lumpur didasarkan pada pengukuran nilai resistivitas lumpur di lapangan sekitar 4,25 ohm meter. Pada lintasan pertama dan kedua dari warna oranye sampai ungu diduga menunjukkan anomali nilai resistivitas dari lumpur, sedangkan untuk lintasan ketiga diduga keberadaan lumpur ditandai dengan warna ungu.

Anomali lumpur (warna merah dan ungu) yang teridentifikasi pada lintasan pertama diduga mencapai kedalaman dari 1,88 meter sampai 18 meter dengan arah distribusi anomali dari arah timur laut dan barat daya dan membentuk pola lumpur menyerupai cekungan. Untuk lintasan kedua, kedalaman dari anomali lumpur yang terdeteksi diprediksi jauh lebih dalam dari hasil data yang terekam dengan pola dari lumpur yang membentuk sebuah cekungan yang membentuk elips. Distribusi lumpur mengarah secara vertikal (ke bawah) dan mengarah secara horisontal mengarah ke timur laut, hal tersebut diketahui dengan melihat anomali lumpur pada lintasan ketiga. Namun pada lintasan ketiga sebaran dari lumpur berarah ke timur laut dengan memiliki kedalaman yang lebih dangkal dibanding lintasan 1 dan lintasan 2. Anomali yang teridentifikasi mencapai kedalaman antara 1,88 meter sampai 7 meter.

Pada penelitian ini kedalaman yang berhasil teridentifikasi mencapai 25,9 meter pada lintasan 1, 2 dan 3. Dari ketiga lintasan nilai *error* yang dihasilkan dibawah 10% yang idealnya dalam data geolistrik bisa dikatakan mendekati keadaan yang sebenarnya. Nilai *error* yang dihasilkan dari data yang diolah bisa

dikarenakan adanya nilai ekstrim suatu data yang diakibatkan oleh kesalahan pembacaan atau dikarenakan kondisi alam. Namun pada saat pengambilan data untuk lintasan yang ketiga terjadi hujan yang cukup lama sehingga mempengaruhi hasil dari pengukuran yang mengakibatkan data yang diperoleh memiliki nilai resistivitas yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai resistivitas pada lintasan kedua.

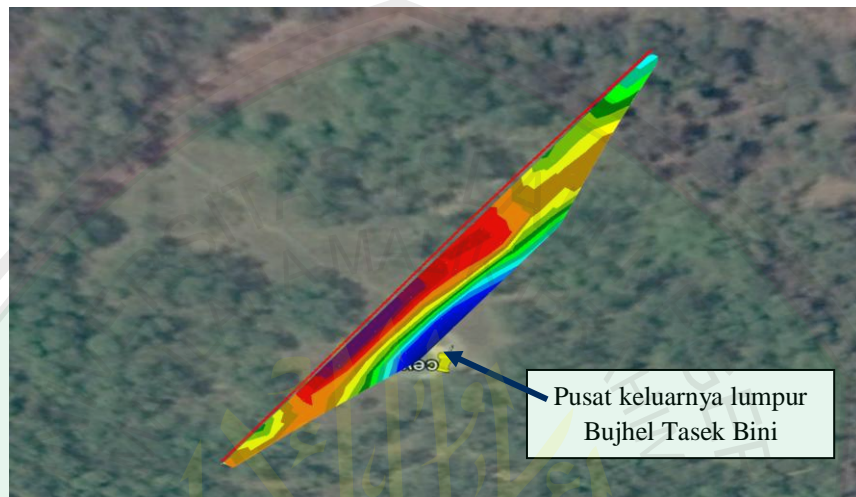
Berikut ini gambar 4.4 menunjukkan penampang 2 dimensi dari distribusi lumpur pada ketiga lintasan yang dihubungkan dengan peta penelitian.



Gambar 4.4 Penampang 2 dimensi dengan dihubungkan dengan peta penelitian pada 3 lintasan.

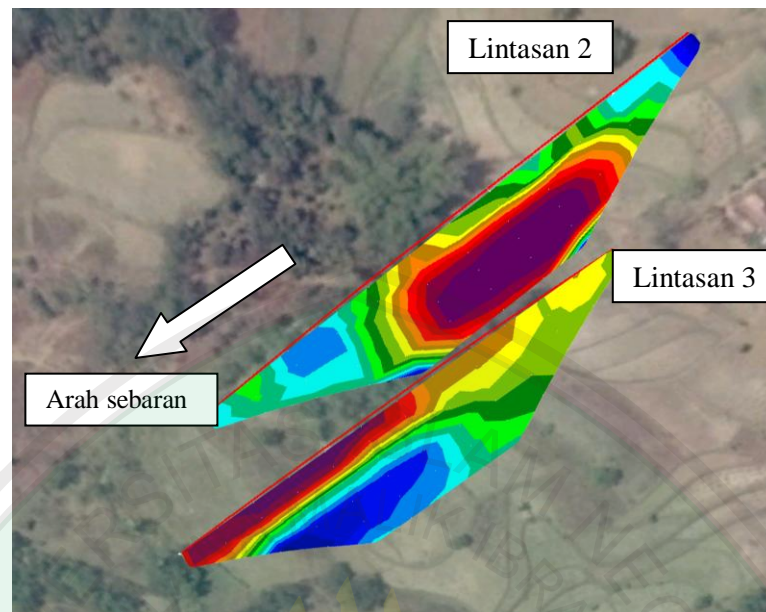
Gambar 4.5, lintasan pertama menunjukkan arah sebaran lumpur utara-selatan dengan lebar dari kandungan lumpur yang berada di bawah permukaan

sekitar 65 meter. Sedangkan lumpur yang berada di atas permukaan membentuk sebuah kolam dengan diameter sekitar 10-15 meter dengan pusat keluarnya lumpur yang berada di tengah.



Gambar 4.5 Pola sebaran lumpur Bujhel Tasek Bini pada lintasan 1

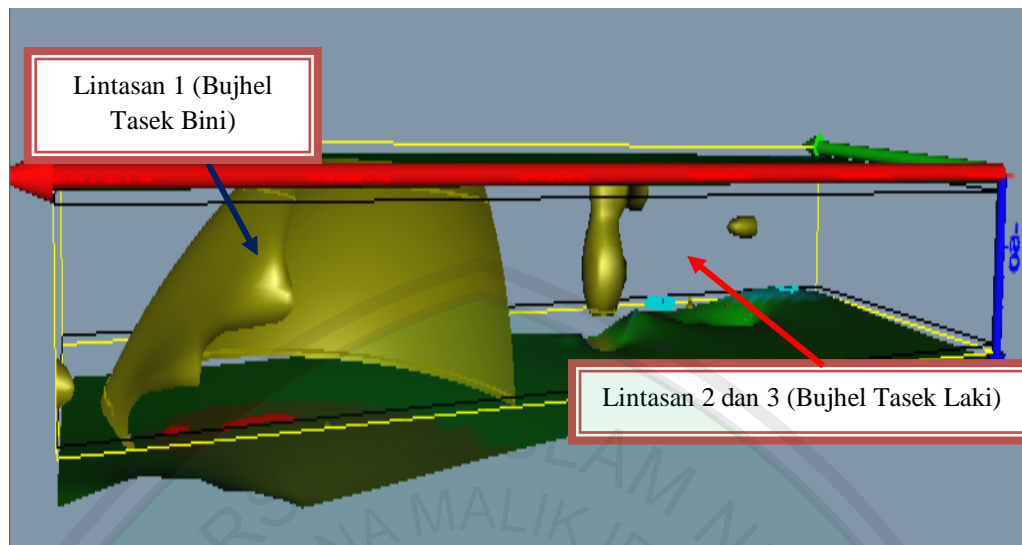
Gunung lumpur Bujhel Tasek Laki ini membentuk menyerupai kerucut dengan tinggi ± 15 meter dimana pusat semburan berada di puncak. Pada lintasan 2 dapat dilihat bahwa distribusi lumpur diprediksi mengarah secara vertikal dengan arah sebaran menuju timur laut. Untuk lintasan 3 memiliki kedalaman lumpur yang lebih dangkal dengan arah sebaran menuju ke timur laut yang ditunjukkan oleh gambar 4.6. Bila dilihat dari gambar 4.6, diduga terdapat rekahan pada daerah penelitian yang berada di Bujhel Tasek Laki. Hal ini tampak pada lintasan 3 yang menunjukkan pola anomali lumpurnya yang lebih dangkal dibanding lintasan 2. Diprediksi pola anomali tersebut (pada lintasan 3) merupakan sisipan lumpur dari gunung lumpur Bujhel Tasek Laki yang melewati rekahan.



Gambar 4.6 Pola sebaran lumpur Bujhel Tasek Laki pada lintasan 2 dan 3

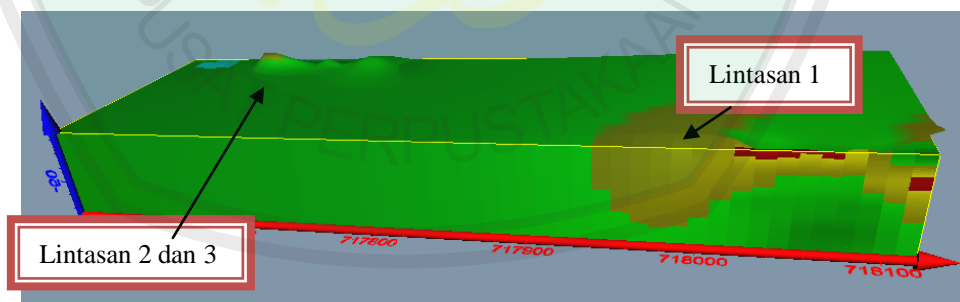
4.7 Model Penampang 3D dari Tiga Lintasan

Untuk gambar 4.7 menunjukkan hasil 3D yang mana data diolah dengan menggunakan software Voxler 3. Dari hasil bentukan 3D tersebut, dapat diketahui pola penyebaran lumpur dari gunung lumpur (Bujhel Tasek). Pada gambar 4.7 ini menunjukkan hasil gabungan antara 3 lintasan yakni lintasan 1, 2 dan 3. Jarak antara lintasan 1 dengan lintasan 2 sejauh 400 meter, sedangkan jarak antara lintasan 2 dan 3 adalah 10 meter. Bila dilihat dari hasil pemodelan, volume dari lumpur Bujhel Tasek Bini lebih besar dibanding volume lumpur Bujhel Tasek Laki.



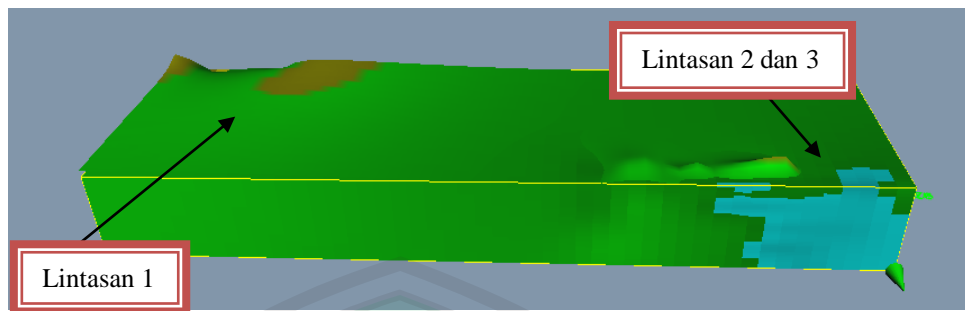
Gambar 4.7 Model penampang 3D lintasan 1,2, dan 3

Pada gambar 4.7 pemodelan belum dalam bentuk *interface*, sehingga belum diketahui lapisan antar muka dari hasil pemodelan 3 lintasan. Berikut hasil pemodelan dari 3 lintasan setelah di *interface* bagian depan sehingga bisa diketahui terdapat kandungan material tertentu diantara semburan lumpur:



Gambar 4.8 Model penampang *interface* 3D

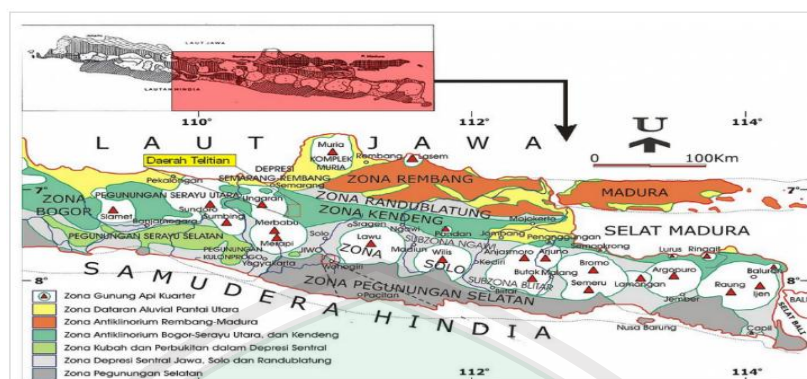
Sedangkan untuk model penampang *interface* 3D dari posisi belakang adalah sebagai berikut:



Gambar 4.9 Model penampang *interface* 3D dari posisi belakang

Dari gambar 4.9, dapat diduga bahwa daerah penelitian di lintasan 1 terdapat kandungan air (ditunjukkan oleh warna biru) yang cukup besar yang berada di bawah lokasi lumpur. Hasil penampang 3D yang didapatkan sesuai dengan pola distribusi lumpur pada penampang 2D.

Menurut kajian geologi, pada lokasi penelitian umumnya mempunyai tanah yang bertekstur sedang dan hanya sebagian kecil saja yang bertekstur halus dan kasar serta didominasi dengan batuan kapur. Pada lokasi penelitian yakni gunung lumpur Bujhel Tasek di desa Katal Barat Kecamatan Geger Kabupaten Bangkalan ini berada di zona Rembang. Zona rembang ini dari barat sampai area Sakala di sebelah timur Kangean merupakan jalur sesar mendatar besar yang bergerak sisi kirinya (sinistral) yang dikenal dengan nama RMKS (Rembang-Madura-Kangean-Sakala) dengan sebutan *Fault Zone*. Sesar yang terjadi sesudah Miosen Tengah ini juga adalah jalur dari deformasi inversi yang kuat yang ditandai dengan adanya deformasi kompleks khas sesar mendatar sepanjang jalur tersebut.



Gambar 4.10 Madura termasuk ke dalam zona Rembang (www.hmgi.or.id)

Berdasarkan hasil interpretasi lithologi batuan, sebagian besar batuan yang menyusun struktur bawah permukaan daerah penelitian adalah lempung, batu kapur (batu gamping) dimana keduanya merupakan batuan yang mengandung karbonat. Menurut Dunham (1962), bahwa tekstur batuan karbonat (batu gamping) dapat menggambarkan genesa pembentukannya, terdapat empat dasar klasifikasi batuan karbonat yaitu berdasarkan kandungan lumpur karbonat (*mud*), kandungan butiran, keterikatan komponen, dan kenampakan tekstur hasil diagenesis. Tekstur batuan karbonat didominasi oleh kehadiran *mud* (mikrit) atau *mud supported*.

Daerah penelitian termasuk dalam formasi Tawun yang terdiri dari batu gamping, batu pasir gampingan dan batu lempung gampingan. Sehingga batuan hasil interpretasi lithologi yang didominasi lempung dan batu kapur yang mengandung air asin ini diprediksi yang membawa kandungan lumpur yang ada di bawah permukaan daerah penelitian. Selain itu, menurut Mazini (2007) biasanya reservoir batuan yang didiami oleh fluida berupa lumpur adalah batuan kapur (gamping) pada kedalaman lebih dari 3000 meter di bawah permukaan.

Gunung lumpur Bujhel Tasek ini mengeluarkan lumpur, air dan gas; sama halnya dengan gunung-gunung lumpur lainnya. Meskipun banyak gunung lumpur yang bergabung dengan gunung api pada umumnya, tetapi gunung lumpur yang lebih spesifik berkaitan dengan tekanan tinggi yang berada di lapisan batuan sedimen yang diendapkan di lingkungan laut. Dapat dilihat dari batuan dan tanah yang terdapat di tempat penelitian dimana meskipun kondisi lapangan berbukit-bukit tetapi kandungan tanah dan batumannya adalah kapur. Lumpur yang keluar berwarna abu-abu yang seperti khas endapan laut. Selain itu, suhu dari lumpur yang keluar termasuk dalam kategori rendah, hal ini menunjukkan bahwa gunung lumpur Bujhel Tasek ini merupakan gunung lumpur yang tidak berasosiasi dengan gunungapi.

Lumpur yang dikeluarkan berhubungan dengan formasi batu lempung. Umumnya fenomena gunung lumpur ini berkaitan dengan kondisi geologis pada batuan sedimen laut purba yang mengalami patahan dan lipatan. Bila merujuk pada peta geologi daerah penelitian, tampak bahwa di dekat daerah penelitian terdapat sesar. Penyesaran tersebut bisa mempengaruhi proses sedimentasi dalam skala yang lebih kecil tetapi dalam gerakan yang lebih cepat, hal ini disebabkan karena adanya kumpulan sedimen berdensitas rendah yang dikelilingi dengan kumpulan sedimen berdensitas lebih tinggi. Gerakan tektonik mempengaruhi sedimen yang diendapkan sehingga pengendapan terjadi secara cepat. Karena diendapkan dengan cepat, sedimen yang diendapkan tidak pernah mengalami proses pembatuan yang sempurna, sehingga sedimen tidak mengalami kompaksi

sempurna. Daerah/zona sesar yang mendatar aktif inilah yang merupakan daerah sering terjadi pembentukan gunung lumpur.

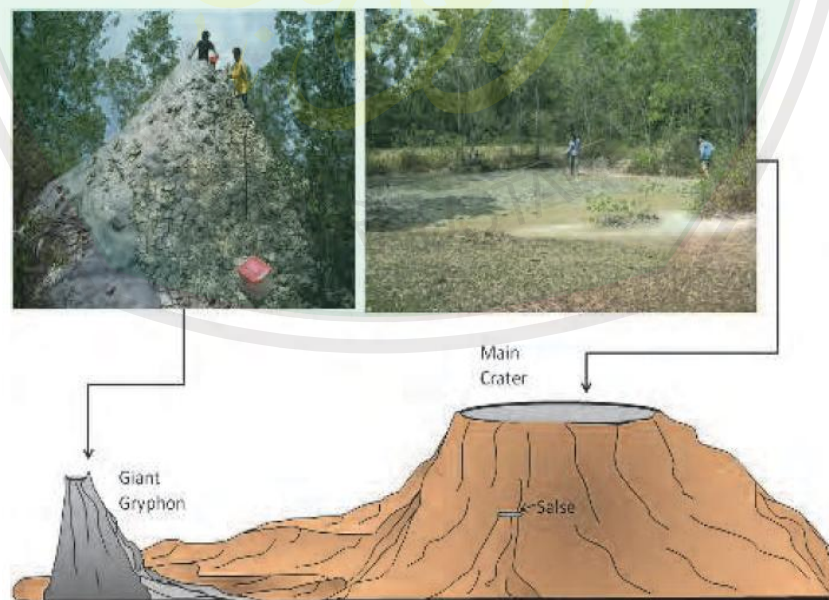
Terdapat beberapa studi yang menjelaskan bahwa gunung lumpur biasanya berasosiasi dengan antiklin, namun tidak secara keseluruhan. Pertumbuhan struktur antiklin selama masa pengendapan material sedimen akan menghasilkan perlapisan sedimen yang memiliki heterogenitas dalam hal tekanan pada dimensi lateral. Pelipatan dan peningkatan tekanan yang dihasilkannya akan menjadi pemicu terjadinya injeksi material plastis (berupa lumpur) ke arah atas.

Gas metana yang ikut dikeluarkan saat lumpur keluar merupakan khas dari lingkungan hidrokarbon pembawa potensi minyak dan gas bumi jauh di bawah permukaan bumi. Hal ini juga dibuktikan ketika di puncak gunung lumpur Bujhel Tasek Laki ini dimana gas keluar kemudian dipancing dengan api, maka gas tersebut menghasilkan nyala api.

Selama zaman tersier hingga sekarang, banyak laut yang menjorok di sepanjang Pegunungan Kendeng hingga teluk Madura, Jawa Timur. Banyak endapan lumpur yang terperangkap oleh endapan-endapan yang lebih muda sehingga mengalami tekanan yang tinggi selama proses pelipatan batuan. Dan saat terjadi retakan hingga menuju ke permukaan bumi, maka lumpur akan menerobos/menjalar ke atas melalui retakan tersebut dan selanjutnya terjadi erupsi lumpur. Pada gunung lumpur Bujhel Tasek volume yang keluar sangat kecil bisa dikarenakan retakan dari jalur keluarnya lumpur tidak terlalu besar. Patahan yang terjadi akan mengakibatkan keluarnya aliran lumpur ke permukaan bumi melalui batuan yang mudah dilaluinya. Batuan yang terlewati harus mudah dilalui sumber

tekanan. Prinsipnya material dari dalam bumi akan keluar ke permukaan karena di bawah permukaan bumi suhu dan tekanan lebih besar. Bila batuan dasarnya sangat keras maka material dengan tekanan besar seperti terperangkap dan tidak bisa meloloskan diri. Material dari dalam bumi dapat keluar jika terdapat rekahan, patahan, ataupun karena adanya aktivitas eksplorasi.

Gunung lumpur Bujhel Tasek sudah ada sejak ratusan tahun lalu. Awalnya lumpur yang keluar sangat kecil intensitasnya, selain karena faktor pergerakan tektonik bumi yang membuat lumpur keluar dari perut bumi, akibat pembebanan yang besar seperti pembangunan juga ikut menekan permukaan di atasnya sehingga menyebabkan lumpur keluar lebih intensif dan akhirnya membentuk kerucut/*gryphon* (untuk gunung lumpur Bujhel Tasek Laki) dan kolam *salses* (untuk gunung lumpur Bujhel Tasek Bini).



Gambar 4.11 Bentuk gunung lumpur Bujhel Tasek (Istadi, dkk; tanpa tahun)

Bila dikaitkan dengan penurunan tanah, penurunan tanah atau amblesan akan terjadi apabila terdapat kekosongan material dalam lapisan batuan. Kekosongan dalam lapisan batuan dikarenakan material yang mengisi keluar/meloloskan diri dengan jumlah yang sangat besar. Akan tetapi untuk gunung lumpur Bujhel Tasek ini, karena intensitas lumpur yang keluar kecil, bisa diduga bahwa prosentase terjadinya penurunan tanah masih sangat kecil. Namun hal tersebut tidak bisa sepenuhnya dijadikan acuan, karena lempeng-lempeng tektonik masih aktif bergerak yang bisa menyebabkan patahan, sesar dan amblesan. Sebagaimana firman Allah dalam surat an-Naml ayat 88:

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَا مِدَّةً وَهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِ ج (٨٨)

“Dan kamu lihat gunung-gunung itu, kamu sangka dia tetap ditempatnya, padahal ia berjalan sebagai jalannya awan....” (Q.S. an-Naml [27]:88)

Menurut tafsir Al Maraghi kata (تمر) digunakan dalam arti guncangan dan bergetar, sedang ia (langit) tetap pada tempatnya. (المر) pada asalnya berarti bolak-balik, pulang pergi dan kadang diartikan berjalan (Mushtafa, 1989). Berdasarkan tafsir tersebut menjelaskan bahwa gunung tidak diam di tempatnya. Bergeraknya gunung tersebut dikarenakan pergerakan dari lempeng tektonik. Dengan kata lain, pergerakan lempeng tektonik memegang peranan penting dalam pembentukan struktur lapisan bumi. Apabila terjadi pemekaran atau penunjaman lempeng tektonik maka akan terbentuk patahan atau sesar yang mengakibatkan material yang ada di dalam bumi keluar, seperti halnya dengan gunung lumpur.

Untuk pemetaan gunung lumpur tentu saja tidak hanya dengan memetakan pola penyebaran dari lumpurnya saja. Tetapi juga perlu diketahui bentuk dari jalan

keluarnya material lumpur. Jalan keluarnya lumpur ini menunjukkan bentuk dari patahan yang terjadi. Dari beberapa penelitian sebelumnya, bahwa pola patahan dari gunung lumpur LUSI masih bersambung hingga gunung lumpur di Madura. Ini berarti gunung-gunung lumpur yang berada di Jawa memiliki jalur patahan yang sama artinya masih berhubungan satu sama lain.

4.8 Pemodelan Struktur Geologi Menurut Kajian al-Quran

Al Quran adalah firman Allah SWT yang banyak mengandung pengetahuan. Isi kandungan al-Quran tidak hanya menjelaskan tentang muamalah manusia saja. Namun, dalam sejumlah ayatnya juga terdapat banyak kandungan ilmu pengetahuan yang bisa membuktikan kebenaran ilmiah yang baru bisa terungkap dengan teknologi abad ke-20. Hal ini sebagai bukti kebesaran Allah SWT dan sebagai petunjuk kepada manusia dalam memanfaatkan apa yang diciptakan-Nya dengan bijaksana dengan tidak lupa mensyukurinya.

Dilihat dari hasil penelitian tergambar beberapa lapisan batuan penyusun struktur bawah permukaan daerah penelitian. Macam-macam batuan tersebut meliputi batu gamping atau batu kapur yang mengandung air asin, lempung dan lain sebagainya. Sesuai dengan firman Allah SWT dalam surat Fathir ayat 27:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ ثَمَرَاتٍ مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهَا ۚ وَمِنَ الْجِبَالِ جُدَدٌ بَيضٌ وَحُمْرٌ مُخْتَلِفٌ أَلْوَانُهَا وَعَرَابِيَةٌ سُودٌ (٢٧)

“Tidakkah engkau melihat bahwa Allah menurunkan air dari langit lalu dengan air itu kami hasilkan buah-buahan yang beraneka macam jenisnya. Dan di antara gunung-gunung itu ada garis-garis putih dan merah yang beraneka macam warnanya dan ada (pula) yang hitam pekat.” (Q.S. Fathir [35]:27).

Ayat ini melanjutkan uraian tentang bukti-bukti kuasa Allah SWT mengenai pergerakan lempeng tektonik. Kata (جَدَّة) judad adalah bentuk jamak dari kata (جَدَّة) uddah yakni jalan. Kata (بَيْضٌ) bidh adalah bentuk jamak dari kata (أَبْيَضٌ) abyadh yang berarti putih, kata (سُودٌ) sud adalah bentuk jamak dari kata (أَسْوَدٌ) aswad/hitam, dan kata (حُمْرٌ) humur adalah bentuk jamak dari kata (أَحْمَرٌ) ahmar (merah). Adapun kata (غَرَابِيبٌ) gharabib adalah bentuk jamak dari kata (غَرِيبٌ) ghirbib yaitu yang pekat (sangat) hitam. Sebenarnya istilah yang lumrah dipakai adalah (سُودٌ غَرَابِيبٌ) sud gharabib/hitam pekat, tetapi redaksi ayat ini membalikinya untuk menggambarkan kerasnya kepekatan itu.

Berdasarkan tafsir di atas, dapat diketahui bahwa suatu struktur lapisan bumi memiliki garis warna yang bermacam-macam. Warna lapisan yang bermacam-macam ini disebabkan karena adanya perbedaan materi-materi yang dikandung oleh bebatuan lapisan itu. Warna hitam dan putih menunjukkan tingkat warna gelap hingga terang dan warna merah yang beraneka macam warnanya dapat diartikan dengan gradasi warna.

Karena dalam penelitian ini memanfaatkan sifat listrik batuan, maka warna yang berbeda-beda tersebut ditunjukkan dengan variasi dari nilai resistivitas batuan yang ada di bawah permukaan bumi. Berdasarkan hasil penelitian, warna oranye menunjukkan struktur batuan yang menjadi tempat akumulasi dari lumpur dan warna merah keunguan menunjukkan keberadaan dari lumpur. Selain itu juga terdapat warna biru yang mengindikasikan adanya air. Ditegaskan juga dalam surat ath-Thalaq ayat 12 yang menjelaskan tentang 7 lapisan bumi yang menunjukkan bermacam-macam struktur lapisan penyusun bumi dimana

perbedaan lapisan atau struktur bumi tergantung pada kandungan material dari tiap batuan penyusun. Dalam hadits Rasulullah SAW juga menegaskan tentang adanya 7 lapis bumi. Rasulullah SAW bersabda:

عَنْ سَعِيدِ بْنِ زَيْدِ بْنِ عَمْرٍو بْنِ نُفَيْلٍ أَنَّهُ حَاصِمَتُهُ أَرَوَى فِي حَقِّ زَعَمَتْ أَنَّهُ انْتَقَصَهُ لَهَا إِلَى مَرَوَانَ
فَقَالَ سَعِيدٌ أَنَا أَنْتَقِصُ مِنْ حَقِّهَا شَيْئًا أَشْهَدُ لَسَمِعْتُ رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ يَقُولُ مَنْ
أَخَذَ شِبْرًا مِنَ الْأَرْضِ ظُلْمًا فَإِنَّهُ يُطَوَّقُهُ يَوْمَ الْقِيَامَةِ مِنْ سَبْعِ أَرْضِينَ

“Dari Said bin Zaid bin Amr bin Nufail, ia dibantah oleh para musuh terhadap hak kepemilikan sebidang tanah. Kemudian Sa'id berkata: Apakah aku mengambil sesuatu atau mengurangi haknya? Aku bersaksi, aku benar-benar mendengar Rasulullah SAW bersabda: “Barang siapa yang mengambil sejengkal tanah secara zalim, sesungguhnya ia akan dibebani tujuh (lapis) bumi pada hari kiamat nanti.” (HR. Bukhari).

Jika dilihat dari redaksi hadits (tekstual), banyak yang menyorot hadits ini dan kemudian dihubungkan dengan keadaan lapisan bumi yang menyatakan adanya 7 (tujuh) lapisan yang dimiliki bumi. Mufradath (سَبْعِ أَرْضِينَ) memiliki arti tujuh lapis bumi (Software Maktabah Tsamilah).

Sabda Rasulullah SAW mengenai 7 lapis bumi semakin menguatkan tentang fakta-fakta geosains. Struktur bumi dapat diketahui dari lapisan kerak bumi. Dari lapisan atas kerak bumi dapat dilihat bentuk bumi berupa pegunungan, gunung api, samudera, dataran, gunung lumpur dan sebagainya. Sedangkan dari lapisan kerak bawah bumi dapat diketahui struktur bumi berupa jenis batuan atau mineral yang terkandung (Fatimatuzzahroh, 2015).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

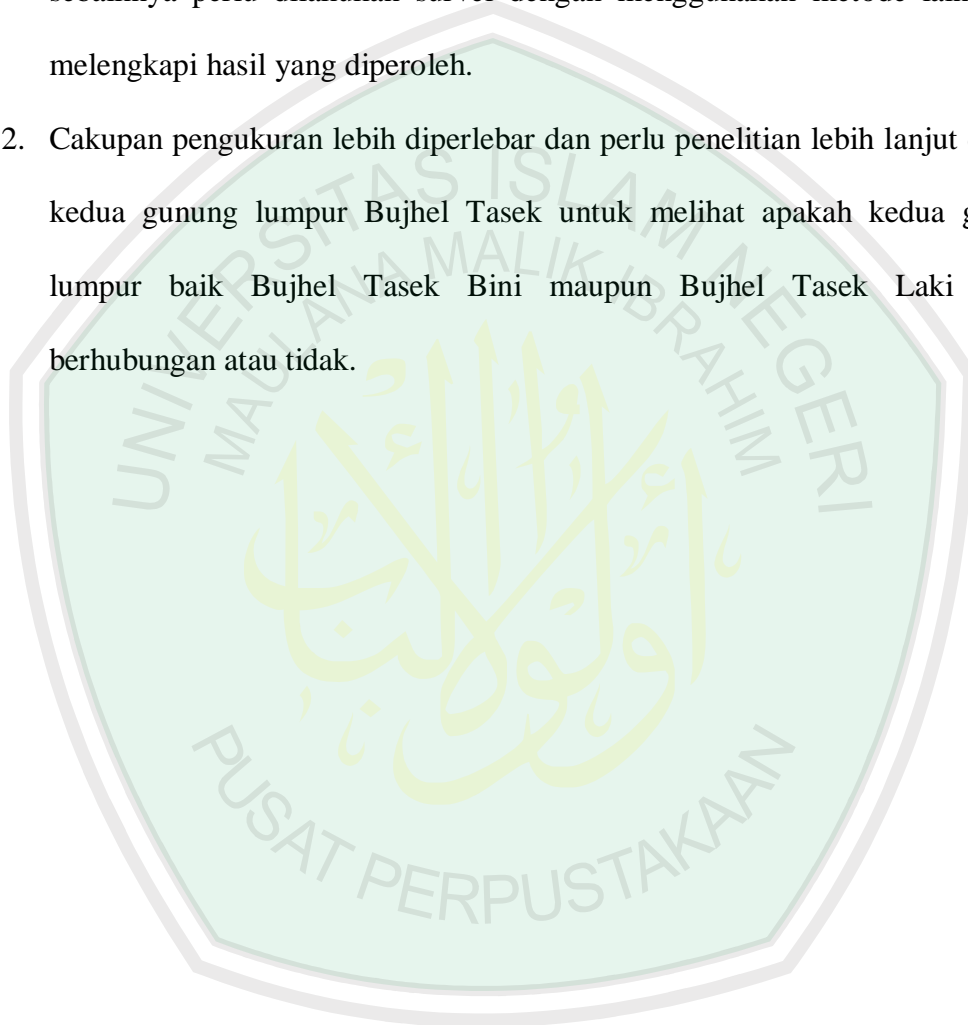
Berdasarkan hasil dari pembahasan dan analisa pada bab IV dimana semua data telah dikumpulkan dari lapangan dan pemodelan yang telah dilakukan dengan simulasi komputer maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Secara umum struktur litologi bawah permukaan kedua gunung lumpur Bujhel Tasek Laki dan Bujhel Tasek Bini didominasi oleh batuan lempung, batupasir dan batu kapur yang mengandung air asin.
2. Pemodelan dari bawah permukaan gunung lumpur Bujhel Tasek Laki terkait dengan distribusi lumpur memiliki arah persebaran timur laut. Sedangkan untuk distribusi lumpur pada gunung lumpur Bujhel Tasek Bini diduga memiliki persebaran ke arah timur laut dan barat daya.
3. Kedalaman dari anomali yang teridentifikasi pada lintasan pertama diduga dari 1,88 meter sampai 18 meter dan membentuk pola lumpur menyerupai cekungan. Untuk lintasan kedua, kedalaman dari anomali jauh lebih dalam dari hasil data yang terekam dengan pola dari lumpur yang membentuk sebuah cekungan yang membentuk elips. Namun pada lintasan ketiga memiliki kedalaman yang lebih dangkal dibanding lintasan 1 dan lintasan 2.

5.2 Saran

Dari hasil kesimpulan yang diperoleh, maka saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Survei dengan metode geolistrik resistivitas ini merupakan survei pendahuluan untuk mengetahui pola distribusi/penyebaran dari gunung lumpur Bujhel Tasek di Desa Katal Barat Kecamatan Geger Kabupaten Bangkalan. Maka sebaiknya perlu dilakukan survei dengan menggunakan metode lain untuk melengkapi hasil yang diperoleh.
2. Cakupan pengukuran lebih diperlebar dan perlu penelitian lebih lanjut dengan kedua gunung lumpur Bujhel Tasek untuk melihat apakah kedua gunung lumpur baik Bujhel Tasek Bini maupun Bujhel Tasek Laki saling berhubungan atau tidak.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustina. 2014. *pH EH dan EC Indikator Uji Kesuburan Tanah*. (Online). <http://C.Agustina-Notes.html>. Diakses pada tanggal 22 Februari 2016.
- Allred, Barry J., et al. 2008. *Handbook Agricultural Geophysics*. Boca Raton: CRC Press.
- Bemmelen, R.W., van, 1949. *The Geology of Indonesia*. Govt. Printing Office, The Hague, 732 pp.
- Dimitrov, L. I. 2002. *Mud Volcanoes-The Most Important Pathway For Degassing Deeply Buried Sediments*. *Earth-Science Reviews*, 59, 49-76.
- Fatimatuzzahroh, Siti. 2015. *Analisis Struktur Geologi Daerah Ranu Gedang Berdasarkan Data Anomali Medan Magnet*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Efendi, M. Muchtar. 2015. *Aplikasi Atribut Seismik Untuk Identifikasi Sebaran Reservoir hidrokarbon Pada Zechstein Group, Rinjland, Dan chalk, Cekungan Laut Utarabelanda*. Skripsi. Tidak Diterbitkan. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Febryan. 2010. <https://febryantgeologisty.wordpress.com/2010/03/03/provinsi-mud-volcano/>. Diakses pada tanggal 18 Maret 2016.
- Fowler SR, Mildenhall J, Zalova S, Riley G, Elsley G, Desplanques A, Guliyev F. 2000. *Mud Volcanoes and Structural Development on Shah Deniz*. *J Petrol Sci Eng* 28:189–206
- Guliyev IS, Feizullayev AA. 1994. *Natural Hydrocarbon Seepages in Azerbaijan*. In: Proc AAPG Hedberg Research Conf, 24–28 April, Vancouver, Canada, pp 76–79
- Guliyev, I. S., & Feizullayev, A. A. 1997. *All About Mud Volcanoes*. Azerbaijan, Baku: Publ. House, Nafta Press.
- Graue, K. 2000. *Mud Volcanoes in Deep Water Nigeria*. *Marine and Petroleum Geology*.17, 959-974.
- Halliburton, 2001. *Basic Petroleum Geology and Log Analysis*
- Harsono, Adi. 1997. *Evaluasi Formasi dan Aplikasi Log*. Jakarta: Schlumberger Oilfield Services.

Hensen, C., Nuzzo, M., Hornibrook, E., Pinheiro, L.M., Bock, B., Magalhães, V. H., & Brückmann, W. 2007. *Sources of Mud Volcano Fluids In The Gulf of Cadiz- Indications For Hydrothermal Imprint*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 71, 1232-1248.

<http://hmgj.or.id/geologi-regional-zona-kendeng.html>. *Geologi Regional Zona Kendeng*. Diakses pada tanggal 13 Mei 2016

Indriana, Rina Dwi, dkk. 2007. *Interpretasi Bawah Permukaan Dengan Metode Self Potential Daerah Bledug Kuwu Kradenan Grobogan*. Semarang: Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika Universitas Diponegoro.

Istadi, B., Pramono, G.H., Sumintadireja, P., Alam, S. 2009. *Simulation on growth and potential Geohazard of East Java Mud Volcano, Indonesia*. *Marine & Petroleum Geology, Mud Volcano Special Issue*, doi: 10.1016/j.marpetgeo.2009.03.006.

Istadi, Bambang P., dkk. *Mud Volcano and Its Evolution*.

Judd, A. 2005. *Gas Emissions From Mud Volcanoes. Significance To Global Climate Change*. Martinelli G., Panahi B., (ed.) *Mud Volcanoes, Geodynamics and Seismicity*, 51, chapter 4, 147-157.

Kalinko, M. 1964. *Mud Volcanoes, Reasons Of Their Origin, Development And Fading*: VNIGRI, v. 40, p. 30-54 (in Russian).

Kholodov, V.N., 2002. *Mud Volcanoes, Their Distribution Regularities and Genesis: Communication 1. Mud Volcanic Provinces and Morphology of Mud Volcanoes*. *Lithology and Mineral Resources* 37 (3), 197–209.

Kopf, A. J., 2002. *Significance of Mud Volcanism*, *Revs of Geophysics*, 40, (2), 1005, doi:10.1029/2000RG000093

Kopf, A. J. 2011. *Significance of Mud Volcanism*. *Reviews of Geophysics*, 40(2).

Loke, M.H. 2004. *Tutorial 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Penang: Geotomo Software.

Lowrie, William. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. USA: Cambridge University Press, p293-320.

Mazzini, A., Akhmanov, G.G., Svensen, H., Planke, S. 2007. *Pulsating Mud Volcanism at LUSI, Indonesia*. Makalah dipresentasikan dalam The International Geological Workshop of Sidoarjo Mud Volcano, Jakarta 20-21 February 2007.

- Milkov, A. V. 2000. *Worldwide Distribution of Submarine Mud Volcanoes and Associated Gas Hydrates*. *Marine Geology*, 167, 29-42.
- Milkov, A. V., Sassen, R., Apanasovich, T. V., & Dadashev, F. G. 2003. *Global Gas Flux From Mud Volcanoes: A Significant Source of Fossil Methane In the Atmosphere and the Ocean*. *Geophysical Research Letters*, 30, doi:10.1029/2002GL016358.
- Milsom, John. 2003. *Field Geophysics, 3rd Edition*. England: John Willey & Sons Ltd.
- Peters, Ekwere J. *Petrophysics*. USA: Departement of Petroleum and Geosystems Engineering The University of Texas at Austin.
- Reynolds, Jhon M. 2005. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. USA: JhonWiley & Sons, p 156-160.
- Rubiandini, R.S., 2006. *Pembelajaran dari Erupsi Lumpur Di Sekitar Lokasi Sumur Banjarpanji-1*, dipresentasikan dalam pertemuan Ikatan Ahli Geologi (IAGI) di Jakarta 27 Desember 2006.
- Santoso, Joko. 2002. *Pengantar Teknik Geofisika*. Bandung: ITB, p 99-110.
- Satyana, Awang Harun, Asnidar. 2008. *Mud Diapirs And Mud Volcanoes In Depressions Of Java To Madura : Origins, Natures, And Implications To Petroleum System*. In: *Proceedings, Indonesian Petroleum Association. Thirty-Second Annual Convention & Exhibition, May 2008*. IPA08-G-139.
- Sharma, P.V. 1997. *Environmental and Geophysics*. New York: Cambridge University Press.
- Software Maktabah Tsamilah, Bukhari No. 2273
- Stewart, S. A., & Davies, R. J. 2006. *Structure and Emplacement of Mud Volcano Systems in the South Caspian Basin*. *AAPG Bulletin*, 90(5), 771-786.
- Supandjono.J.B., Hasan, K., Panggabean, H., Satria, D., dan Sukardi, 1992. *Peta Geologi lembar Surabaya-Sapulu (1608-4 dan 1609-1), skala 1:100.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Sutedjo, M.M. dan Kartasapoetra, A.G. 2005. *Pengantar Ilmu Tanah*. Jakarta: Rineka Cipta.

Telford, M. W., Gerdart, L. P., Sheriff, R. E, Keys, D. A. 1990. *Applied Geophysics*. USA: Cambrige University Press.

Utama, Dr. Widya, Waluyo, Galik Panggah. *Deteksi Pola Patahan Di Desa Renokenongo Porong Sidoarjo Dengan Metode Geolistrik Konfigurasi Wenner*. Surabaya: Laboratorium Geofisika Jurusan Fisika FMIPA ITS.

Yusinov, Mehdi. 2004. *Thesis, Seismic Interpretation and Classification of Mud Volcanoes of The South Caspian Basin, Offshore*. Azerbaijan. Texaz A&M University.

Zaennudin, A., Badri, I., Padmawidjaja, T., Humaida, H., Sutaningsih, E.N., 2010. *Fenomena Geologi Semburan Lumpur Sidoarjo*. Bandung: Badan Geologi.





LAMPIRAN

Lampiran 1

1. Data Lintasan 1

No.	C1 (m)	P1 (m)	P2 (m)	C2 (m)	Datum point	n	I (mA)	R	ρ (Ohm.m)
1	0	10	20	30	15	1	0.5	0.055	3.469072
2	10	20	30	40	25	1	0.5	0.04	2.497556
3	20	30	40	50	35	1	0.5	0.058	3.617908
4	30	40	50	60	45	1	0.5	0.068	4.258468
5	40	50	60	70	55	1	0.5	0.07	4.414212
6	50	60	70	80	65	1	0.5	0.065	4.070068
7	60	70	80	90	75	1	0.5	0.062	3.86848
8	70	80	90	100	85	1	1	0.063	3.925
9	80	90	100	110	95	1	0.5	0.097	6.071504
10	90	100	110	120	105	1	1	0.031	1.966896
11	100	110	120	130	115	1	0.5	0.038	2.406496
12	110	120	130	140	125	1	1	0.03	1.858252
13	120	130	140	150	135	1	1	0.027	1.682412
14	0	20	40	60	30	2	0.5	0.048	3.045172
15	10	30	50	70	40	2	0.5	0.04	2.517024
16	20	40	60	80	50	2	0.5	0.041	2.54968
17	30	50	70	90	60	2	0.5	0.043	2.706052
18	40	60	80	100	70	2	0.5	0.04	2.484368
19	50	70	90	110	80	2	0.5	0.039	2.45862
20	60	80	100	120	90	2	0.5	0.038	2.366932
21	70	90	110	130	100	2	0.5	0.071	4.473872
22	80	100	120	140	110	2	0.5	0.043	2.673396
23	90	110	130	150	120	2	0.5	0.085	5.334232
24	0	30	60	90	45	3	0.5	0.037	2.29534
25	10	40	70	100	55	3	0.5	0.037	2.321716
26	20	50	80	110	65	3	0.5	0.037	2.327996
27	30	60	90	120	75	3	0.5	0.036	2.27964
28	40	70	100	130	85	3	0.5	0.031	1.94994
29	50	80	110	140	95	3	0.5	0.038	2.378236
30	60	90	120	150	105	3	1	0.026	1.636568
31	0	40	80	120	60	4	0.5	0.028	1.727
32	10	50	90	130	70	4	0.5	0.027	1.70188
33	20	60	100	140	80	4	0.5	0.028	1.767192
34	30	70	110	150	90	4	0.5	0.028	1.759656
35	0	50	100	150	75	5	0.5	0.028	1.78666

Lampiran 2

2. Data Lintasan 2

No.	C1 (m)	P1 (m)	P2 (m)	C2 (m)	Datum point	n	I (mA)	R	ρ (Ohm.m)
1	0	10	20	30	15	1	0.5	0.02938	1.845064
2	10	20	30	40	25	1	0.5	0.03665	2.30162
3	20	30	40	50	35	1	0.5	0.02949	1.851972
4	30	40	50	60	45	1	0.5	0.0379	2.38012
5	40	50	60	70	55	1	0.5	0.04181	2.625668
6	50	60	70	80	65	1	0.5	0.05618	3.528104
7	60	70	80	90	75	1	0.5	0.04777	2.999956
8	70	80	90	100	85	1	0.5	0.02212	1.389136
9	80	90	100	110	95	1	0.5	0.04122	2.588616
10	90	100	110	120	105	1	0.5	0.0487	3.05836
11	100	110	120	130	115	1	0.5	0.03038	1.907864
12	110	120	130	140	125	1	1	0.0008647	0.054303
13	120	130	140	150	135	1	0.5	0.02627	1.649756
14	0	20	40	60	30	2	0.5	0.04205	2.64074
15	10	30	50	70	40	2	1	0.01557	0.977796
16	20	40	60	80	50	2	0.5	0.07196	4.519088
17	30	50	70	90	60	2	0.5	0.06656	4.179968
18	40	60	80	100	70	2	0.5	0.05719	3.591532
19	50	70	90	110	80	2	1	0.0001529	0.009602
20	60	80	100	120	90	2	1	0.01904	1.195712
21	70	90	110	130	100	2	0.5	0.03738	2.347464
22	80	100	120	140	110	2	0.5	0.03364	2.112592
23	90	110	130	150	120	2	0.5	0.0378	2.37384
24	0	30	60	90	45	3	0.5	0.05348	3.358544
25	10	40	70	100	55	3	0.5	0.06449	4.049972
26	20	50	80	110	65	3	0.5	0.03624	2.275872
27	30	60	90	120	75	3	0.5	0.05906	3.708968
28	40	70	100	130	85	3	0.5	0.0379	2.38012
29	50	80	110	140	95	3	0.5	0.038	2.3864
30	60	90	120	150	105	3	0.5	0.0433	2.71924
31	0	40	80	120	60	4	0.5	0.05088	3.195264
32	10	50	90	130	70	4	0.5	0.03769	2.366932
33	20	60	100	140	80	4	0.5	0.06521	4.095188
34	30	70	110	150	90	4	0.5	0.03447	2.164716
35	0	50	100	150	75	5	0.5	0.03697	2.321716

Lampiran 3

3. Data lintasan 3

No.	C1 (m)	P1 (m)	P2 (m)	C2 (m)	Datum point	n	I (mA)	R	ρ (Ohm.m)
1	0	10	20	30	15	1	0.5	0.03447	2.164716
2	10	20	30	40	25	1	0.5	0.0353	2.21684
3	20	30	40	50	35	1	0.5	0.03541	2.223748
4	30	40	50	60	45	1	0.5	0.0001957	0.01229
5	40	50	60	70	55	1	0.5	0.0336	2.11008
6	50	60	70	80	65	1	0.5	0.03219	2.021532
7	60	70	80	90	75	1	0.5	0.03167	1.988876
8	70	80	90	100	85	1	0.5	0.03084	1.936752
9	80	90	100	110	95	1	0.5	0.03063	1.923564
10	90	100	110	120	105	1	0.5	0.03001	1.884628
11	100	110	120	130	115	1	0.5	0.02539	1.594492
12	110	120	130	140	125	1	0.5	0.02876	1.806128
13	120	130	140	150	135	1	0.5	0.02814	1.767192
14	0	20	40	60	30	2	0.5	0.0271	1.70188
15	10	30	50	70	40	2	0.5	0.02689	1.688692
16	20	40	60	80	50	2	0.5	0.02627	1.649756
17	30	50	70	90	60	2	0.5	0.02596	1.630288
18	40	60	80	100	70	2	0.5	0.02518	1.581304
19	50	70	90	110	80	2	0.5	0.02668	1.675504
20	60	80	100	120	90	2	0.5	0.02502	1.571256
21	70	90	110	130	100	2	0.5	0.0245	1.5386
22	80	100	120	140	110	2	0.5	0.0244	1.53232
23	90	110	130	150	120	2	0.5	0.02502	1.571256
24	0	30	60	90	45	3	0.5	0.0253	1.58884
25	10	40	70	100	55	3	0.5	0.02388	1.499664
26	20	50	80	110	65	3	0.5	0.02419	1.519132
27	30	60	90	120	75	3	0.5	0.02315	1.45382
28	40	70	100	130	85	3	0.5	0.02315	1.45382
29	50	80	110	140	95	3	0.5	0.02357	1.480196
30	60	90	120	150	105	3	0.5	0.02663	1.672364
31	0	40	80	120	60	4	0.5	0.02263	1.421164
32	10	50	90	130	70	4	0.5	0.02232	1.401696
33	20	60	100	140	80	4	0.5	0.02191	1.375948
34	30	70	110	150	90	4	0.5	0.02315	1.45382
35	0	50	100	150	75	5	0.5	0.02263	1.421164



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341) 551345 Fax. (0341) 572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Nurisyadzatul Hurun
NIM : 12640064
Fakultas/ Jurusan : Sains dan Teknologi/ Fisika
Judul Skripsi : Analisis Data Geolistrik Resistivitas untuk Pemodelan Struktur Geologi Bawah Permukaan Gunung Lumpur
Pembimbing I : Drs. Abdul Basid, M. Si
Pembimbing II : Erika Rani, M. Si

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan
1	08 Februari 2016	Konsultasi Bab I, II dan III	
2	18 Februari 2016	Konsultasi Agama Bab I	
3	14 Maret 2016	Konsultasi Agama Bab I dan Acc	
4	31 Maret 2016	Konsultasi Bab I, II, III dan Acc	
5	31 Maret 2016	Konsultasi Data	
6	08 April 2016	Konsultasi Data dan Acc	
7	30 Mei 2016	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	
8	30 Mei 2016	Konsultasi Bab IV dan V	
9	31 Mei 2016	Konsultasi Kajian Agama dan Acc	
10	01 Juni 2016	Konsultasi Semua Bab, Abstrak dan Acc	

Malang, 2 Juni 2016
Mengetahui,
Ketua Jurusan

