

**ANALISIS POTENSI TANAH LONGSOR BERDASARKAN
METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI
WENNER PADA LERENG GALIAN TINGGI TOL
PANDAAN-MALANG (STA 20+000 – STA 20+500)**

SKRIPSI

Oleh:
HAZQIAL HAFAZHAH
145090700111003



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOFISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

**ANALISIS POTENSI TANAH LONGSOR BERDASARKAN
METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI
WENNER PADA LERENG GALIAN TINGGI TOL
PANDAAN-MALANG (STA 20+000 – STA 20+500)**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik dalam
bidang Teknik Geofisika

Oleh:

HAZQIAL HAFAZHAH

145090700111003



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOFISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

(halaman ini sengaja dikosongkan)



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

ANALISIS POTENSI TANAH LONGSOR BERDASARKAN
METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI
WENNER PADA LERENG GALIAN TINGGI TOL PANDAAN-
MALANG (STA 20+000 – STA 20+500)

Oleh:
HAZQIAL HAFAZHAH
145090700111003

Setelah dipertahankan di depan Majelis Penguji
pada tanggal **27 DEC 2018**
dinyatakan memenuhi syarat untuk memperoleh gelar Sarjana
Teknik dalam bidang Teknik Geofisika

Pembimbing I



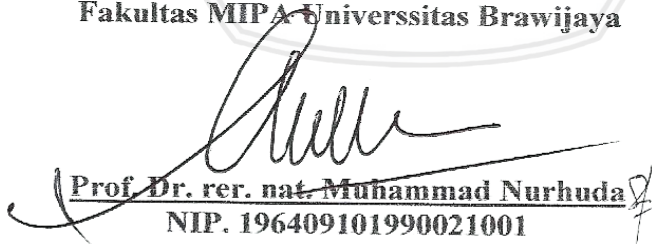
Drs. Alamsyah M. Juwono,
M.Sc., Ph.D.
NIP. 196004211988021001

Pembimbing II



Nina Kusumi Ningrum, S.T.
NIP. 01017

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika
Fakultas MIPA Universitas Brawijaya



Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda
NIP. 196409101990021001

(halaman ini sengaja dikosongkan)



LEMBAR PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Hazqial Hafazhah
NIM : 145090700111003
Jurusan : Fisika
Penulis skripsi berjudul :

Analisis Potensi Tanah Longsor Berdasarkan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi *Wenner* pada Lereng Galian Tinggi Tol Pandaan-Malang (STA 20+000 – STA 20+500)

Dengan ini menyatakan:

1. Isi dari skripsi yang saya buat adalah benar-benar karya saya sendiri dan tidak menjiplak karya orang lain. Karya-karya dari nama-nama yang dirujuk dalam teks skripsi ini, dan tercantum dalam Daftar Pustaka, semata-mata digunakan sebagai rujukan, atau referensi.
2. Apabila di kemudian hari ternyata skripsi yang saya tulis terbukti hasil jiplakan maka saya bersedia menanggung resiko yang akan saya terima.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan segala kesadaran.

Malang, 3 Desember 2018
Yang menyatakan,

Hazqial Hafazhah
NIM. 145090700111003

(halaman ini sengaja dikosongkan)



repository.ub.ac.id

ANALISIS POTENSI TANAH LONGSOR BERDASARKAN METODE GEOLISTRIK RESISTIVITAS KONFIGURASI WENNER PADA LERENG GALIAN TINGGI TOL PANDAAN-MALANG (STA 20+000 – STA 20+500)

ABSTRAK

Potensi tanah longsor ditemukan pada lereng sisa galian bukit, di area proyek pembangunan jalan tol Pandaan-Malang, tepatnya pada STA 20+000 hingga 20+500, di sekitar Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang. Batuan keras tersingkap secara jelas akibat proses penggalan, batuan tersebut diduga berperan sebagai bidang gelincir. Berdasarkan peta geologi regional, daerah penelitian ini tersusun oleh breksi gunungapi, breksi tuf, tuf, lava, dan aglomerat. Survei geolistrik resistivitas digunakan untuk menganalisis jenis dan sifat batuan di area tersebut. Bidang gelincir biasanya merupakan batuan impermeabel dan ditunjukkan oleh nilai resistivitas yang tinggi (di atas 100 Ωm), karena kandungan air di dalam batuan tersebut sedikit. Pengukuran geolistrik resistivitas menggunakan konfigurasi *Wenner* dilakukan pada delapan lintasan (L1-L8) di atas bukit tempat tersingkapnya batuan keras tersebut. Analisis terhadap peta citra satelit digunakan untuk membantu interpretasi nilai resistivitas pada model dua dimensi. Seluruh lintasan diolah menggunakan *software RES2DINV* dan menghasilkan nilai yang cukup seragam, nilai-nilai tersebut dibagi ke dalam tiga kategori, yaitu kategori rendah (0-30 Ωm), yang diinterpretasikan sebagai tanah lapuk, kategori sedang (31-100 Ωm), yang diinterpretasikan sebagai endapan batuan tuf, dan kategori tinggi (di atas 100 Ωm), yang diinterpretasikan sebagai intrusi berupa batuan diorit, yang dapat berperan sebagai bidang gelincir. Interpretasi terhadap penampang resistivitas tiga dimensi dilakukan untuk mendapatkan persebaran dan kemenerusan bidang gelincir. Analisis kemiringan bidang gelincir dilakukan pada lintasan L2, L3 dan L5, di mana kemiringan yang curam ditemukan pada lintasan L3 dan L5, masing-masing sebesar 15° dan 35°. Potensi tanah longsor diduga sangat tinggi terjadi pada kedua lintasan tersebut.

Kata kunci: Tanah longsor, resistivitas, konfigurasi *Wenner*, bidang gelincir, dan intrusi.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



repository.ub.ac.id

POTENTIAL LANDSLIDE ANALYSIS BASED ON GEOELECTRICAL RESISTIVITY WENNER CONFIGURATION METHOD ON THE HIGH EXCAVATED SLOPE OF PANDAAN-MALANG TOLL ROAD (STA 20+000 – 20+500)

ABSTRACT

Potential landslide is found on the slope of excavated hill in the Pandaan-Malang toll road construction project, exactly on STA 20+000 until 20+500, around Lawang Sub-district, Malang. Highly hard rock is revealed clearly because of excavation process, this rock is assumed to be the slip surface. Based on the regional geology map, the area is consisted of volcano breccia, tuff breccia, breccia, lava, and agglomerate. Geoelectrical resistivity survey is used to analyse the types and characteristics of the rocks on that area. The slip surface is commonly an impermeable rocks and showed by high resistivity value (above 100 Ωm), because of its less water contain. Geoelectrical resistivity measurement using Wenner configuration has been done on the eight lines (L1-L8) on the top of the hill where the hard rock was revealed. Analysis of satellite imaging map is used to assist the interpretation of two dimension resistivity value model. All lines are processed using RES2DINV software and resulting uniform values, those values are divided in three groups, they are the low group (0-30 Ωm) and being interpreted as weathered soil, and then the medium group (31-100 Ωm) is interpreted to be tuff sedimentation, and the last is the high group (above 100 Ωm) is assumed as the intrusion rock in the type of diorite and acts to be the slip surface. Interpretation for the three dimension section is used to gain the distribution and the continuity of the slip surface rock. Analysis of the slip surface slope is done on line L2, L3, and L5, where the steep slope is found in L3 and L5 lines, and the values are 15° and 35°. The highest potential landslide is assumed to be happened on the both lines.

Keywords: Landslide, resistivity, Wenner configuration, slip surface, and intrusion.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



KATA PENGANTAR

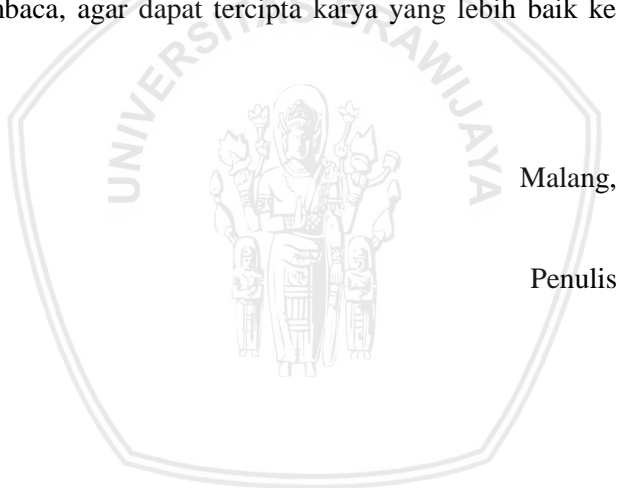
Puji syukur kepada ALLAH SWT. yang telah melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua, sholawat serta salam tak lupa kita curahkan kepada Nabi Muhammad SAW. yang telah menuntun kita dari zaman kebodohan menuju ke zaman kebenaran seperti saat ini. Penulis sangat berbahagia atas terselesaikannya skripsi yang berjudul “Analisis Potensi Tanah Longsor Berdasarkan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi *Wenner* pada Lereng Galian Tinggi Tol Pandaan-Malang (STA 20+000 – STA 20+500)”, di mana skripsi ini merupakan sebuah syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada bidang teknik geofisika di Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya.

Penulis menyelesaikan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan serta motivasi berbagai pihak yang ikut menyumbangkan ide, pemikiran, maupun tenaganya. Oleh karena itu, penulis juga mengucapkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu, bapak, mbak, mas, dan keluarga besar yang senantiasa memberikan dukungan dan nasehat kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Prof. Dr. rer. nat. Muhammad Nurhuda selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Brawijaya.
3. Bapak Drs. Alamsyah M. Juwono, M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing I yang rela meluangkan waktu untuk memberikan arahan serta bimbingan terhadap penelitian dan penulisan skripsi ini.
4. Ibu Nina Kusumi Ningrum S.T. selaku pembimbing II yang telah bersedia memberikan nasehat dan masukan dalam proses akuisisi data di lingkungan PT. Jasamarga Pandaan Malang.
5. PT. Jasamarga Pandaan Malang dan kontraktor PT. Pembangunan Perumahan yang telah bersedia memberikan ijin penelitian di lokasi proyek jalan tol Pandaan-Malang.
6. Jias Oktavia Marnaningrum yang selalu hadir memberikan semangat dan motivasi kepada penulis.

7. Teman-teman geofisika angkatan 2014 atas kebahagiaan dan keceriaan yang diberikan serta menjadi keluarga kedua di Malang.
8. Syafroni Ajis, Catur Kukuh, dan seluruh tim akuisisi geolistrik yang tak kenal lelah.
9. Teman seperjuangan Restu Ari Wibowo, Anggi Kristanto, Novita Awal Ristanti, Rendra Rifaldi, Mas Vincentius Asprilla dan penghuni lab geofisika yang lain atas waktu diskusi dan belajarnya.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Semoga skripsi ini dapat menjadi salah satu bagian penting dari sumber informasi, wawasan, dan pengetahuan, terutama dalam bidang geofisika, baik untuk civitas akademika, maupun seluruh masyarakat yang memiliki minat terhadap analisis kelongsoran di suatu daerah. Penulis menyadari skripsi ini masih terdapat banyak kekeliruan dan jauh dari kata sempurna, sehingga penulis menerima kritik dan saran dari seluruh pembaca, agar dapat tercipta karya yang lebih baik ke depannya.



Malang,

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tanah	5
2.1.1 Tanah Longsor	6
2.1.2 Bidang Gelincir	9
2.2 Geolistrik	10
2.2.1 Metode Resistivitas	11
2.2.2 Sebuah Elektroda Arus di dalam Bumi	13
2.2.3 Sebuah Elektroda Arus di Permukaan Bumi	15
2.2.4 Dua Buah Elektroda Arus di Permukaan Bumi.....	16
2.3 Konfigurasi Elektroda Geolistrik.....	17
2.3.1 Konfigurasi <i>Wenner</i>	19
2.3.2 Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	19
2.3.3 Konfigurasi <i>Pole-dipole</i>	20
2.3.4 Konfigurasi <i>Double Dipole (Dipole-dipole)</i>	21
2.4 Pemodelan Inversi Kuadrat Terkecil	22
2.5 Kondisi Geologi Daerah Penelitian	24
BAB III METODE PENELITIAN	27
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	27
3.2 Materi Penelitian.....	27

3.3	Prosedur Penelitian	28
3.3.1	Akuisisi Data	28
3.3.2	Pengolahan Data.....	29
3.3.3	Interpretasi Data	30
3.3.4	Diagram Alir Penelitian.....	31
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1	Analisis Geologi dan Citra Satelit.....	33
4.2	Interpretasi Model Resistivitas Dua Dimensi.....	40
4.3	Interpretasi Resistivitas Tiga Dimensi	57
4.4	Analisis Kemiringan Bidang Gelincir	61
BAB V	PENUTUP	65
5.1	Kesimpulan	65
5.2	Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Jenis-jenis tanah longsor yang dapat terjadi antara lain: (a) translasi, (b) rotasi, (c) blok, (d) runtuhan, (e) rayapan, dan (f) aliran rombakan (Rahmawati, 2009).....	7
Gambar 2.2. Bentuk bidang gelincir a) busur lingkaran dan b) bidang sejajar (Rahmawati, 2009).....	10
Gambar 2.3. Hambatann jenis kubus yang teraliri arus listrik (Lowrie, 2007).....	11
Gambar 2.4. Nilai resistivitas beberapa batuan dan mineral di dalam bumi (Lowrie, 2007).....	13
Gambar 2.5. Satu elektroda arus di dalam bumi (Telford, dkk., 1990).....	14
Gambar 2.6. Satu elektroda arus di permukaan bumi (Telford, dkk., 1990).	15
Gambar 2.7. Dua elektroda arus di permukaan bumi (Telford, dkk., 1990)	16
Gambar 2.8. Konfigurasi geolistrik resistivitas (a) <i>Wenner</i> , (b) <i>Schlumberger</i> , (c) <i>Pole-dipole</i> , dan (d) <i>Dipole-dipole</i> (Telford, dkk., 1990).	18
Gambar 2.9. Peta geologi Lembar Malang dimodifikasi dari Santoso dan Suwarti (1992).	25
Gambar 3.1. Perangkat keras penelitian geolistrik resistivitas.....	28
Gambar 3.2. Peta lokasi dan desain survei lintasan pengukuran di area proyek pembangunan jalan tol.....	29
Gambar 3.3. Diagram alir penelitian.....	31
Gambar 4.1. Lokasi pengukuran pada Peta Geologi Lembar Malang, modifikasi dari Santoso dan Suwarti (1992).	34
Gambar 4.2. Sampel batuan dari area pengukuran yang diidentifikasi sebagai batuan diorit.....	35
Gambar 4.3. Peta citra satelit yang diambil pada: (a) Juli 2016, (b) Februari 2017, (c) September 2017 dan (d) Mei 208.....	38

Gambar 4.4. Penampang dua dimensi lintasan L1 hasil inversi (a) tanpa efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.42

Gambar 4.5. Penampang dua dimensi lintasan L2 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.44

Gambar 4.6. Penampang dua dimensi lintasan L3 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.46

Gambar 4.7. Penampang dua dimensi lintasan L4 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.48

Gambar 4.8. Penampang dua dimensi lintasan L5 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.50

Gambar 4.9. Penampang dua dimensi lintasan L6 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.51

Gambar 4.10. Penampang dua dimensi lintasan L7 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.53

Gambar 4.11. Penampang dua dimensi lintasan L8 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.55

Gambar 4.12. Persebaran nilai resistivitas dalam penampang tiga dimensi.58

Gambar 4.13. Penampang tiga dimensi filter 50-132 Ω m menunjukkan persebaran batuan intrusi sebagai bidang gelincir. 60

Gambar 4.14. Kemiringan bidang gelincir pada lintasan L2.62

Gambar 4.15. Kemiringan bidang gelincir pada lintasan L3.63

Gambar 4.16. Kemiringan bidang gelincir pada lintasan L5.64

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1. Data permukaan bidang gelincir pada lintasan L2.
 62

Tabel 4.2. Data permukaan bidang gelincir pada lintasan L3.
 63

Tabel 4.3. Data permukaan bidang gelincir pada lintasan L5.
 64



(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengukuran.....	69
Lampiran 2. Format masukan data RES2DINV	70
Lampiran 3. Dokumentasi saat pengambilan data di lapangan	71



(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan tol merupakan salah satu infrastruktur yang dapat mempercepat dan mempermudah mobilisasi masyarakat dari satu daerah ke daerah lain, menggunakan suatu moda transportasi tertentu. Pembangunan jalan tol biasanya melalui berbagai kondisi lahan, seperti persawahan, pemukiman penduduk, perkotaan, sungai, bahkan tidak menutup kemungkinan untuk melewati wilayah perbukitan. Apabila suatu proyek jalan tol akan melalui daerah perbukitan, tentunya terdapat aktifitas penggalian bukit pada saat pembangunan, agar jalan memiliki ketinggian rata-rata yang cenderung sama. Hasil penggalian bukit tersebut, biasanya dinamakan galian tinggi. Adanya penggalian bukit ini, akan menyisakan lereng atau tebing pada kedua sisi jalan, sehingga memungkinkan timbulnya potensi longsor, atau runtuh dari sisi-sisi lereng sisa galian.

Potensi tanah longsor pada lereng sisa galian tinggi dapat ditemukan, salah satunya, pada proyek pembangunan tol Pandaan-Malang, tepatnya di STA 20+000 – STA 20+500. Selain kemiringan lereng yang cukup tinggi, juga dijumpai batuan yang diduga menjadi bidang gelincir pada area tersebut, sehingga berpotensi melongsorkan endapan atau tanah di atasnya. Penelitian terhadap kondisi lapisan batuan pada bukit tersebut perlu dilakukan, untuk mengetahui potensi terjadinya gerakan tanah, atau longsor yang dapat mengganggu aktifitas di sepanjang jalan tol di kemudian hari. Penentuan bidang gelincir serta jenis lapisan batuan bawah permukaan dapat dilakukan menggunakan metode geofisika, yaitu dengan melakukan survei geolistrik resistivitas.

Survei geolistrik resistivitas sangat berguna dalam analisis potensi tanah longsor di suatu daerah, dengan melihat nilai resistivitas batuan ketika dialiri arus listrik. Penentuan batuan yang berperan sebagai bidang gelincir dapat diketahui dari sifatnya yang impermeabel dan dicirikan dengan respon nilai resistivitas yang tinggi. Dengan demikian, survei geolistrik resistivitas ini dapat dilaksanakan pada daerah yang diduga memiliki potensi tanah longsor

untuk mengidentifikasi keberadaan bidang gelincir pada daerah tersebut.

1.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana litologi batuan bawah permukaan di sekitar lereng galian tinggi pada proyek tol Pandaan-Malang?
2. Bagaimana arah perlapisan batuan atau tanah di sekitar lereng galian tinggi pada proyek tol Pandaan-Malang?
3. Di manakah keberadaan bidang gelincir di sekitar lereng galian tinggi pada proyek tol Pandaan-Malang?
4. Bagaimana potensi tanah longsor di sekitar lereng galian tinggi pada proyek tol Pandaan-Malang?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dijelaskan pada poin-poin berikut:

1. Akuisisi atau pengambilan data dilakukan secara primer menggunakan metode geolistrik konfigurasi *Wenner* sebanyak delapan lintasan (L1-L8).
2. Akuisisi data dilaksanakan di area proyek jalan tol Pandaan-Malang, yaitu pada STA 20+000 – STA 20+500, di mana terdapat galian tinggi yang menyisakan lereng di kedua sisi jalan.
3. Pengolahan data dilakukan dengan metode inversi dua dimensi menggunakan program *RES2DINV*.
4. Penyajian model tiga dimensi dilakukan menggunakan *software Oasis Montaj* dengan teknik interpolasi *kriging* terhadap seluruh data dua dimensi hasil inversi.
5. Penentuan batuan yang berperan sebagai bidang gelincir didasarkan atas nilai resistivitas di atas 100 Ωm .
6. Analisis potensi tanah longsor dilakukan terhadap arah dan kemiringan sudut batuan yang dianggap sebagai bidang gelincir.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Mendapatkan model struktur bawah permukaan dan litologi batuan berdasarkan data geolistrik resistivitas di daerah penelitian.

2. Menentukan arah lapisan batuan atau tanah berdasarkan data geolistrik resistivitas di daerah penelitian.
3. Menentukan keberadaan batuan yang berperan sebagai bidang gelincir berdasarkan data geolistrik resistivitas di daerah penelitian.
4. Menganalisis potensi tanah longsor berdasarkan arah dan kemiringan yang didapatkan dari data geolistrik resistivitas di daerah penelitian.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini antara lain:

1. Memberikan informasi dan pengetahuan tentang pentingnya analisis keberadaan batuan bidang gelincir terhadap potensi tanah longsor di suatu daerah.
2. Memberikan pemahaman terhadap mahasiswa dan masyarakat tentang penggunaan metode geolistrik resistivitas dalam identifikasi lapisan batuan bawah permukaan serta penentuan bidang gelincir.
3. Memberikan informasi kepada pihak perusahaan tol PT. Jasamarga Pandaan Malang mengenai keberadaan bidang gelincir yang dapat berpotensi menjadi pemicu terjadinya tanah longsor yang dapat berdampak pada aktifitas di jalan tol khususnya pada lokasi penelitian (STA 20+000 – STA 20+500).
4. Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai perkembangan dan pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang mitigasi bencana tanah longsor, khususnya di sekitar area proyek jalan tol.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Tanah merupakan hasil sedimentasi dari pelapukan batuan, yang mengalami proses erosi dan transportasi. Awalnya, batuan beku yang dihasilkan oleh aktifitas magmatis mengalami proses fisis, sehingga batuan tersebut hancur menjadi butiran-butiran tanah, dengan sifat yang masih sama dengan batuan asalnya. Proses kimia juga menjadikan batuan menjadi lapuk dan berubah menjadi tanah, yang memiliki sifat berbeda dari batuan asalnya. Hasil pelapukan batuan tersebut kemudian dapat berpindah, karena mengikuti aliran air, angin, atau fluida lain, sehingga terendapkan di suatu tempat. Tanah dapat pula diartikan sebagai kumpulan butir-butir mineral alam yang tidak melekat atau melekat tidak erat, sehingga sangat mudah untuk dipisahkan. Pengertian tersebut yang membedakan antara tanah dan batu. Batu merupakan kumpulan butir-butir mineral alam yang saling terikat erat dan kuat. Peralihan antara keduanya sering disebut dengan cadas (Santosa, dkk., 1998).

Jenis tanah berdasarkan ukuran butirnya dibedakan menjadi empat, yaitu kerikil (>2 mm), pasir (2-0,06 mm), lanau (0,06-0,002 mm), dan lempung ($<0,002$ mm). Kerikil merupakan kepingan-kepingan batuan yang kadang juga berupa partikel mineral *quartz* dan feldspar. Pasir sebagian besar merupakan mineral *quartz* dan feldspar. Lanau adalah fraksi mikroskopis yang terdiri dari butiran-butiran *quartz* dan pecahan-pecahan mika. Sedangkan lempung adalah partikel mikroskopis dan sub mikroskopis yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop. Lempung merupakan tanah berukuran lebih kecil dari 2 mikron yang mempunyai mineral tertentu, sehingga menghasilkan sifat plastis apabila dicampur dengan air (Santosa, dkk., 1998).

Klasifikasi tanah perlu dilakukan guna memberikan gambaran terhadap sifat-sifat tanah untuk menghadapi perencanaan dan pelaksanaan konstruksi. Klasifikasi tanah diperlukan dalam berbagai hal, antara lain sebagai berikut

1. Perkiraan hasil eksplorasi tanah (persiapan *bor log* tanah).
2. Perkiraan standar kemiringan lereng dari galian tanah atau tebing.

3. Perkiraan pemilihan bahan (penentuan tanah yang disingkirkan, pemilihan tanah dasar, atau bahan timbunan).
4. Perkiraan persentase muai dan susut.
5. Pemilihan jenis konstruksi dan peralatan konstruksi.
6. Perkiraan kemampuan alat untuk konstruksi.
7. Rencana pekerjaan/pembuatan lereng dan tembok penahan tanah.

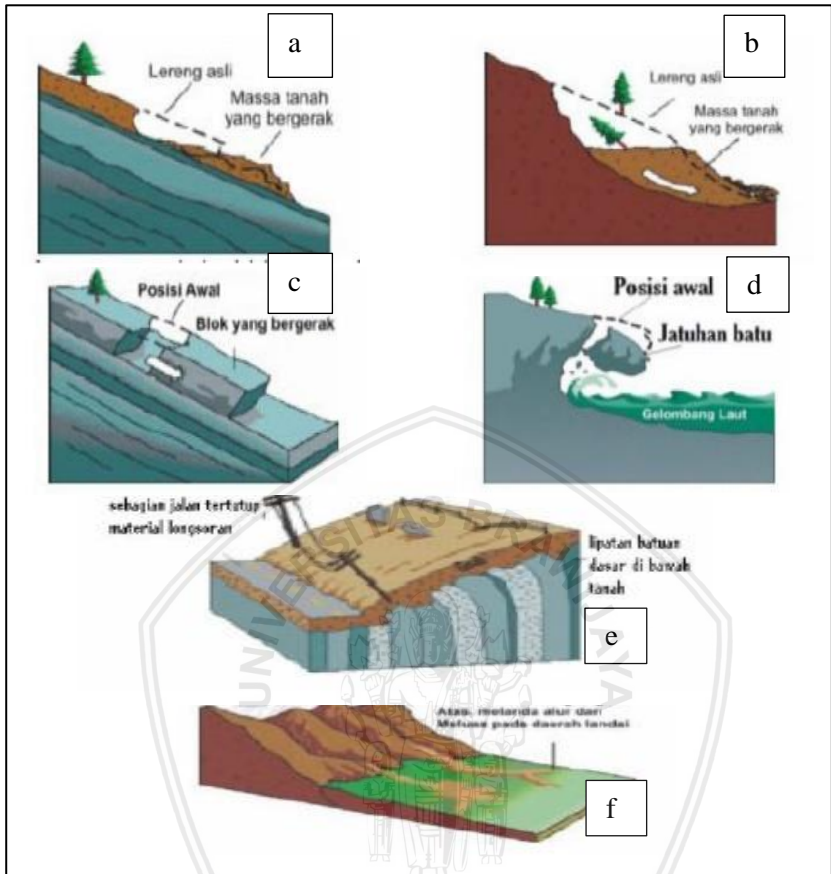
Penentuan dan klasifikasi tanah perlu dilakukan dengan suatu pengamatan langsung di lapangan dan suatu percobaan lapangan yang sederhana (Sosrodarsono, 2000). Pekerjaan tanah seperti penanggulangan, atau pemotongan tanah, perlu dilindungi dengan tembok penahan. Bangunan penahan tersebut, dibangun di tempat di mana kemantapannya tidak dapat dijamin oleh lereng tanah itu sendiri. Apabila pada lereng tersebut tidak dibuat penahan, maka akan terjadi keruntuhan tanah atau tanah longsor (Sosrodarsono, 2000).

2.1.1 Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan fenomena pergerakan massa tanah yang dapat bermula dari pergerakan tanah yang pelan hingga menyebabkan keruntuhan batuan dengan kecepatan tinggi dan volume yang sangat besar (McDowwell, dkk., 2002). Tanah longsor dapat dianggap sebagai bencana alam, dalam beberapa kasus, tanah longsor menyebabkan kerugian ekonomis yang sangat fatal. Longsor dapat diakibatkan oleh faktor pemicu tertentu serta kejadian alam, seperti gempa bumi, hujan deras, kemiringan lereng, pengaruh vegetasi, serta struktur geologi (Irayani, 2016).

Tanah longsor dapat disebabkan oleh faktor internal, yaitu karena daya ikat/kohesi yang lemah, sehingga butiran-butiran tanah dapat terlepas dari ikatannya. Pergerakan butiran dari atas bukit ke bawah dapat menyeret butiran lainnya dan menghasilkan massa yang lebih besar. Lemahnya daya ikat dapat disebabkan oleh sifat porositas dan permeabilitas tanah, atau batuan maupun rekahan (Noor, 2006).

Terdapat enam jenis tanah longsor yang dapat terjadi, yaitu: longSORan translasi, longSORan rotasi, pergerakan blok, runtuh-an batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan (Gambar 2.1a-f) (Rahmawati, 2009).



Gambar 2.1. Jenis-jenis tanah longsor yang dapat terjadi antara lain: (a) translasi, (b) rotasi, (c) blok, (d) runtuhan, (e) rayapan, dan (f) aliran rombakan (Rahmawati, 2009).

Tipe gerakan tanah atau tanah longsor dikelompokkan menjadi tiga (Noor, 2006), yang dapat diuraikan sebagai berikut

1. Gerakan tanah tipe aliran lambat (*slow flowage*), yang terdiri dari
 - a) Rayapan (*Creep*) adalah perpindahan material batuan dan tanah dari atas bukit ke arah kaki lereng dengan pergerakan yang sangat lambat.
 - b) Rayapan tanah (*Soil creep*) adalah perpindahan material tanah dari atas bukit ke arah kaki lereng.

- c) Rayapan talus (*Talus creep*) adalah perpindahan ke arah kaki lereng dari material talus/*scree*.
 - d) Rayapan batuan (*Rock creep*) adalah perpindahan ke arah kaki lereng dari blok-blok batuan.
 - e) Rayapan batuan glasier (*Rock glacier creep*) adalah perpindahan ke arah kaki lereng dari limbah batuan.
 - f) *Solifluction/Liquefaction* adalah aliran yang sangat perlahan ke arah kaki lereng dari material debris batuan yang jenuh air.
2. Gerakan tanah tipe aliran cepat (*rapid flowage*, yang terdiri dari
- a) Aliran lumpur (*Mudflow*) adalah perpindahan dari material lempung dan lanau yang jenuh air pada teras yang berlereng landai.
 - b) Aliran massa tanah dan batuan (*Earthflow*) adalah perpindahan secara cepat dari material debris batuan yang jenuh air.
 - c) Aliran campuran massa tanah dan batuan (*Debris avalanche*) adalah suatu aliran yang meluncur dari debris batuan pada celah yang sempit dan berlereng terjal.
3. Gerakan tanah tipe luncuran (*landslide*), yang terdiri dari
- a) Nendatan (*Slump*) adalah luncuran ke bawah dari satu atau beberapa bagian debris batuan, umumnya membentuk gerakan rotasional.
 - b) Luncuran dari campuran massa tanah dan batuan (*Debris slide*) adalah luncuran yang sangat cepat ke arah kaki lereng dari material tanah yang tidak terkonsolidasi (debris) dan hasil luncuran ini ditandai oleh suatu bidang rotasi pada bagian belakang bidang luncurnya.
 - c) Gerakan jatuh bebas dari campuran massa tanah dan batuan (*Debris fall*) adalah luncuran material debris tanah secara vertikal akibat gravitasi.
 - d) Luncuran massa batuan (*Rock slide*) adalah luncuran dari massa batuan melalui bidang perlapisan, *joint* (kekar), atau permukaan patahan/sesar.
 - e) Gerakan jatuh bebas massa batuan (*Rock fall*) adalah luncuran jatuh bebas dari blok batuan pada lereng-lereng yang sangat terjal.
 - f) Amblesan (*Subsidence*) adalah penurunan permukaan tanah yang disebabkan oleh pemadatan dan isostasi/gravitasi.

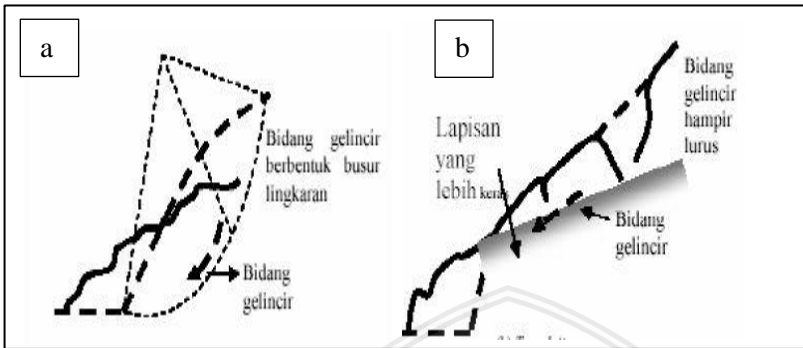
Faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu faktor yang bersifat pasif dan faktor yang bersifat aktif (Noor, 2006), yang dapat dijelaskan sebagai berikut

1. Faktor yang bersifat pasif pada gerakan tanah adalah
 - a) Litologi adalah material yang tidak terkonsolidasi atau rentan dan mudah meluncur karena basah akibat masuknya air ke dalam tanah.
 - b) Stratigrafi adalah peralihan batuan dan perselingan batuan antara batuan lunak dan batuan keras atau perselingan antara batuan yang permeabel dan batuan impermeabel.
 - c) Struktur geologi adalah jarak antara rekahan/*joint* pada batuan, patahan, zona hancuran, bidang foliasi, dan kemiringan lapisan batuan yang besar.
 - d) Topografi adalah lereng yang terjal atau vertikal.
 - e) Iklim adalah perubahan temperatur tahunan yang ekstrim dengan frekuensi hujan yang intensif.
 - f) Material organik adalah lebat atau jarangny vegetasi.
2. Faktor yang bersifat aktif pada gerakan tanah adalah
 - a) Gangguan yang terjadi secara alamiah ataupun buatan.
 - b) Kemiringan lereng yang menjadi terjal karena aliran air.
 - c) Pengisian air ke dalam tanah yang melebihi kapasitasnya, sehingga tanah menjadi jenuh air.
 - d) Getaran-getaran tanah yang diakibatkan oleh seismisitas atau kendaraan berat.

2.1.2 Bidang Gelincir

Biasanya tanah longsor bergerak pada bidang gelincir (*slip surface*). Proses longsor terjadi ketika air yang meresap ke dalam tanah menambah bobot tanah, kemudian air tersebut terus bergerak ke dalam hingga bertemu lapisan kedap air yang bersifat licin dan berperan sebagai bidang gelincir, sehingga massa tanah yang berat di atasnya akan bergerak mengikuti lereng. Bentuk bidang gelincir sering membentuk busur lingkaran (Gambar 2.2a) atau berbentuk lurus (sejajar) dengan muka tanah (Gambar 2.2b). Apabila tanah longsor terjadi pada bidang gelincir berbentuk busur lingkaran, maka disebut *rotational slide*, atau longsor rotasi, yang bersifat memutar. Sedangkan, longsor yang terjadi pada bidang gelincir berbentuk

sejajar disebut dengan *translational slide*, atau longsor translasi. Tanah longsor jenis ini, biasa terjadi apabila terdapat lapisan keras yang sejajar dengan permukaan lereng (Rahmawati, 2009).



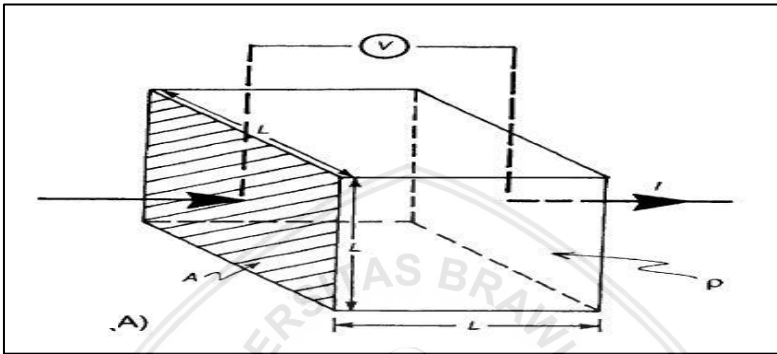
Gambar 2.2. Bentuk bidang gelincir a) busur lingkaran dan b) bidang sejajar (Rahmawati, 2009).

2.2 Geolistrik

Metode geofisika yang sering digunakan untuk mengukur sifat kelistrikan batuan di bawah permukaan bumi, terutama pengukuran parameter resistivitas, adalah metode geolistrik dan induksi elektromagnet. Kedua metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penentuan nilai resistivitas batuan dapat dilakukan menggunakan salah satu metode, apabila memang memiliki kelebihan daripada yang lain, seperti alasan efektifitas dan kepraktisan penggunaan di lapangan (Reynolds, 1997). Metode geolistrik resistivitas, atau yang lebih sering disebut dengan nama geolistrik, merupakan metode utama yang digunakan untuk pemetaan batuan berdasarkan sifat kelistrikannya. Selain metode geolistrik resistivitas ini, juga terdapat metode polarisasi terinduksi dan potensial diri, yang menerapkan sifat kelistrikan batuan. Umumnya, geolistrik digunakan dalam eksplorasi dangkal, seperti pencarian akuifer dan kontaminasi, pendugaan potensi sumber daya mineral, serta pencarian situs arkeologi dan penentuan batuan dasar (Musset, dkk., 2000).

2.2.1 Metode Resistivitas

Resistivitas merupakan salah satu parameter penting dalam survei sifat fisis batuan. Nilai resistivitas menunjukkan adanya kontras sifat antara tubuh mineral dengan batuan dasar, karena keduanya memiliki harga resistivitas yang cenderung berbeda, tergantung pada jenis mineral dan sifat fisis batuanya.



Gambar 2.3. Hambatan jenis kubus yang teraliri arus listrik (Lowrie, 2007).

Berdasarkan tinjauan sifat kelistrikannya, apabila sebuah sisi kubus dengan panjang, L , dilalui oleh arus, I , maka bahan penyusun kubus akan menghalangi konduksi listrik yang melewatinya, sehingga menghasilkan beda potensial, V , pada sisi kubus yang berlawanan seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3 (Lowrie, 2007). Hambatan listrik, R , berbanding lurus dengan panjang, L , dan berbanding terbalik dengan luas area kubus, A , konstanta kesebandingannya disebut dengan resistivitas sebenarnya, ρ (Persamaan 2.1). Menurut Hukum Ohm, besar arus listrik yang mengalir melalui sebuah penghantar, akan berbanding lurus dengan beda potensial yang diterapkan kepadanya, dan berbanding terbalik dengan hambatannya. (Persamaan 2.2). Kedua teori tersebut selanjutnya dapat saling dikombinasikan menjadi Persamaan 2.3 (Reynolds, 1997).

$$R \propto \frac{L}{A} \text{ atau } R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.1)$$

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.2)$$

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.3)$$

Berdasarkan asumsi bahwa arus mengalir pada medium homogen isotropis, apabila δA adalah bagian luas permukaan bumi dan J adalah rapat arus dalam Ampere per meter, maka arus yang melalui δA adalah $J \cdot \delta A$. Rapat arus J dan medan listrik E dapat dihubungkan dengan hukum Ohm pada Persamaan 2.4 (Telford, dkk., 1990).

$$J = \sigma E \quad (2.4)$$

di mana E dalam volt per meter dan σ adalah konduktifitas medium dalam satuan siemens per meter.

Medan listrik adalah gradien potensial dan didefinisikan dalam Persamaan 2.5.

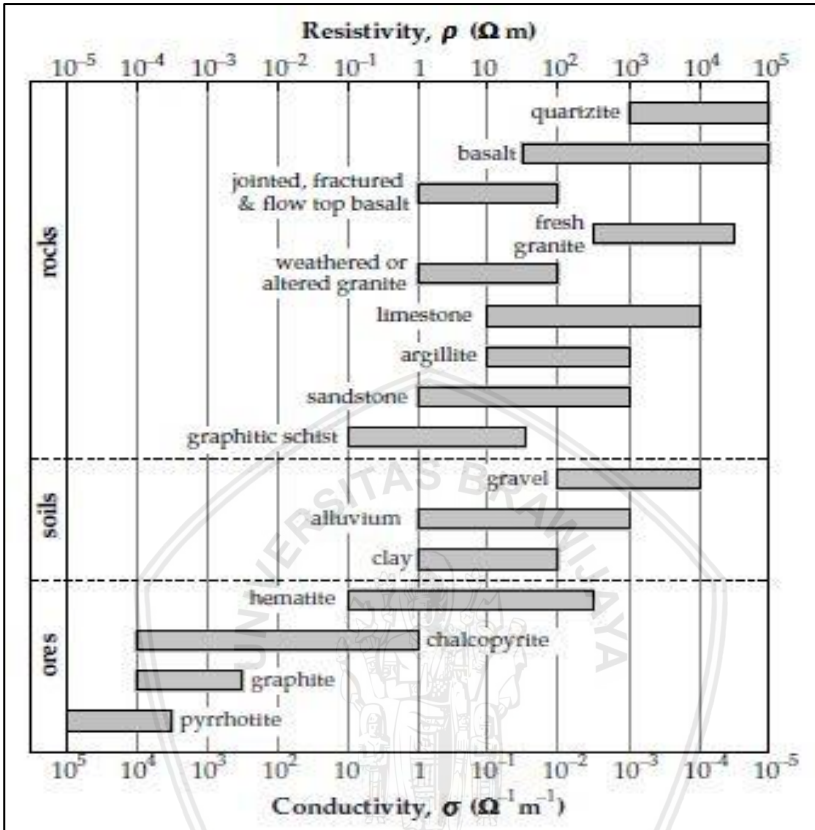
$$E = -\nabla V \quad (2.5)$$

sehingga didapatkan nilai J dari kedua persamaan di atas yaitu (Persamaan 2.6).

$$J = -\sigma \nabla V \quad (2.6)$$

Nilai resistivitas batuan sangat dipengaruhi oleh keberadaan air tanah yang berperan sebagai elektrolit. Biasanya, batuan sedimen berporos tersusun oleh mineral yang secara umum memiliki sifat konduktifitas lemah daripada air tanah, nilai konduktifitas batuan sedimen menjadi sangat tinggi, karena ada kandungan air tanah di dalamnya (Lowrie, 2007).

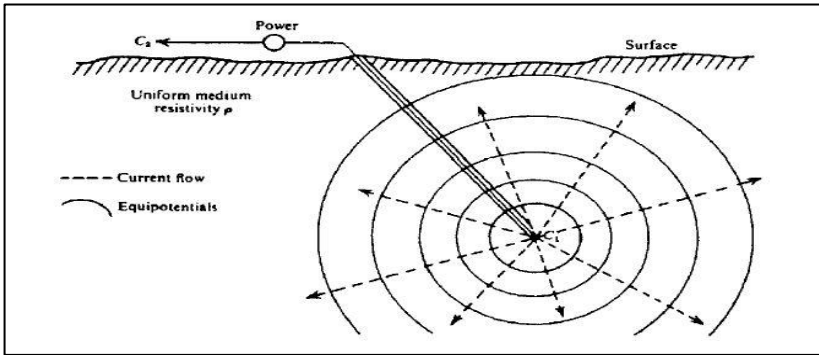
Resistivitas bijih besi memiliki nilai yang sangat kecil, sedangkan batuan vulkanik atau batuan beku yang tidak memiliki kandungan air akan memberikan harga resistivitas yang sangat besar. Sebagai contoh, resistivitas mineral pirotit adalah $10^{-5} \Omega\text{m}$, sedangkan marmer kering berada sekitar $10^8 \Omega\text{m}$ (Lowrie, 2007). Selisih nilai resistivitas yang lebih besar dapat ditunjukkan oleh perak asli senilai $1,6 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ hingga sulfur murni dengan nilai $10^{16} \Omega\text{m}$ (Telford, dkk., 1990). Nilai resistivitas batuan secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.4 (Lowrie, 2007).



Gambar 2.4. Nilai resistivitas beberapa batuan dan mineral di dalam bumi (Lowrie, 2007).

2.2.2 Elektroda Arus di dalam Bumi

Terdapat beberapa konfigurasi elektroda yang digunakan dalam metode resistivitas. Pertama yang akan dibahas adalah ketika ada sebuah elektroda yang ditanam di dalam medium homogen isotropis. Konfigurasi ini juga biasa dikenal dengan metode *mise a la masse*, di mana sebuah elektroda arus diletakkan di dalam tanah, kemudian elektroda arus yang lain diletakkan di permukaan dengan jarak yang sangat jauh, sehingga efeknya dapat diabaikan.



Gambar 2.5. Satu elektroda arus di dalam bumi (Telford, dkk., 1990).

Berdasarkan sistem yang simetris, potensial merupakan sebuah fungsi terhadap r , di mana r adalah jarak dari elektroda pertama. Menggunakan persamaan Laplace dalam koordinat bola, akan didapatkan Persamaan 2.7.

$$\nabla^2 V = \frac{d^2 V}{dr^2} + \left(\frac{2}{r}\right) \frac{dV}{dr} = 0 \quad (2.7)$$

apabila persamaan tersebut dikalikan dengan r^2 , kemudian diintegrasikan, maka hasilnya adalah Persamaan 2.8.

$$\frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (2.8)$$

dengan mengintegrasikannya lagi, didapatkan Persamaan 2.9.

$$V = -\frac{A}{r} + B \quad (2.9)$$

A dan B merupakan konstanta. Karena $V = 0$ ketika r mendekati ∞ , maka didapatkan nilai $B = 0$. Arus mengalir secara radial keluar dari titik pusat elektroda. Total arus yang melalui permukaan bola dituliskan sebagai berikut

$$I = 4\pi r^2 J = -4\pi r \sigma \frac{dV}{dr} = -4\pi r \sigma A$$

dari Persamaan 2.6 dan 2.8 akan didapatkan

$$A = -\frac{I\rho}{4\pi}$$

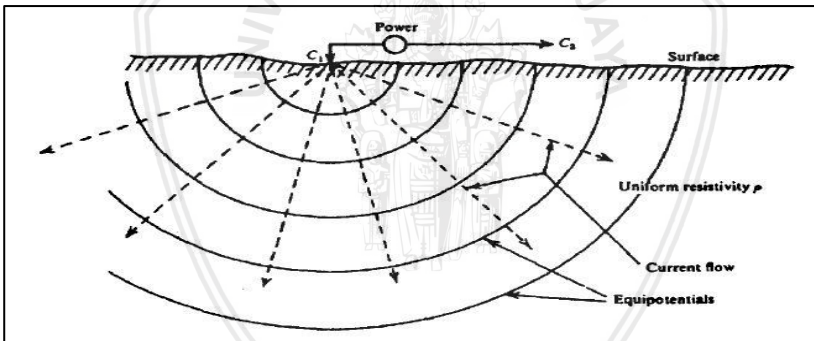
sehingga didapatkan Persamaan 2.10.

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) 1/r \text{ atau } \rho = \left(\frac{4\pi rV}{I}\right) \quad (2.10)$$

Garis ekuipotensial akan berpotongan dengan garis aliran arus, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.5 (Telford, dkk., 1990).

2.2.3 Elektroda Arus di Permukaan Bumi

Susunan ini, merupakan susunan titik elektroda arus yang diletakkan di permukaan sebuah medium homogen isotropis dan udara di atasnya memiliki konduktivitas nol. Terdapat tiga elektroda yang saling berdekatan dan satu elektroda arus lainnya yang diletakkan sangat jauh.



Gambar 2.6. Satu elektroda arus di permukaan bumi (Telford, dkk., 1990).

Karena kesimetrisannya, persamaan Laplace dalam koordinat bola dapat diterapkan pada kasus ini. Solusi persamaan 2.9 dengan $B = 0$ digunakan kembali pada kasus ini. Syarat pada batas permukaan adalah $E_z = \partial V/\partial z = 0$ pada $z = 0$ (karena $\sigma_{\text{udara}} = 0$). Hal ini hampir terpenuhi, karena $\partial V/\partial z = \partial(-A/r)/\partial z = -d/dr (A/r) (\partial r/\partial z) = Az/r^3 = 0$ pada $z = 0$.

Seluruh arus mengalir melalui permukaan setengah bola pada medium yang lebih rendah, Persamaan 2.11 dapat dituliskan sebagai berikut

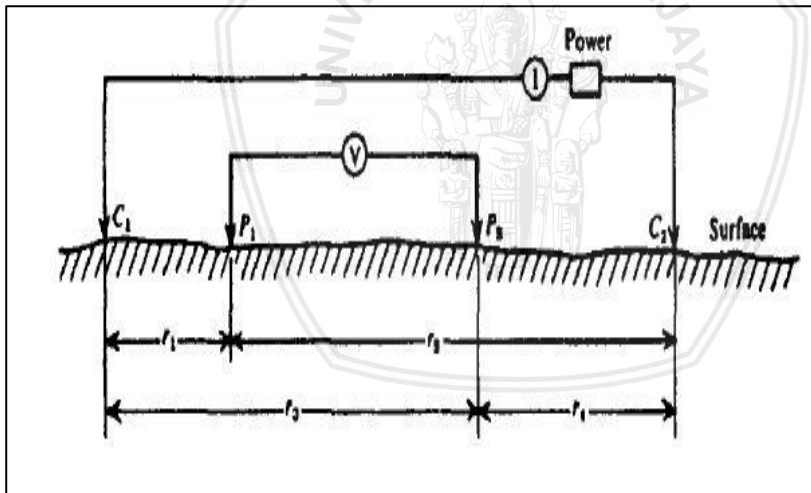
$$A = -\frac{I\rho}{2\pi}$$

sehingga, dalam kasus ini didapatkan nilai-nilai pada Persamaan 2.11. Garis ekipotensial membentuk setengah bola di bawah tanah dan ditunjukkan dalam Gambar 2.6.

$$V = \left(\frac{I\rho}{2\pi}\right) 1/r \text{ atau } \rho = \left(\frac{2\pi rV}{I}\right) \quad (2.11)$$

2.2.4 Dua Buah Elektroda Arus di Permukaan Bumi

Apabila jarak antar dua elektroda arus adalah terbatas (Gambar 2.7), maka potensial pada semua titik di dekat permukaan akan ditimbulkan oleh kedua elektroda arus.



Gambar 2.7. Dua elektroda arus di permukaan bumi (Telford, dkk., 1990)

seperti sebelumnya, potensial oleh C_1 pada P_1 adalah

$$V_1 = -\frac{A_1}{r_1} \text{ di mana } A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi}$$

karena arus pada kedua elektroda adalah sama dengan arah yang berlawanan, potensial oleh C_2 pada P_1 adalah

$$V_2 = -\frac{A_2}{r_2} \text{ di mana } A_2 = \frac{I\rho}{2\pi} = -A_1$$

sehingga didapatkan

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

dengan memasukkan elektroda potensial kedua pada P_2 , pengukuran perbedaan potensial antara P_1 dan P_2 bisa didapatkan, yaitu sesuai Persamaan 2.12.

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right) \quad (2.12)$$

2.3 Konfigurasi Elektroda Geolistrik

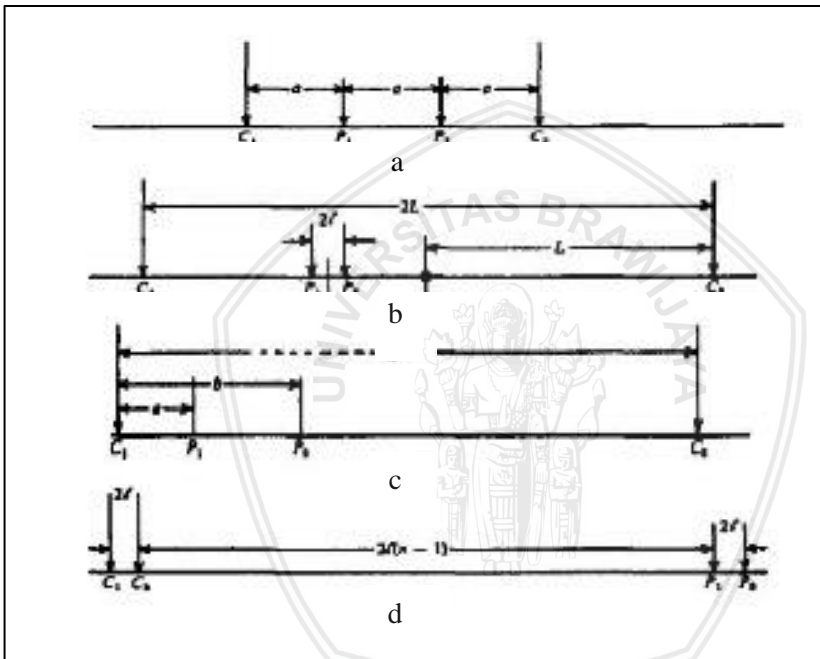
Penggunaan persebaran elektroda atau sering disebut dengan istilah konfigurasi pada metode geolistrik telah cukup banyak dikembangkan sampai saat ini. Prinsip utama yang perlu diperhatikan adalah persebaran elektroda sebaiknya berada dalam satu garis lintasan (linier), hal ini dimaksudkan untuk mempermudah pekerjaan pengambilan data serta interpretasinya. Biasanya, pekerjaan akuisisi geolistrik menerapkan pergerakan elektroda dan pembentangan kabel yang sangat panjang, apabila terdapat akuisisi menggunakan konfigurasi dengan pemindahan satu atau dua elektroda, serta jarak perpindahan yang kecil, hal itu merupakan sebuah keuntungan yang dapat diperoleh pada akuisisi geolistrik (Telford, dkk., 1990).

Sebelum mendiskusikan beberapa jenis persebaran elektroda (konfigurasi), terlebih dahulu perlu diketahui mengenai parameter sesungguhnya yang terukur pada rangkaian elektroda arus dan potensial. Persamaan 2.12 dapat diubah dalam bentuk lain sebagai berikut

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

$$\rho = \left(\frac{2\pi\Delta V}{I}\right) p \quad (2.13)$$

di mana,, ρ merupakan parameter yang menyatakan geometri elektroda.



Gambar 2.8. Konfigurasi geolistrik resistivitas (a) *Wenner*, (b) *Schlumberger*, (c) *Pole-dipole*, dan (d) *Dipole-dipole* (Telford, dkk., 1990).

Apabila diketahui konfigurasi elektroda serta nilai hasil pengukuran beda potensial dan arus, maka akan didapatkan nilai resistivitas. Pada medium homogen isotropis, nilai resistivitas tersebut akan konstan untuk semua jenis konfigurasi elektroda. Sedangkan, jika medium bersifat tidak homogen dan penggunaan elektroda yang

bervariasi, hasil nilai yang ditunjukkan akan berbeda pada setiap pengukuran resistivitas. Oleh sebab itu, hasil pengukuran akan selalu bergantung pada konfigurasi elektroda, nilai pengukuran tersebut dikenal dengan resistivitas semu. Nilai resistivitas semu tersebut bukanlah rata-rata dari nilai resistivitas sebenarnya. Nilai resistivitas semu hanya akan bernilai sama dengan nilai resistivitas sebenarnya pada medium homogen isotropis (Telford, dkk., 1990).

2.3.1 Konfigurasi *Wenner*

Konfigurasi *Wenner* merupakan sistem konfigurasi elektroda yang paling sering digunakan seperti ditampilkan pada Gambar 2.8a (Telford, dkk., 1990). Penggunaan konfigurasi ini adalah dengan peletakan jarak antar elektroda yang selalu sama dalam satu lintasan. Pengaturan jaraknya adalah $r_1 = r_4 = a$ dan $r_2 = r_3 = 2a$. Nilai resistivitas semu pada konfigurasi ini (Persamaan 2.14) adalah

$$\rho_a = 2\pi a \Delta V / I \quad (2.14)$$

Data lateral atau *mapping* adalah tujuan utama penggunaan konfigurasi ini. Jarak keempat elektroda tetap konstan ketika perpindahan dilakukan di sepanjang lintasan. Resistivitas semu pada konfigurasi ini diplot terhadap setiap pusat persebaran elektroda. (Telford, dkk., 1990).

2.3.2 Konfigurasi *Schlumberger*

Konfigurasi ini disusun dengan cara pemisahan elektroda arus yang lebih besar dari pada jarak antar elektroda potensial. Sesuai Gambar 2.8b (Telford, dkk., 1990), maka akan didapatkan

$$\begin{aligned} r_1 &= (L-x) - l \\ r_2 &= (L+x) + l \\ r_3 &= (L-x) + l \\ r_4 &= (L+x) - l \end{aligned}$$

dengan substitusi nilai-nilai tersebut dengan Persamaan 2.13, didapatkan Persamaan 2.15

$$\rho_a = \frac{2\pi\Delta V}{I} \left(\left(\frac{1}{(L-x)-l} - \frac{1}{(L+x)+l} \right) - \left(\frac{1}{(L-x)+l} - \frac{1}{(L+x)-l} \right) \right)^{-1} \quad (2.15)$$

Apabila jarak terkecil antar elektroda arus lebih besar dari jarak antara dua elektroda potensial dan $(L-x) \gg 3l$, maka akan didapatkan pendekatan pertama sebagai Persamaan 2.16a.

$$\rho_a \approx \frac{\pi (L^2 - x^2)^2}{2I (L^2 + x^2)^2} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (2.16a)$$

Konfigurasi ini sering digunakan secara simetris, di mana $x = 0$, sehingga didapatkan Persamaan 2.16b.

$$\rho_a \approx \frac{\pi L^2}{2I} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (2.16b)$$

Penggunaan simbol A , B , M , dan N sering digunakan untuk mengganti simbol C_1 , C_2 , P_1 , dan P_2 . Pada rumus ini, nilai $L = 1/2 AB$, dan $l = 1/2 MN$.

Prosedur yang dilakukan dalam pengukuran konfigurasi ini adalah posisi elektroda potensial yang selalu tetap, sedangkan jarak antar elektroda arus selalu bertambah secara simetris terhadap pusat lintasan. Apabila jarak L cukup jauh, maka penambahan jarak l dapat dilakukan untuk mendapatkan nilai pengukuran potensial yang lebih baik. Pengukuran ini lebih mudah daripada konfigurasi *Wenner*, karena hanya ada dua elektroda yang bergerak, selain itu, efek variasi resistivitas dangkal juga konstan terhadap elektroda potensial pada posisi tetap (Telford, dkk., 1990).

2.3.3 Konfigurasi *Pole-dipole*

Konfigurasi ini secara umum menggunakan susunan empat elektroda, tetapi salah satu elektroda arus diletakkan secara tetap pada jarak yang sangat jauh dari ketiga elektroda lainnya, hal ini diilustrasikan dalam Gambar 2.8c (Telford, dkk., 1990). Seluruh elektroda akan memiliki variasi jarak. Nilai-nilai yang didapatkan berdasarkan Persamaan 2.13 adalah

$$\begin{aligned} r_1 &= a \\ r_3 &= b \\ r_2 &= r_4 = \infty \end{aligned}$$

sehingga, didapatkan Persamaan 2.17.

$$\rho_a = \frac{2\pi ab}{b-a} \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (2.17)$$

Ketika $b = 2a$, maka Persamaan 2.18 adalah

$$\rho_a = 4\pi a \left(\frac{\Delta V}{I} \right) \quad (2.18)$$

Nilai yang didapatkan di atas, sama dengan dua kali nilai resistivitas pada konfigurasi *Wenner*. Ketika jarak antar elektroda potensial sangat kecil dibandingkan dengan jarak antar salah satu elektroda potensial terhadap C_1 , dapat ditulis $r_1 = a - \delta a/2$, $r_3 = a + \delta a/2$, sehingga nilai resistivitas semuanya menjadi Persamaan 2.19.

$$\rho_a = \frac{2\pi a^2}{I} \left(\frac{\partial V}{\partial a} \right) \quad (2.19)$$

Susunan ini ekuivalen dengan konfigurasi setengah *Schlumberger* (Telford, dkk., 1990).

2.3.4 Konfigurasi *Double Dipole (Dipole-dipole)*

Berdasarkan Gambar 2.8d, sistem peletakan elektroda pada konfigurasi ini adalah dua elektroda potensial diletakkan dengan jarak yang berdekatan dan keduanya berada jauh dengan dua elektroda arus, kedua elektroda arus juga diletakkan saling berdekatan (Telford, dkk., 1990). Berdasarkan Persamaan 2.13 didapatkan nilai-nilai sebagai berikut

$$\begin{aligned} r_1 = r_4 &= 2nl \\ r_2 &= 2l(n-1) \\ r_3 &= 2l(n+1) \text{ di mana } n \gg 1 \end{aligned}$$

sehingga didapatkan (Persamaan 2.20).

$$\rho_a = 2\pi(n-1)n(n+1)l\Delta V/I \quad (2.20)$$

Ketika n lebih kecil atau sama dengan 5, konfigurasi ini biasa digunakan dalam survei IP. Induksi antara kabel potensial dan arus berkurang melalui susunan ini. Apabila dua kutub dipisahkan secara jauh, $n \gg 1$, maka didapatkan Persamaan 2.21.

$$\rho_a = 2\pi n^2 l \Delta V / I \quad (2.21)$$

Pendekatan tersebut yang sering digunakan dalam survei resistivitas (Telford, dkk., 1990).

2.4 Pemodelan Inversi Kuadrat Terkecil

Data geofisika hasil pengukuran di lapangan selanjutnya perlu diolah untuk didapatkan nilai parameter fisiknya, dalam hal ini berupa nilai resistivitas atau tahanan jenis. Parameter fisis inilah yang dapat digunakan sebagai pendekatan dalam interpretasi dan analisis keadaan geologi atau keadaan di lapangan yang sesungguhnya. Pada pengukuran resistivitas di lapangan, data utama yang dihasilkan adalah berupa nilai resistansi, nilai ini kemudian dikalikan dengan faktor geometri dan menjadi nilai resistivitas semu.

Parameter resistivitas didapatkan dengan membuat sebuah model, di mana model tersebut memiliki respon yang sama atau hampir mendekati nilai pengukuran di lapangan sebenarnya. Sebuah model secara ideal merupakan representasi matematis dari bagian bumi. Dalam sebuah model terdapat beberapa parameter model yang berupa besaran fisis yang akan kita cari nilainya, berdasarkan data hasil observasi atau pengukuran di lapangan. Respon dari sebuah model adalah sebuah data sintesis yang dapat dihitung melalui persamaan atau model matematika yang mendefinisikan model tersebut berdasarkan parameter model lain yang telah diketahui. Pemodelan inversi pada dasarnya adalah mencoba untuk menentukan model bawah permukaan yang memiliki respon sama dengan hasil pengukuran. Parameter model yang akan dicari, dalam hal ini diwakili oleh nilai resistivitas sebenarnya, sedangkan datanya merupakan nilai resistivitas semu yang diperoleh dari hasil pengukuran (Loke, 2004).

Suatu parameter model awal biasanya dilakukan iterasi atau pengulangan perhitungan untuk memperkecil perbedaan nilai antara hasil observasi dengan respon model. Kumpulan data hasil observasi dapat dituliskan dalam sebuah kolom vektor y seperti Persamaan 2.22.

$$y = \text{col}(y_1, y_2, \dots, y_m) \quad (2.22)$$

di mana m merupakan jumlah pengukuran. Sedangkan respon model f dapat dituliskan dengan bentuk yang sama seperti di bawah ini (Persamaan 2.23).

$$f = \text{col}(f_1, f_2, \dots, f_m) \quad (2.23)$$

Berkaitan dengan masalah resistivitas, logaritma yang sering digunakan adalah logaritma dari nilai resistivitas semu untuk data hasil observasi dan respon model, serta logaritma nilai model sebagai parameter model. Parameter model dapat dituangkan dengan vektor q berikut (Persamaan 2.24).

$$q = \text{col}(q_1, q_2, \dots, q_n) \quad (2.24)$$

di mana n merupakan jumlah parameter model. Perbedaan antara nilai hasil observasi dengan respon model disajikan dengan vektor g seperti berikut (Persamaan 2.25).

$$g = y - f \quad (2.25)$$

Prinsip pada metode kuadrat terkecil adalah melakukan modifikasi terhadap model awal, sehingga penjumlahan total nilai kesalahan atau eror kuadrat dari perbedaan respon model dan data observasi dapat diminimalisasi, seperti dinyatakan dalam Persamaan 2.26.

$$E = g^t g \sum_{i=1}^n g_i^2 \quad (2.26)$$

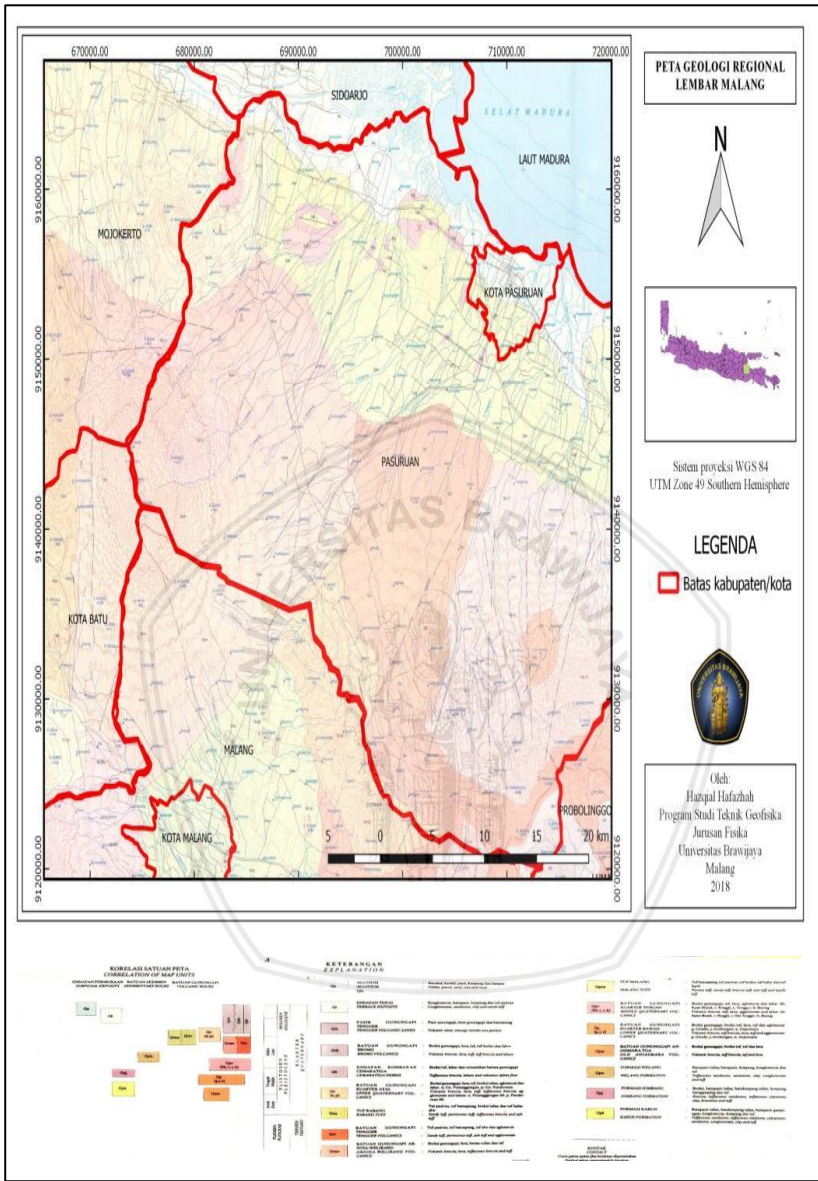
Reduksi nilai eror dilakukan dengan menggunakan persamaan Gauss-Newton untuk menentukan perubahan pada parameter model yang seharusnya dapat menurunkan jumlah eror kuadrat. Persamaan tersebut, selanjutnya banyak mengalami modifikasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik pada masalah-masalah tertentu dalam pembuatan sebuah model (Loke, 2004). Secara umum, penggunaan inversi menggunakan logaritma berdasarkan nilai

resistivitas semu sebagai parameter lebih sering digunakan, karena dalam banyak kasus memberikan hasil yang sangat baik pada pengolahan data di *software RES2DINV* (Loke, 2001).

2.5 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Secara administrasi daerah penelitian berada di Kecamatan Lawang, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Daerah ini berbatasan dengan Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang di bagian Selatan, serta Kecamatan Purwodadi, Kabupaten Pasuruan di sebelah Utara. Daerah ini juga diapit oleh dua gunung, yaitu Komplek Gunung Arjuno-Welirang di bagian Barat dan Komplek Pegunungan Bromo-Tengger-Semeru di sebelah Timur.

Secara fisiografi, Kecamatan Lawang terletak di Zona Solo, yang merupakan pusat depresi Jawa yang kemudian ditumpangi oleh busur gunungapi kuartar di atasnya, seperti Gunung Kelud, Gn. Kawi, Gn. Buthak, Gn. Anjasmara, Gn. Arjuno-Welirang, Komplek Tengger-Semeru, dan Komplek Ijen (Bemmelen, 1949). Urutan stratigrafi daerah penelitian berdasarkan peta geologi Lembar Malang pada Gambar 2.9 dimulai dari Batuan Gunungapi Anjasmara Tua (Qpat) sebagai alas, kemudian diikuti oleh satuan Batuan gunungapi Kuartar Bawah (Qpg) dari sistem vulkanik Gn. Gendis dengan umur plistosen tengah, di atasnya terdapat satuan Batuan gunungapi Tengger (Qvt) dan Batuan gunungapi Arjuno-Welirang (Qvaw) berumur plistosen akhir, dan satuan teratas adalah Tuf Malang (Qvm) berumur plistosen akhir hingga holosen. Satuan Gunungapi Anjasmara Tua tersusun oleh batuan breksi gunungapi breksi tuf, tuf, dan lava. Satuan Batuan gunungapi Kuartar Bawah terdiri dari beberapa batuan antara lain breksi gunungapi, breksi tuf, lava, tuf, dan aglomerat. Endapan tuf pasir, tuf batuapung, tuf abu, dan aglomerat menyusun Satuan Batuan gunungapi Tengger. Satuan batuan gunungapi Arjuno-Welirang terdiri dari breksi gunungapi, breksi tuf, tuf, dan lava, dan terakhir adalah batuan penyusun satuan Tuf Malang yang berupa tuf batuapung, tuf pasir, tuf breksi, tuf halus, dan tuf lapilli (Santoso dan Suwanti, 1992).



Gambar 2.9. Peta geologi Lembar Malang dimodifikasi dari Santoso dan Suwarti (1992).

(halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dimulai dengan pengambilan data pada tanggal 4-11 Agustus 2018 di area proyek tol Pandaan-Malang (STA 20+000 - STA 20+500), sedangkan pengolahan dan analisis data serta penulisan laporan dilaksanakan sejak tanggal 12 Agustus sampai 12 Oktober 2018 di Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, Universitas Brawijaya, Malang.

3.2 Materi Penelitian

Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan beberapa peralatan atau perangkat keras (Gambar 3.1) serta perangkat lunak (*software*) pengolah data. Perangkat keras yang digunakan saat akuisisi data geolistrik resistivitas ini adalah

- Alat *Resistivitymeter McOhm EL-OYO Model 2110* (1 buah)
- Kabel rol 150 m (4 buah)
- Elektroda (4 buah)
- *Handy Talky* (5 buah)
- Alat navigasi GPS (1 buah)
- Aki (1 buah)
- Meteran 200 m (1 buah)
- Palu (4 buah)

Perangkat lunak yang digunakan antara lain: *QGIS*, *Mapsource*, *Google Earth*, *Microsoft Excell*, *RES2DINV*, dan *Oasis Montaj*. Perangkat lunak atau *software* tersebut digunakan untuk mengolah data-data hasil pengukuran di lapangan. Adapun data-data hasil pengukuran di lapangan adalah

- Data beda potensial (mV) dan resistansi batuan (ohm) hasil pembacaan alat *resistivitymeter* untuk delapan lintasan, yaitu Lintasan 1 hingga Lintasan 8.
- Data posisi atau koordinat dan ketinggian titik-titik elektroda menggunakan datum WGS 1984 dan sistem proyeksi *Universal Tranverse Mecrator (UTM)* dalam satuan meter hasil perekaman alat navigasi GPS.

- Data geologi primer berupa sampel batuan di area penelitian dan data geologi sekunder berupa peta geologi regional Lembar Malang.
- Data peta citra satelit dari *Google Earth* digunakan untuk analisis dan rekonstruksi pemanfaatan lahan pada area penelitian dari waktu ke waktu sejak tahun 2016 hingga 2018.



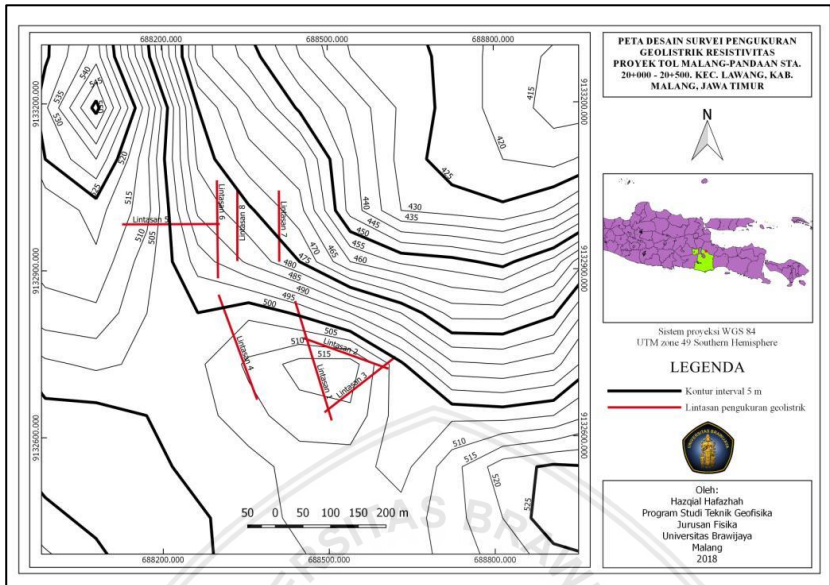
Gambar 3.1. Perangkat keras penelitian geolistrik resistivitas.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur yang digunakan dalam penelitian ini meliputi akuisisi, pengolahan, dan interpretasi atau analisis data. Adapun diagram alir penelitian ini ditampilkan pada Gambar 3.3.

3.3.1 Akuisisi Data

Akuisisi atau pengambilan data dilaksanakan sesuai desain survei yang telah dibuat (Gambar 3.2). Pengambilan data dalam penelitian ini menggunakan alat geolistrik dengan konfigurasi *Wenner*, jumlah lintasan yang digunakan adalah sebanyak delapan lintasan dengan panjang bervariasi, masing-masing adalah lintasan L1 (240 m), L2 (150 m), L3 (150 m), L4 (200 m), L5 (200 m), L6 (200 m), L7 (150 m), dan L8 (150 m). Berdasarkan arahnya, lintasan L1 dan L4 berarah Barat Laut-Tenggara, L5, L7, dan L8 berarah Utara-Selatan, Lintasan 2 dan 6 cenderung berarah Barat-Timur, sedangkan L3 memiliki arah Timur Laut-Barat Daya.



Gambar 3.2. Peta lokasi dan desain survei lintasan pengukuran di area proyek pembangunan jalan tol.

Pengukuran diawali dengan mencatat titik-titik posisi elektroda menggunakan alat GPS. Selanjutnya, kabel-kabel dihubungkan dari aki menuju ke alat *resistivitymeter* dan dari alat tersebut dihubungkan lagi ke empat buah elektroda, masing-masing adalah dua buah elektroda arus dan dua buah elektroda potensial. Jarak awal antar elektroda serta jarak perpindahan elektroda adalah 10 m. Arus yang dialirkan dari alat *resistivitymeter* menuju tanah sebesar 20 mA. Setelah arus diinjeksi, beda potensial pada setiap titik pengukuran akan terukur dan secara otomatis nilai resistansi dihitung oleh alat. Didapatkan empat kali hasil pembacaan nilai resistansi, nilai resistansi tersebut dicatat kemudian digunakan sebagai data dalam pengolahan.

3.3.2 Pengolahan Data

Data hasil akuisisi berupa nilai resistansi diolah menggunakan *software Microsoft Excel* untuk didapatkan nilai faktor geometri dan resistivitas semu. Data tersebut, selanjutnya menjadi *input* atau masukan dalam *software* inversi *RES2DINV* bersama dengan data koordinat yang telah dicatat pada alat GPS, sehingga didapatkan

model penampang dua dimensi dan data resistivitas sebenarnya. Inversi dilakukan dengan metode kuadrat terkecil atau *least square inversion*. Seluruh data hasil inversi dua dimensi setiap lintasan dikorelasikan dengan menggunakan *software Oasis Montaj* untuk diperoleh penampang tiga dimensi dengan cara interpolasi menggunakan teknik *kriging*. Sedangkan untuk data geologi dan citra satelit hanya digunakan sebagai data pendukung dan tidak dilakukan pengolahan lebih lanjut, karena data yang tersedia sudah siap untuk dianalisis.

3.3.3 Interpretasi Data

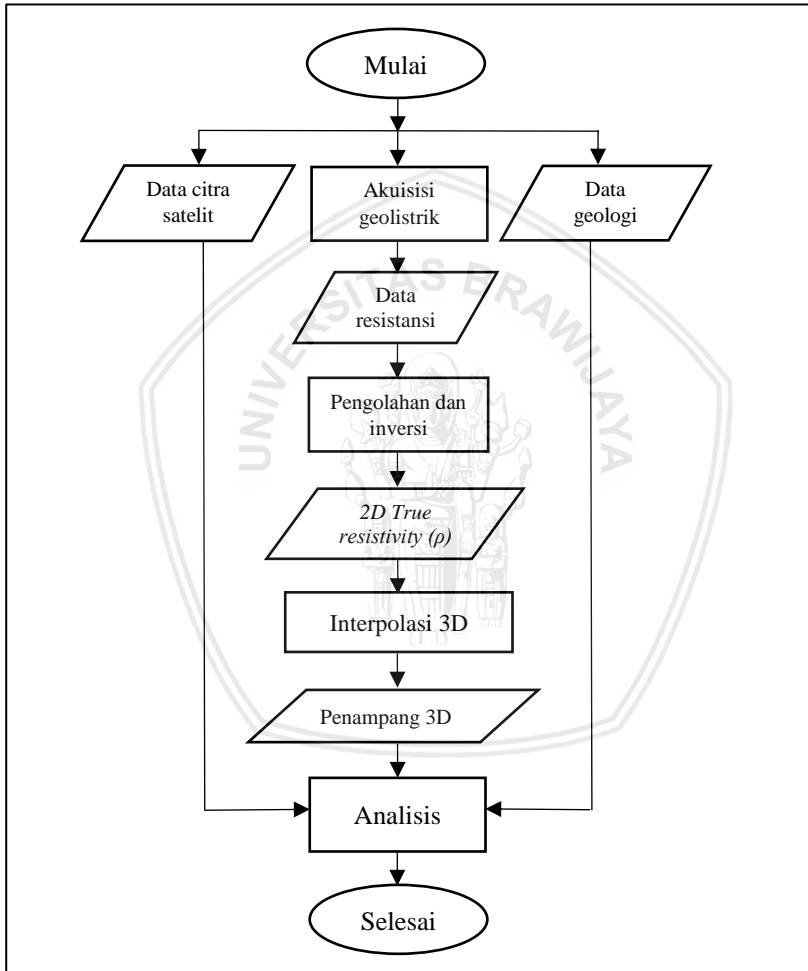
Interpretasi dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Interpretasi kualitatif didasarkan pada perbedaan warna yang ditunjukkan oleh model penampang dua dimensi untuk menunjukkan variasi jenis batuan dilihat dari tinggi dan rendahnya nilai resistivitas. Selain itu, juga diinterpretasikan mengenai kecenderungan arah lapisan serta struktur geologi yang mungkin terdapat pada area penelitian. Interpretasi kuantitatif didasarkan pada nilai resistivitas yang dicocokkan dengan data literatur maupun data geologi di lapangan untuk menentukan jenis-jenis batuan bawah permukaan. Penentuan batuan yang berperan sebagai bidang gelincir dapat diketahui dari analisis tersebut. Selanjutnya, perkiraan potensi tanah longsor juga dianalisis berdasarkan derajat kemiringan batuan bidang gelincir.

Interpretasi geologi dan analisis citra satelit juga digunakan untuk mendukung interpretasi geofisika. Interpretasi geologi yang digunakan adalah dari studi literatur mengenai daerah penelitian terutama pada bagian stratigrafi berdasarkan peta geologi regional. Hasil deskripsi dari sampel batuan yang diambil di area penelitian juga menjadi salah satu bagian penting dalam bagian interpretasi data, karena keluaran dari data geofisika adalah membentuk sebuah model geologi. Selanjutnya, interpretasi citra satelit digunakan untuk analisis pemanfaatan lahan di area penelitian dari waktu ke waktu (rekonstruksi). Interpretasi ini dapat membantu analisis nilai resistivitas dua dimensi pada interpretasi kuantitatif, karena dari citra satelit dapat diketahui bahwa lintasan pengukuran dahulunya apakah merupakan dataran kemudian berubah menjadi urukan, perbukitan

berubah menjadi lereng hasil galian, atau dahulu berupa pemukiman dan persawahan kemudian telah berubah fungsi lahannya.

3.3.4 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ini ditampilkan dalam Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

(halaman ini sengaja dikosongkan

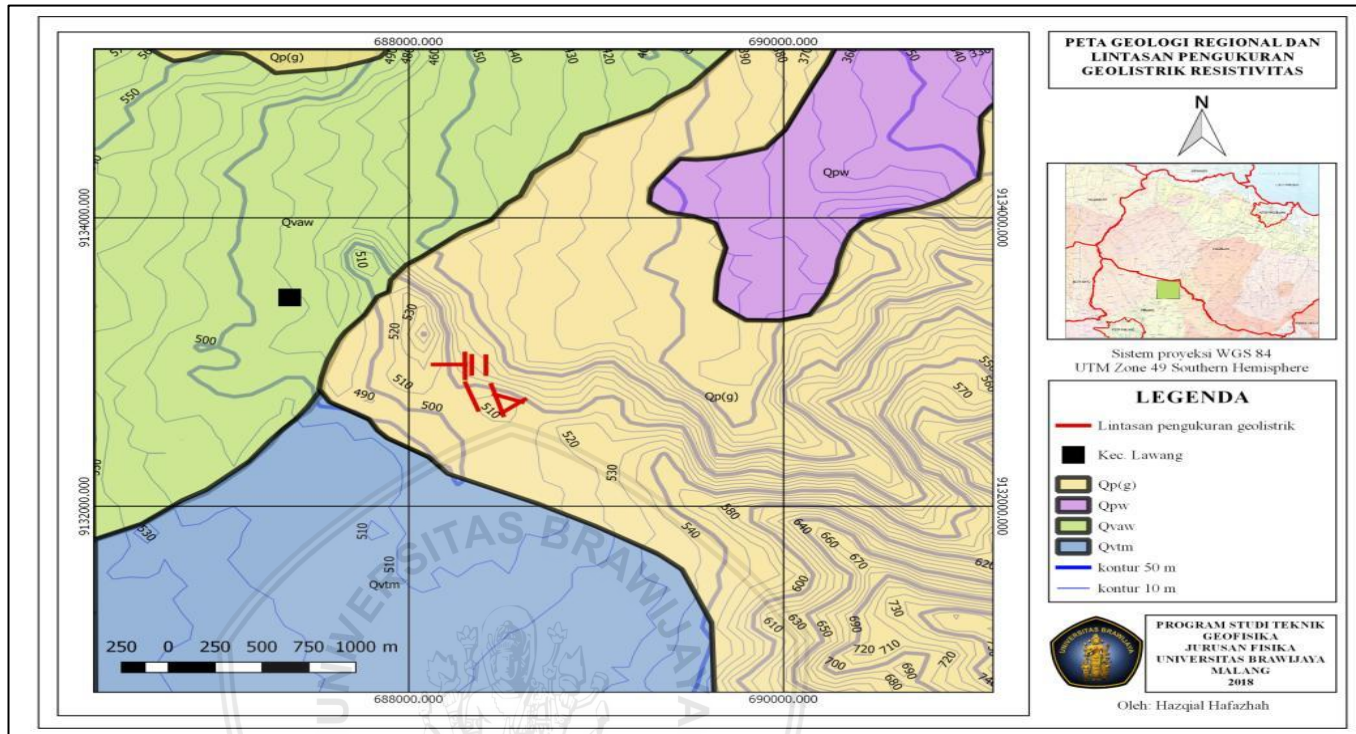


BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Geologi dan Citra Satelit

Secara geologi lokasi penelitian berada pada Satuan gunungapi Kuarter Bawah (Qpg), di mana batuan tersebut tersusun atas breksi vulkanik, breksi tuf, tuf, lava, dan aglomerat (Gambar 4.1). Batuan-batuan ini dimungkinkan berasal dari sisa aktivitas vulkanik lama Gunung Gendis pada masa plistosen tengah sekitar 1,8 juta tahun yang lalu. Lokasi lintasan pengukuran data secara umum berada pada sebuah tinggian yaitu berupa bukit yang tidak terlalu luas. Bukit tersebut tampak sebagai salah satu bagian yang terpih dari barisan bukit yang memanjang ke arah Timur menuju kompleks Pegunungan Bromo-Tenger-Semeru.

Bukit ini diduga sebagai sebuah intrusi dari sisa aktifitas vulkanis Tengger Tua, di mana pergerakan magma bergerak cenderung ke arah Barat dari pusat gunung di sebelah Timur daerah penelitian. Hal ini didukung oleh keberadaan satuan batuan yang sama berbentuk bukit yang menjulang cukup tinggi namun berada di sebelah Barat Laut lokasi penelitian yang telah berbeda satuan batuanya, yaitu batuan Gunungapi Arjuno-Welirang (Peta geologi Lembar Malang pada Gambar 2.9). Sehingga, diperkirakan endapan batuan hasil proses vulkanis Arjuno-Welirang yang berusia lebih muda terintrusi oleh sisa magma satuan batuan kuarter tengah di bawahnya. Kemudian, keadaan morfologi lokasi penelitian dengan daerah di bagian Utara dan Selatan juga cukup kontras. Bagian Utara dan Selatan lebih rendah dan berupa dataran yang dimanfaatkan sebagai area persawahan. Selain itu, akibat keberadaan proyek jalan tol yang melaksanakan aktifitas penggalian bukit di lokasi penelitian tersebut, ditemukan singkapan batuan yang sangat keras dan cukup besar dibandingkan batuan di sekitarnya.



Gambar 4.2. Lokasi pengukuran pada Peta Geologi Lembar Malang, modifikasi dari Santoso dan Suwarti (1992).

Berdasarkan hasil analisis dan identifikasi terhadap sampel pecahan batuan keras yang diambil dari lokasi penelitian (Gambar 4.3), sampel batuan ini memiliki tekstur masif dengan kristal kasar dan tampak oleh mata secara langsung, warna yang dimiliki oleh batuan ini adalah abu-abu, karena terdapat banyak mineral berwarna putih dan hitam tersebar secara merata, mineral-mineral tersebut antara lain berupa kuarsa, piroksen, plagioklas, dan lain-lain. Sesuai ciri-ciri tersebut, dapat diketahui bahwa batuan tersebut adalah batuan beku dalam (plutonik) dengan sifat magma asam hingga basa (*andesite basaltic*), sehingga batuan tersebut dimungkinkan bernama diorit. Dengan demikian, keberadaan batuan diorit ini memperkuat pendugaan adanya batuan intrusi atau terobosan pada daerah penelitian, di mana batuan diorit tersebut berperan sebagai batuan penerobos itu sendiri.



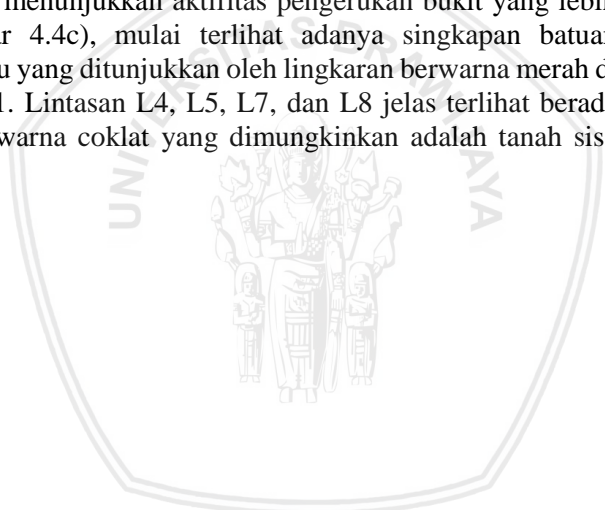
Gambar 4.3. Sampel batuan dari area pengukuran yang diidentifikasi sebagai batuan diorit.

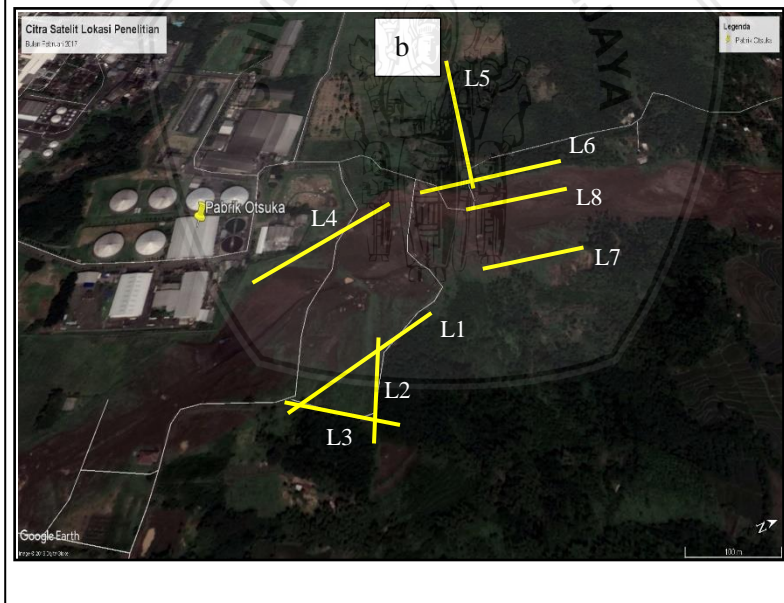
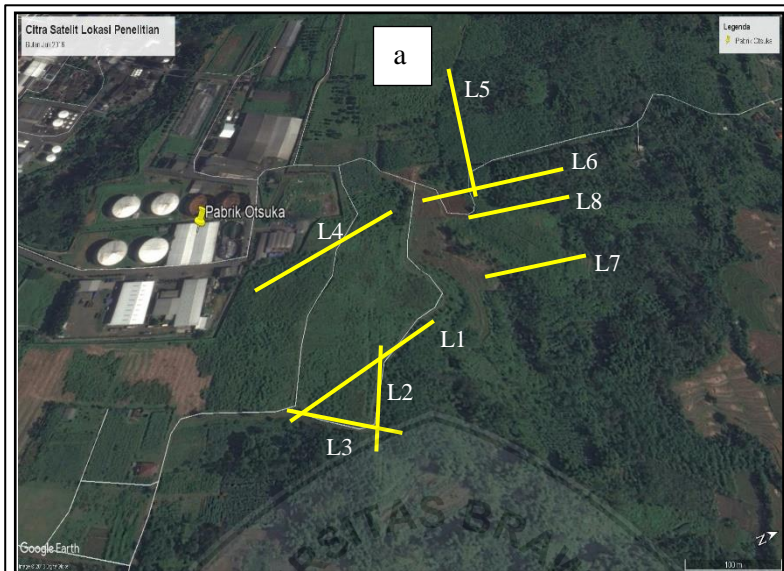
Analisis terhadap data citra satelit *Google Earth* dilakukan untuk merekonstruksi pemanfaatan lahan di daerah penelitian dari tahun 2016 hingga 2018. Rentang waktu tersebut digunakan untuk mengetahui pemanfaatan lahan sebelum dan sesudah dimulainya proyek pembuatan jalan Tol Pandaan-Malang. Hasil citra satelit dapat dilihat pada Gambar 4.3a-d, secara berurutan masing-masing menunjukkan citra yang diambil pada bulan Juli tahun 2016, Februari 2017, September 2017, dan terakhir adalah Mei 2018. Di dalam

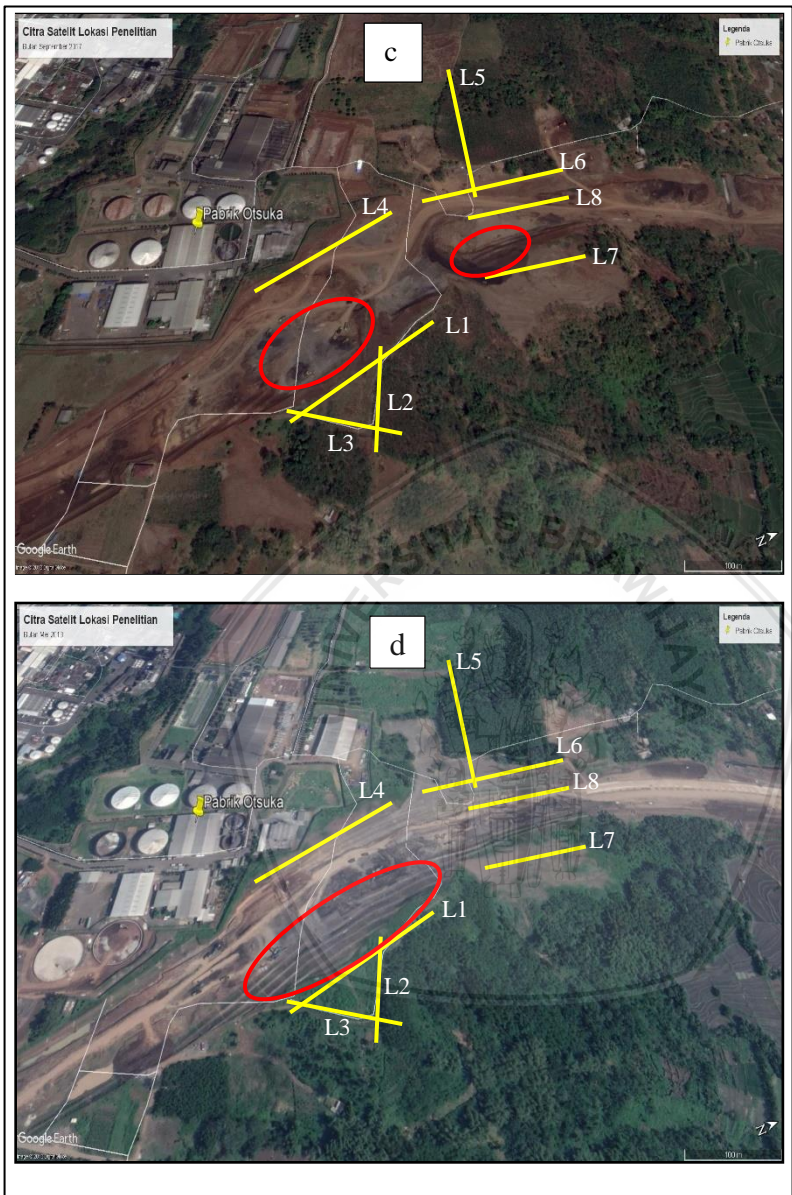
repository.ub.ac.id

gambar tersebut juga ditampilkan desain lintasan pengukuran untuk mengetahui keadaan permukaan pada waktu sebelum dan saat awal dilakukan pengukuran. Hal ini dapat digunakan untuk membantu interpretasi dan analisis lebih lanjut pada data resistivitas dua dimensi.

Hasil citra satelit pada Bulan Juli tahun 2016 (Gambar 4.4a) menunjukkan bahwa daerah penelitian saat itu berupa lahan hijau, di mana terdapat pepohonan dan ladang yang dimungkinkan sebagai tempat bercocok tanam. Lokasi penelitian berada tepat di sebelah pabrik yang telah berdiri sebelumnya. Kemudian, hasil citra satelit pada bulan Februari tahun 2017 menunjukkan mulai adanya aktifitas pengerukan, lahan hijau mulai berkurang dan terlihat jelas rencana jalur tol yang ditunjukkan oleh galian serta timbunan tanah berwarna cokelat (Gambar 4.4b). Saat itu, area yang nantinya akan menjadi lokasi lintasan pengukuran mulai terbentuk. Citra satelit pada Bulan September 2017 menunjukkan aktifitas pengerukan bukit yang lebih intensif (Gambar 4.4c), mulai terlihat adanya singkapan batuan berwarna abu-abu yang ditunjukkan oleh lingkaran berwarna merah di bawah lintasan L1. Lintasan L4, L5, L7, dan L8 jelas terlihat berada pada daerah berwarna coklat yang dimungkinkan adalah tanah sisa hasil kerukan.







Gambar 4.4. Peta citra satelit yang diambil pada: (a) Juli 2016, (b) Februari 2017, (c) September 2017 dan (d) Mei 2018.

Area lain pada daerah penelitian tersebut juga mulai mengalami pengurangan lahan hijau, hal ini dapat disebabkan karena aktifitas pengerukan memerlukan akses-akses untuk jalur keluar masuk kendaraan-kendaraan pengangkut material. Terakhir yaitu citra satelit pada Bulan Mei tahun 2018, kondisi yang ditunjukkan pada Gambar 4.4d sudah hampir menyerupai keadaan pada saat pengukuran data geolistrik pada Bulan Agustus 2018 atau hanya berselang tiga bulan setelahnya. Lintasan L1, L2, dan L3 berada di tebing sebelah Timur dengan ketinggian hingga 30 m, ketiga lintasan tersebut terlihat berada di atas batuan yang diduga sebagai intrusi diorit (ditunjukkan oleh lingkaran merah) dan masih berada pada area yang sejak awal adalah lahan hijau, dengan kata lain lahan pada ketiga lintasan ini tidak banyak terdampak oleh aktifitas pengerukan.

Lintasan L4 dan L5 berada di sebelah barat lereng galian, area ini awalnya berupa lahan hijau namun sepertinya terdampak oleh aktifitas pengerukan dan penimbunan material, sedangkan lintasan L6 yang berarah Timur-Barat dan juga terletak di sisi barat lereng galian ini tidak banyak mengalami perubahan pemanfaatan lahan kecuali di sebagian kecil area yang berpotongan dengan L5. Hal ini dikarenakan L6 adalah lintasan yang berada di bukit dan sangat kecil kemungkinannya untuk digunakan sebagai akses kendaraan, ujung barat L6 berada di puncak bukit sedangkan ujung timur lintasan ini berada di tepi lereng galian, sehingga lintasan L6 memiliki kemiringan beberapa derajat ke arah Timur. Lintasan L7 berada di bagian timur galian sekaligus berada di utara lintasan L1, L2, dan L3, namun ketinggian lereng pada L7 ini hanya sekitar 10 meter.

Berdasarkan citra satelit pertama pada Bulan Juli 2016, area pada lintasan ini dimungkinkan masih berupa bukit dan memiliki ketinggian yang sama dengan area lintasan L1, L2, dan L3, namun pada citra satelit ketiga di Bulan Februari 2017 terlihat area ini mengalami pengerukan, saat pengukuran geolistrik dilaksanakan, lahan di area lintasan L7 ini dimungkinkan sebagai dataran sisa hasil kerukan dan timbunan. Lintasan L8 adalah satu-satunya lintasan yang tidak berada di atas lereng, lintasan ini berada tepat di atas pondasi jalan tol dan pengukuran dilakukan tepat di sisi perkerasan jalan. Area ini awalnya adalah lahan hijau dan dimungkinkan bagian dari bukit yang diduga adalah sebuah intrusi. Sehingga, lintasan ini berada di bagian terdalam dari kerukan bukit.

4.2 Interpretasi Model Resistivitas Dua Dimensi

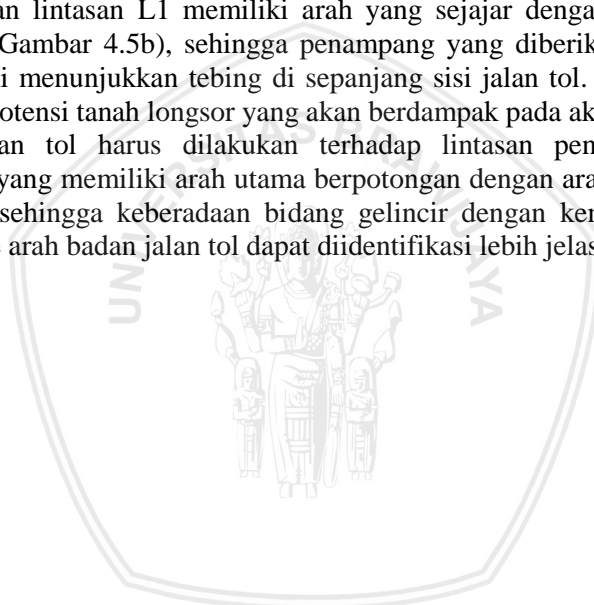
Berdasarkan hasil pengolahan menggunakan metode inversi dua dimensi pada *software RES2DINV*, didapatkan nilai resistivitas yang sebenarnya untuk seluruh lintasan pengukuran. Model inversi ditampilkan melalui dua cara yaitu tanpa efek topografi dan dengan efek topografi. Model tanpa efek topografi menampilkan penampang dua dimensi sebaran nilai resistivitas dengan sumbu x berupa koordinat (lintang/bujur) dan sumbu y adalah elevasi atau letak ketinggian data, permukaan tanah pada model ini dianggap datar (mengabaikan efek topografi). Sedangkan model dengan efek topografi menunjukkan adanya variasi ketinggian pada permukaan tanah sesuai dengan keadaan sebenarnya di daerah penelitian. Secara umum, interpretasi mengenai nilai resistivitas akan digolongkan menjadi tiga rentang nilai yaitu nilai resistivitas rendah, sedang dan tinggi.

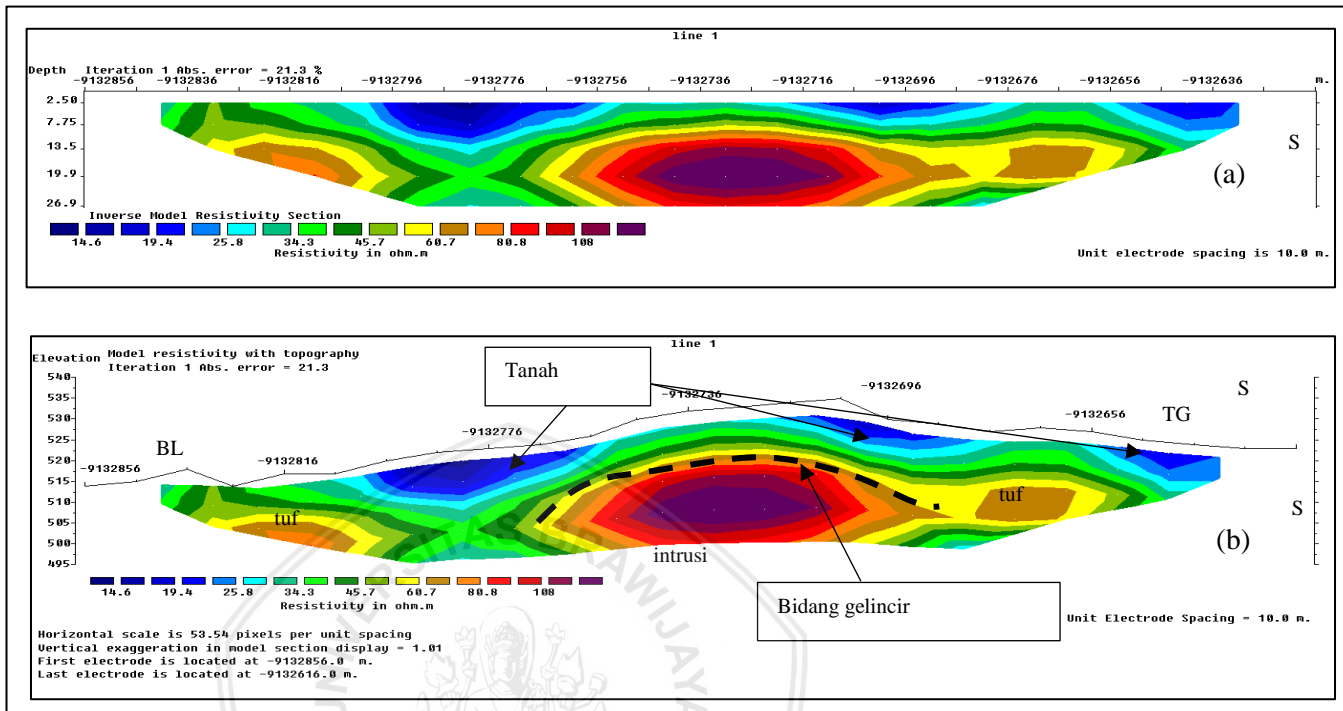
Lintasan L1 merupakan lintasan dengan panjang 240 m, lintasan ini terletak di atas batuan yang diduga sebagai intrusi, oleh karena itu dibuat lintasan yang panjang untuk memetakan secara lateral geometri batuan intrusi tersebut dari atas permukaan tanah. Hasil inversi dua dimensi menunjukkan bahwa nilai resistivitas pada lintasan ini berkisar antara 14,6 hingga 108 Ωm . Nilai ini dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu resistivitas rendah bernilai 0-30 Ωm ditandai oleh warna biru tua hingga muda, resistivitas sedang bernilai 31-100 Ωm ditandai oleh warna hijau hingga cokelat dan resistivitas tinggi bernilai di atas 100 Ωm .

Nilai resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai tanah karena dianggap memiliki kandungan air yang banyak sehingga bersifat konduktif. Interpretasi ini didukung oleh keadaan di lapangan, di mana tanah di sekitar area pengukuran banyak dimanfaatkan untuk lahan perkebunan dan banyak tanaman tumbuh di area ini. Nilai resistivitas sedang diinterpretasikan sebagai tuf sesuai dengan literatur stratigrafi geologi regional daerah penelitian. Sedangkan, nilai resistivitas tinggi diinterpretasikan sebagai batuan intrusi atau batuan beku karena memiliki nilai resistivitas yang cukup tinggi dan menandai kurangnya kandungan air pada batuan. Karena sifatnya yang tidak dapat menampung air, batuan ini dapat dianggap sebagai batuan impermeabel dan berperan sebagai bidang gelincir. Batas bidang gelincir dengan batuan atau tanah di atasnya dapat dilihat pada

keterangan di Gambar 4.5a. Struktur yang dapat diinterpretasi berdasarkan penampang resistivitas dua dimensi ini adalah adanya endapan tuf yang berarah Barat Laut-Tenggara, terdapat intrusi batuan yang diduga sebagai diorit menerobos batuan tuf ini. Lapisan teratas berupa tanah yang menyimpan air, tanah ini dapat berasal dari hasil pelapukan permukaan tuf yang bertemu dengan lingkungan luar seperti angin atau air hujan secara langsung, sehingga mengalami pelapukan yang sangat masif.

Analisis potensi tanah longsor berdasarkan penampang dua dimensi nilai resistivitas di lintasan L1 ini belum dapat dilakukan meskipun batuan bidang gelincir telah teridentifikasi, hal tersebut dikarenakan lintasan L1 memiliki arah yang sejajar dengan badan jalan tol (Gambar 4.5b), sehingga penampang yang diberikan pada lintasan ini menunjukkan tebing di sepanjang sisi jalan tol. Analisis terhadap potensi tanah longsor yang akan berdampak pada aktifitas di badan jalan tol harus dilakukan terhadap lintasan pengukuran geolistrik yang memiliki arah utama berpotongan dengan arah utama jalan tol, sehingga keberadaan bidang gelincir dengan kemiringan tertentu ke arah badan jalan tol dapat diidentifikasi lebih jelas.



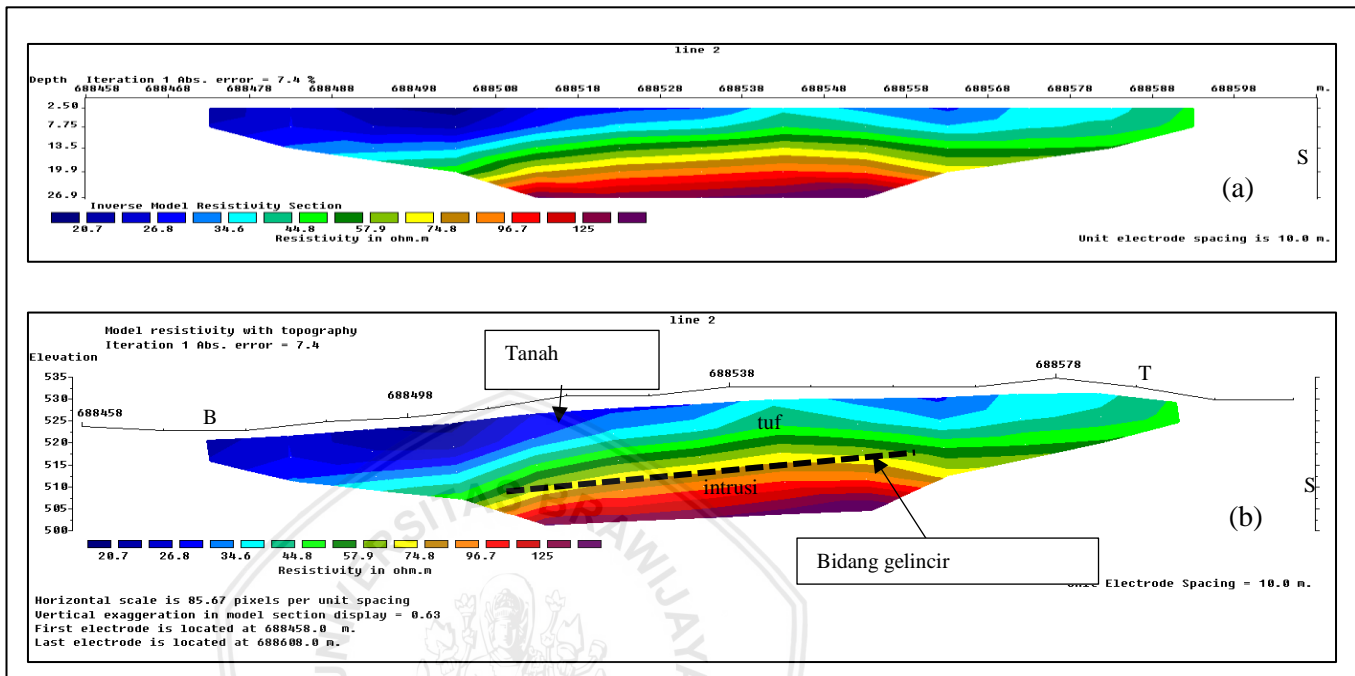


Gambar 4.5. Penampang dua dimensi lintasan L1 hasil inversi (a) tanpa efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.

Lintasan L2 berada di area yang sama dengan lintasan L1, yaitu di atas tebing tertinggi tempat tersingkapnya batuan intrusi. Lintasan L2 cenderung berarah Barat-Timur dengan panjang 150 m dan sedikit berpotongan dengan lintasan L1 pada bagian barat lintasan di sekitar tepi tebing. Hasil inversi dua dimensi menunjukkan variasi nilai resistivitas di lintasan ini berkisar antara 20,7 hingga 125 Ωm . Nilai tersebut dikelompokkan menjadi tiga, yaitu nilai resistivitas rendah dengan rentang 0-30 Ωm ditunjukkan oleh warna biru tua hingga biru muda, nilai resistivitas sedang memiliki nilai 31-100 Ωm secara umum ditunjukkan oleh warna hijau hingga *orange*, dan nilai resistivitas tinggi yaitu di atas 100 Ωm ditunjukkan oleh warna merah hingga ungu (Gambar 4.6a).

Sama halnya dengan lintasan L1, resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai tanah lapuk tempat tumbuhnya beberapa jenis tumbuhan di area tersebut. Nilai resistivitas sedang juga merupakan sebuah endapan tuf dari sisa aktifitas vulkanik tua di daerah tersebut. Batuan intrusi masih dijumpai pada penampang ini sebagai interpretasi dari nilai resistivitas tinggi. Struktur perlapisan batuan bawah permukaan pada lintasan ini terlihat sangat jelas, di mana batuan intrusi berarah Barat-Timur di bagian paling bawah menopang endapan tuf yang juga memiliki arah yang sama, begitu juga dengan lapisan tanah lapuk pada bagian paling atas. Keseluruhan lapisan tersebut memiliki kemiringan yang sesuai dengan topografi permukaan ke arah barat, ditandai dengan tinggian di bagian timur dan berangsur turun ke arah barat.

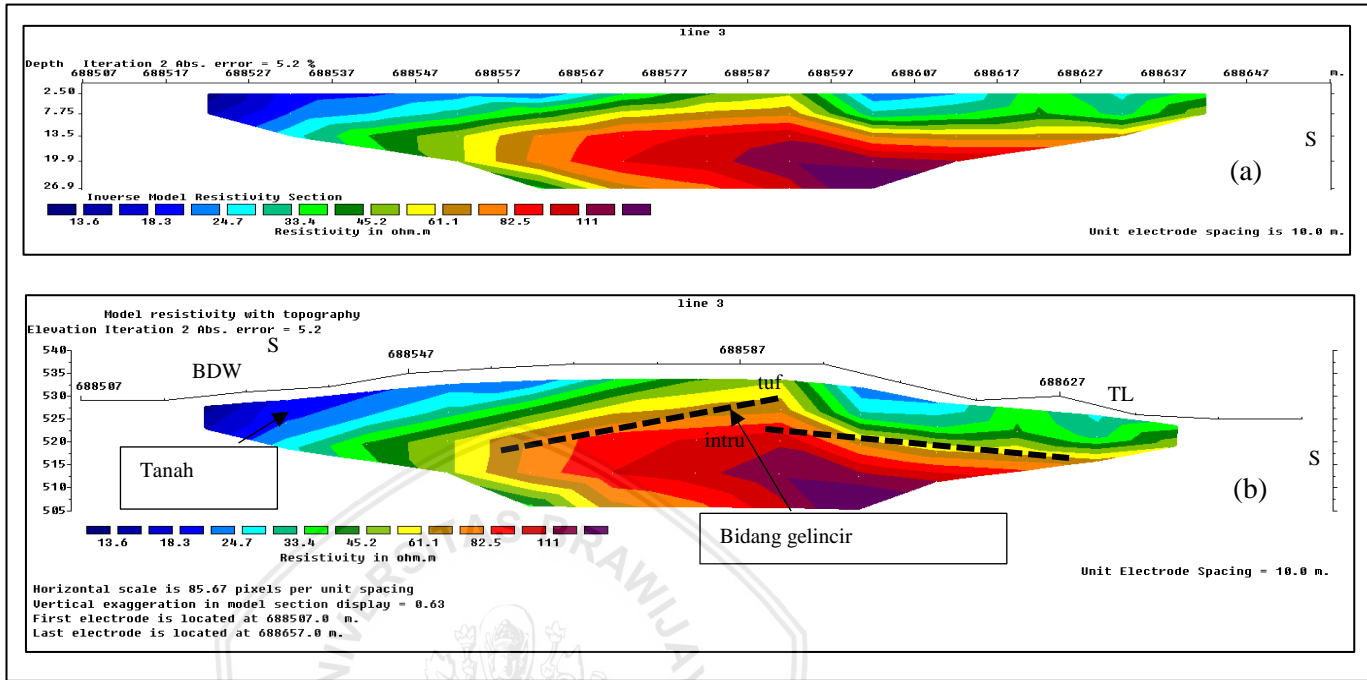
Analisis kemiringan lapisan batuan pada lintasan ini menunjukkan potensi tanah longsor, ditandai dengan arah kemiringan bidang gelincir ke arah Barat atau menuju badan jalan tol. Bagian terbawah bidang gelincir ini berada pada ketinggian 505 m di atas permukaan air laut (mdpl) sedangkan bagian tertinggi berada pada ketinggian 520 mdpl. Batas batuan bidang gelincir dengan batuan di atasnya dapat dilihat pada Gambar 4.6b.



Gambar 4.6. Penampang dua dimensi lintasan L2 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.

Lintasan L3 masih berada di area yang sama dengan lintasan L1 dan L2 di atas tebing batuan intrusi. Lintasan L3 memiliki arah Barat Daya-Timur Laut dengan panjang 150 m. Lintasan ini sedikit berpotongan dengan lintasan L1 pada bagian barat serta berpotongan dengan lintasan L2 di bagian tengah lintasan. Hasil inversi dua dimensi menunjukkan rentang nilai resistivitas di lintasan ini berkisar antara 13,6 hingga 111 Ωm . Nilai-nilai tersebut dikelompokkan menjadi tiga, yaitu nilai resistivitas rendah dengan rentang nilai 0-30 Ωm ditunjukkan oleh warna biru tua hingga biru muda, nilai resistivitas sedang memiliki nilai 31-100 Ωm ditunjukkan oleh warna hijau hingga *orange*, dan nilai resistivitas tinggi yaitu di atas 100 Ωm ditunjukkan oleh warna merah hingga ungu.

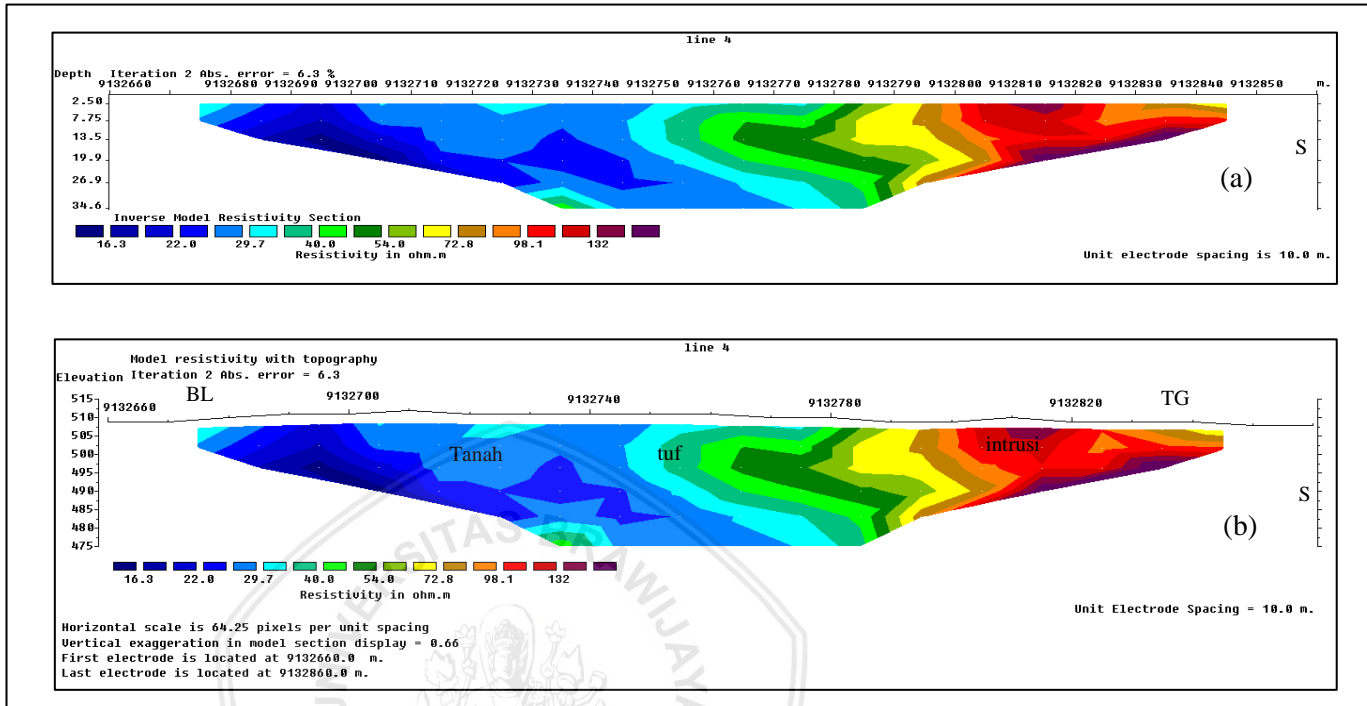
Nilai resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai tanah lapuk. Endapan tuf masih dijumpai di lintasan ini ditandai oleh nilai resistivitas sedang walaupun hanya sedikit. Batuan intrusi menjadi batuan yang dominan mengisi penampang ini dan masih diinterpretasikan berdasarkan nilai resistivitas kategori tinggi. Struktur batuan bawah permukaan pada lintasan L3 didominasi oleh intrusi berarah Barat Daya-Timur Laut di bagian paling bawah diikuti endapan tuf dengan di atasnya, tanah lapuk pada bagian paling atas (Gambar 4.7a). Topografi batuan bawah permukaan masih mengikuti topografi permukaan yaitu memiliki puncak di tengah lintasan dan mulai melandai ke kedua sisinya atau ke Barat Daya dan Timur Laut. Analisis kemiringan lapisan batuan bawah permukaan pada lintasan ini menunjukkan keberadaan potensi tanah longsor, terdapat kemiringan bidang gelincir ke arah barat daya atau ke arah badan jalan tol serta ke arah timur laut menuju area persawahan. Bagian terbawah bidang gelincir ke arah jalan tol ini berada pada ketinggian 515 mdpl sedangkan bagian tertinggi berada pada 525 mdpl. Batas batuan bidang gelincir dengan batuan di atasnya dapat dilihat pada keterangan di Gambar 4.7b.



Gambar 4.7. Penampang dua dimensi lintasan L3 hasil inversi (a) tanpamenggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.

Lintasan L4 berada di atas lereng bagian barat dari badan jalan tol, lokasi pengambilan data pada lintasan ini berhimpit dengan pabrik yang berada di sekitar area penelitian. Bentangan lintasan L4 adalah 200 m berarah Barat Laut-Tenggara. Lintasan ini memiliki arah yang sama dengan lintasan L1, namun lokasi keduanya berseberangan atau terletak pada tebing berbeda yang saling berhadapan. Hasil inversi data pada lintasan L4 menunjukkan rentang nilai resistivitas dari 16,3 hingga 132 Ωm . Rentang ini dikelompokkan lagi menjadi tiga, yaitu untuk rentang dengan nilai resistivitas rendah diwakili oleh nilai 0-30 Ωm dan ditunjukkan dengan warna biru tua hingga biru muda pada penampang dua dimensi, selanjutnya rentang nilai resistivitas sedang yaitu dengan nilai 31-100 Ωm ditunjukkan oleh warna hijau hingga coklat, dan terakhir adalah nilai resistivitas tinggi dengan nilai di atas 100 Ωm .

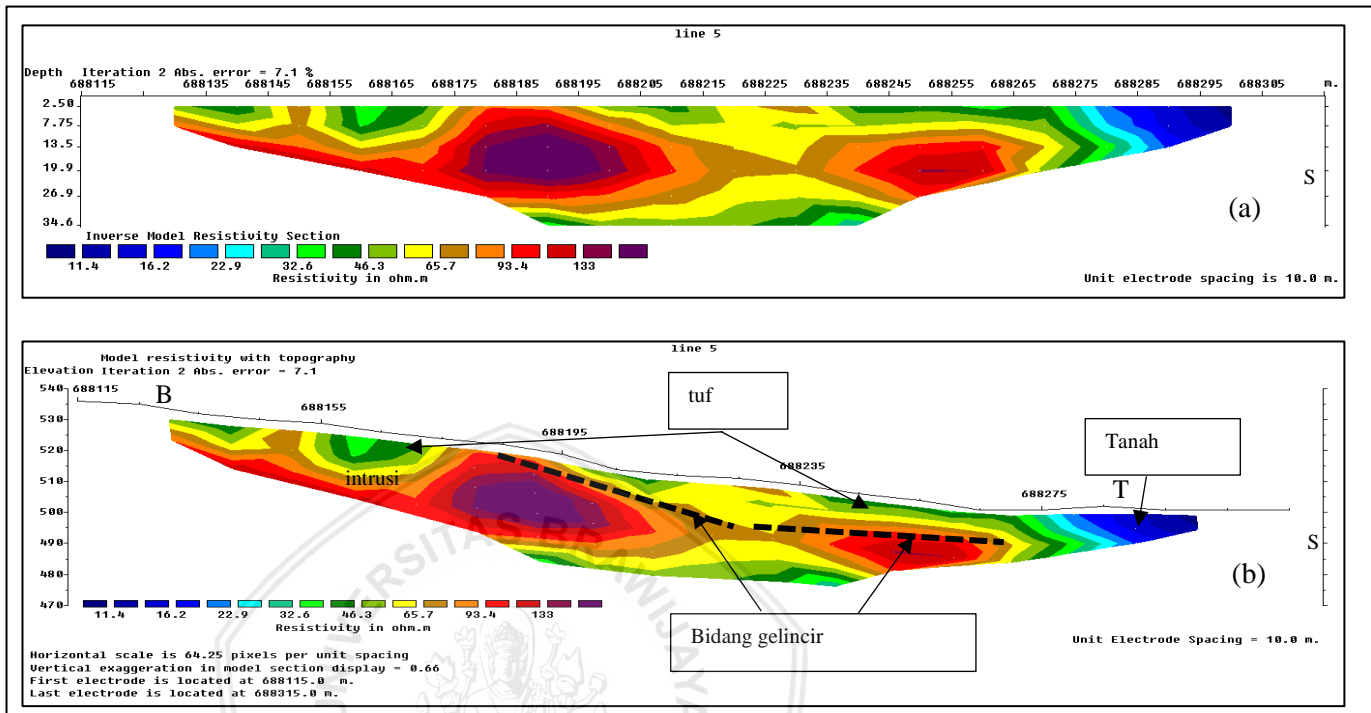
Nilai resistivitas rendah pada lintasan ini menunjukkan keberadaan batuan atau tanah yang telah mengalami perubahan fisik hasil aktifitas pengerukan, seperti yang telah diuraikan pada interpretasi citra satelit sebelumnya. Batuan tuf dan intrusi dijumpai pada lintasan ini, masing-masing merupakan interpretasi nilai resistivitas sedang dan tinggi. Ketiga jenis batuan pada lintasan ini terlihat berselang-seling secara lateral, di mana tanah sisa hasil kerukan menempati posisi paling kiri (Tenggara) dan dominan hingga menyisakan sedikit perselingan tuf dan intrusi di bagian paling kanan (Barat Laut), seperti terlihat pada Gambar 4.8a. Topografi permukaan pada lintasan pengukuran ini adalah datar (Gambar 4.8b). Sama halnya dengan lintasan L1, potensi tanah longsor pada lintasan L4 tidak dapat dianalisis tanpa adanya lintasan lain yang memotong lintasan ini, karena arah lintasan L4 sesuai dengan arah utama badan jalan tol. Kemiringan batuan intrusi yang dianggap sebagai bidang gelincir tidak dapat dianalisis pada hasil penampang dua dimensi resistivitas di lintasan ini. Diperkirakan, kemiringan batuan intrusi mengarah ke bagian barat sebagai kemenerusan dari intrusi yang telah dianalisis pada lintasan L2 dan L3 sebelumnya. Namun, intrusi ini terpotong oleh area badan jalan tol, karena proses pengerukan. Apabila perkiraan ini benar, maka lintasan L4 ini tidak memiliki potensi longsor yang berdampak pada badan jalan tol yang berada di sebelah timurnya.



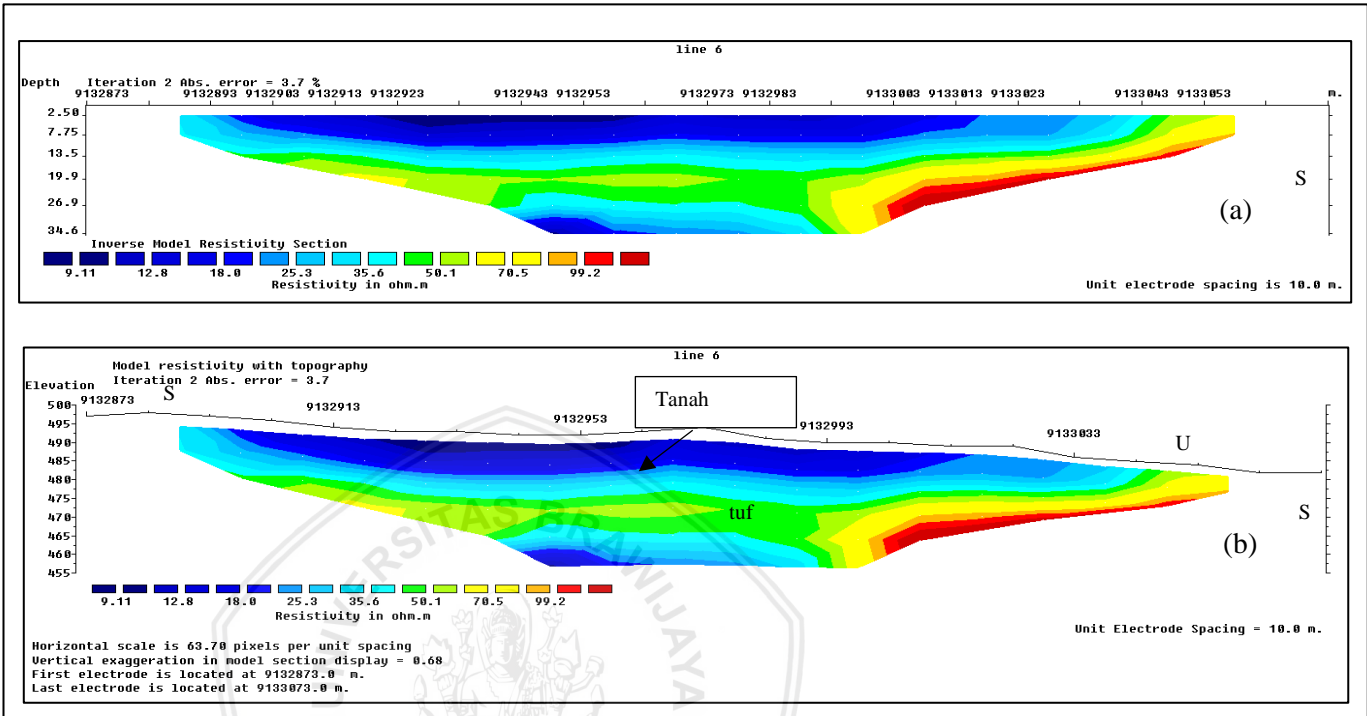
Gambar 4.8. Penampang dua dimensi lintasan L4 hasil inversi (a) tanpamenggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.

Lintasan L5 terletak di atas tebing bagian barat, di sebelah utara lintasan L4. Lintasan L5 memiliki panjang 200 m dengan arah Barat-Timur atau dengan kata lain memiliki arah berpotongan dengan arah utama badan jalan tol, analisis bawah permukaan lintasan L5 ini dapat digunakan untuk menentukan potensi tanah longsor yang mungkin berdampak terhadap badan jalan tol. Dilihat dari topografi permukaannya lintasan L5 ini merupakan lintasan yang berada di perbukitan, di mana ujung barat lintasan ini terletak di puncak bukit sedangkan ujung timur lintasan ini terletak di bagian lereng dan berakhir di tepi tebing. Keadaan topografi tersebut telah mengindikasikan potensi longsor yang mungkin terjadi, namun perlu dilihat lagi bagaimana posisi dan keberadaan bidang gelincir di bawah permukaan berdasarkan penampang dua dimensi nilai resistivitas hasil inversi.

Nilai resistivitas yang didapatkan pada lintasan ini memiliki rentang 11,4 hingga 133 Ωm (Gambar 4.9a). Nilai resistivitas tersebut dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu rentang nilai resistivitas rendah, sedang, dan tinggi, secara berurutan yaitu 0-30 Ωm , 31-100 Ωm , dan lebih besar dari 100 Ωm . Keberadaan nilai resistivitas tinggi pada lintasan ini sangat dominan dan mengindikasikan adanya batuan intrusi. Apabila ditinjau dari peta topografi dan keadaan di lapangan, bukit pada ujung barat lintasan ini merupakan rangkaian bukit yang terpisah dari gugusan bukit yang lain, sehingga dapat diduga bahwa intrusi yang membentuk bukit ini terpisah dengan intrusi yang membentuk bukit di sebelah timur badan jalan tol. Selanjutnya, nilai resistivitas sedang diinterpretasikan sebagai batuan tuf. Nilai resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai tanah atau batuan yang telah mengalami perubahan fisik akibat adanya aktifitas pengerukan sesuai interpretasi citra satelit sebelumnya. Bidang gelincir berupa batuan intrusi ditunjukkan secara jelas pada penampang dua dimensi nilai resistivitas lintasan L5 ini (Gambar 4.9b). Kedalaman bidang gelincir tersebut adalah pada elevasi 525 hingga 500 mdpl dan menerus pada elevasi 500 hingga 490 mdpl.



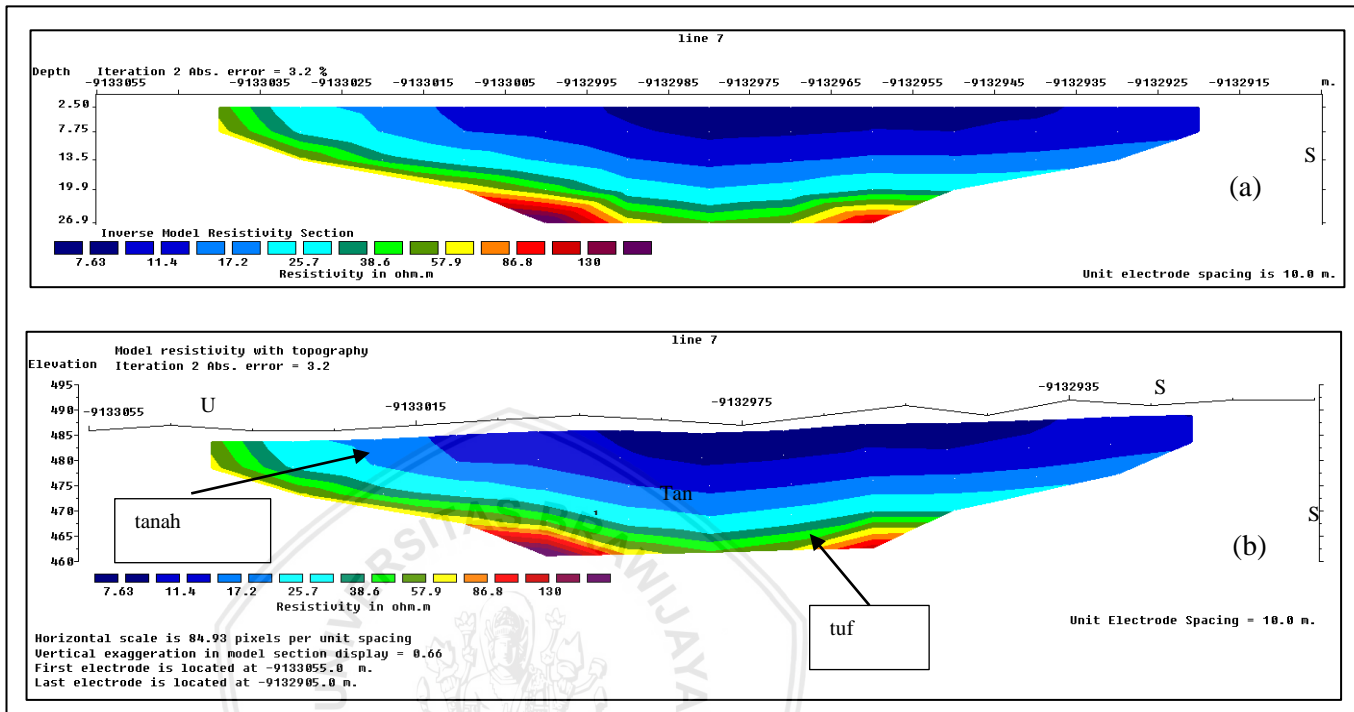
Gambar 4.9. Penampang dua dimensi lintasan L5 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.



Gambar 4.10. Penampang dua dimensi lintasan L6 hasil inversi (a) tanpamenggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.

Lokasi lintasan L6 berada di tebing sebelah barat dari badan jalan tol berdekatan dengan lintasan L5. Arah lintasan L5 adalah Utara-Selatan sepanjang 200 m sesuai dengan arah utama badan jalan tol dan ketinggian tebing tempat dilakukannya pengukuran lintasan L5 sekitar 10 m dari pondasi perkerasan jalan tol. Lintasan ini juga sedikit berpotongan dengan lintasan L5 yang berarah Barat-Timur. Topografi permukaan lintasan L5 cenderung landai dengan kemiringan ke arah Utara. Nilai resistivitas yang didapatkan pada lintasan ini adalah 9,11 hingga 100 Ωm (Gambar 4.10a). Nilai resistivitas dibagi menjadi kelompok resistivitas rendah dengan rentang 0-30 Ωm dan kelompok resistivitas sedang dengan nilai 31-100 Ωm .

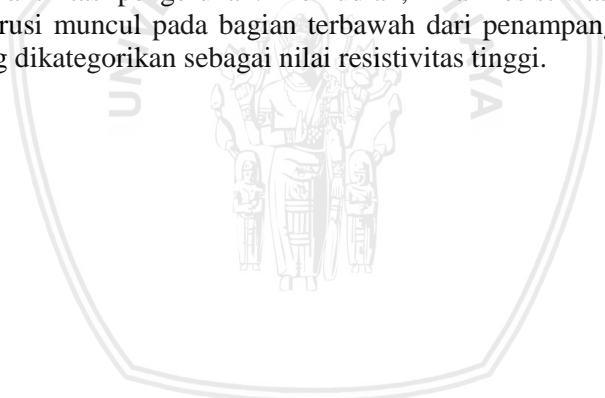
Nilai resistivitas rendah ditunjukkan oleh warna biru yang diinterpretasikan sebagai tanah hasil galian dan timbunan, karena ditinjau dari interpretasi terhadap citra satelit dimungkinkan area pada lintasan ini dilakukan pengerukan dan penimbunan untuk akses jalan kendaraan pengangkut material. Nilai resistivitas rendah didapatkan karena tanah hasil galian atau timbunan cenderung memiliki porositas yang besar sehingga mudah dijadikan tempat berkumpulnya air yang bersifat konduktif. Nilai sedang ditunjukkan oleh warna hijau hingga merah yang diinterpretasikan sebagai batuan tuf, yaitu salah satu batuan utama penyusun stratigrafi di daerah penelitian. Bidang gelincir tidak dapat dianalisis lebih lanjut berdasarkan penampang dua dimensi lintasan L6 ini karena kurangnya data nilai resistivitas yang menunjukkan keberadaan batuan intrusi. Struktur utama yang dapat dilihat dari Gambar 4.10b adalah perlapisan horisontal antara batuan tuf dengan tanah hasil galian atau timbunan.

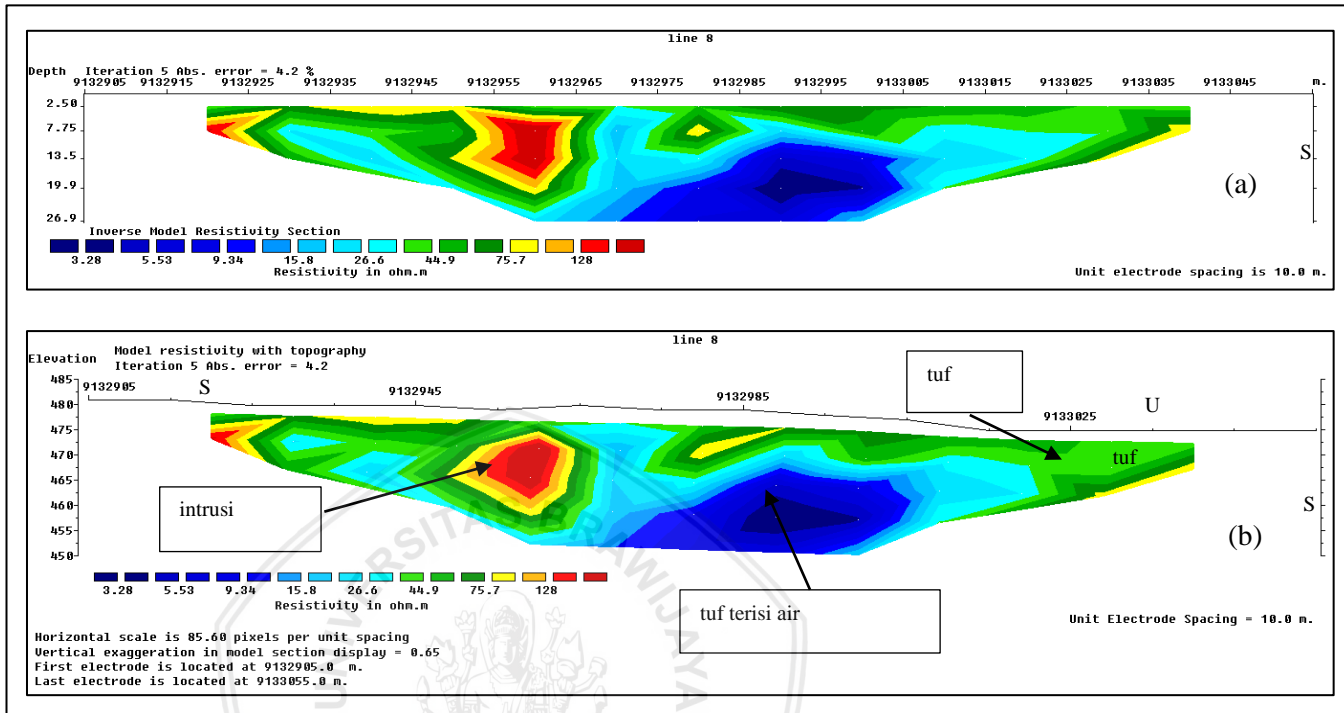


Gambar 4.11. Penampang dua dimensi lintasan L7 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.

Berdasarkan penampang dua dimensi nilai resistivitas pada lintasan L7 pada Gambar 4.12a, didapatkan rentang nilai resistivitas dari 7,63 hingga 130 Ωm . Rentang nilai ini dikelompokkan menjadi rendah, sedang dan tinggi. Rentang nilai rendah berkisar antara 0-30 Ωm , rentang nilai sedang yaitu 31-100 Ωm , dan rentang tinggi di atas 100 Ωm . Lintasan L7 berarah Utara-Selatan, terletak di bagian tebing sebelah timur dari badan jalan tol sekaligus di sebelah utara lintasan L1, L2, dan L3. Ketinggian tebing pada lintasan ini sekitar 10 m dari pondasi perkerasan jalan tol.

Berdasarkan interpretasi citra satelit, diketahui bahwa lokasi pengukuran geolistrik resistivitas pada lintasan L6 awalnya adalah sebuah dataran sisa dari penggalian bukit. Saat pengukuran di lapangan banyak dijumpai material-material sisa galian tersebut. Sisa-sisa galian kemungkinan diratakan kembali dengan alat berat sehingga terbentuk area yang cukup lebar dan topografi rata (Gambar 4.13b). Nilai resistivitas kelompok rendah diinterpretasikan sebagai tanah sisa galian. Nilai resistivitas sedang menunjukkan batuan tuf yang tidak terdampak oleh aktifitas pengerukan. Kemudian, nilai resistivitas untuk batuan intrusi muncul pada bagian terbawah dari penampang dua dimensi yang dikategorikan sebagai nilai resistivitas tinggi.





Gambar 4.14. Penampang dua dimensi lintasan L8 hasil inversi (a) tanpa menggunakan efek topografi dan (b) menggunakan efek topografi.

Lintasan L8 merupakan satu-satunya lintasan pada penelitian ini yang lokasi pengukurannya tepat berada di atas pondasi perkerasan atau dapat dikatakan terletak di badan utama jalan tol, tidak terletak di atas bukit atau tebing seperti tujuh lintasan yang lain. Lintasan L8 memiliki panjang 150 m dengan arah Utara-Selatan searah dengan badan utama jalan tol. Topografi permukaan lintasan pengukuran ini adalah datar (Gambar 4.14a).

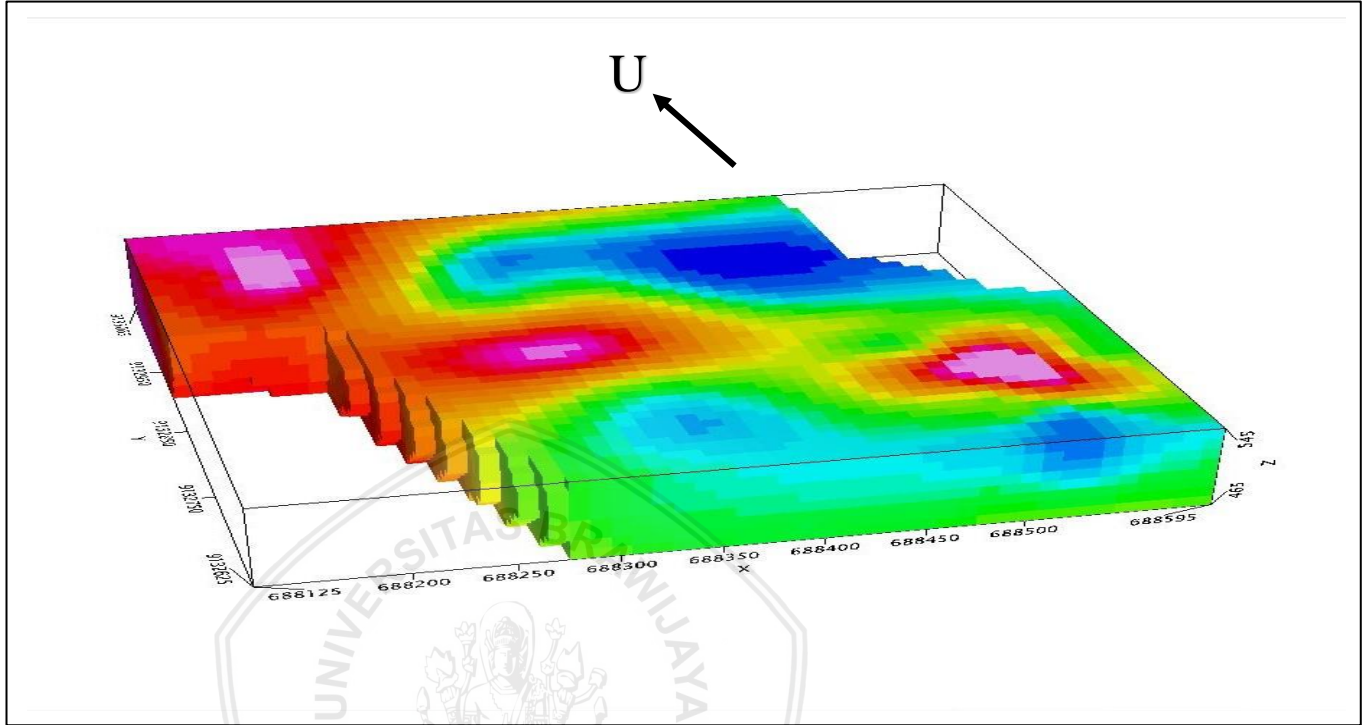
Hasil penampang dua dimensi nilai resistivitas menunjukkan rentang nilai 3,28 hingga 128 Ωm . Rentang nilai tersebut dikelompokkan menjadi tiga, yaitu 0-30 Ωm sebagai kelompok resistivitas rendah ditunjukkan oleh warna biru dan diinterpretasikan sebagai batuan dengan kandungan air yang cukup tinggi. Air yang dimaksud dapat berupa air tanah maupun air permukaan yang meresap ke dalam tanah atau batuan batuan bawah permukaan. Air permukaan tersebut diduga berasal dari aktifitas pembangunan jalan yang digunakan untuk mempermudah proses penggalian dan meresap ke zona lemah pada batuan tuf. Batuan tuf diinterpretasikan dengan nilai resistivitas sedang dan ditandai dengan warna hijau. Sedangkan nilai resistivitas tinggi diinterpretasikan sebagai intrusi dan ditunjukkan oleh warna merah (Gambar 4.14b). Intrusi ini diduga berasal dari bukit di sebelah barat tebing dan merupakan intrusi yang sama yang dianalisis pada lintasan L5 dengan posisi yang lebih dalam.

Berdasarkan interpretasi nilai resistivitas secara keseluruhan dari lintasan L1 hingga L8 didapatkan tiga jenis batuan, pertama adalah batuan intrusi ditunjukkan dengan warna merah dan memiliki nilai resistivitas tinggi (di atas 100 Ωm), interpretasi ini didasari oleh deskripsi sampel batuan diorit yang diperoleh di lokasi penelitian. Nilai resistivitas batuan diorit ini mungkin tidak sesuai dengan nilai resistivitas batuan diorit pada literatur seperti pada Telford, dkk. (1990) maupun Lowrie (2007), hal ini dikarenakan setiap jenis batuan yang sama dapat memiliki perbedaan karakter fisis tergantung pada *setting* geologinya. Batuan intrusi diorit pada lokasi ini diduga lebih bersifat konduktif karena terdapat rekahan-rekahan pada tubuh intrusi yang telah dimasuki oleh air secara masif, sehingga batuan intrusi diorit yang seharusnya memiliki resistivitas tinggi hingga $6 \times 10^6 \Omega\text{m}$ menjadi lebih konduktif. Selanjutnya, interpretasi terhadap batuan dengan nilai resistivitas sedang dengan rentang 31-100 Ωm untuk semua lintasan adalah batuan tuf. Hal ini didasari oleh informasi

geologi regional daerah penelitian yang tersusun sebagian besar oleh batuan tuf. Selain itu, berdasarkan penelitian Waspodo (2011) dan Winarti (2015), batuan tuf juga ditunjukkan dengan rentang nilai yang sama seperti pada penelitian ini. Sedangkan interpretasi terhadap batuan dengan nilai resistivitas rendah yaitu 0-30 Ω m didasarkan pada nilai resistivitas tanah secara umum yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 oleh Lowrie (2007).

4.3 Interpretasi Resistivitas Tiga Dimensi

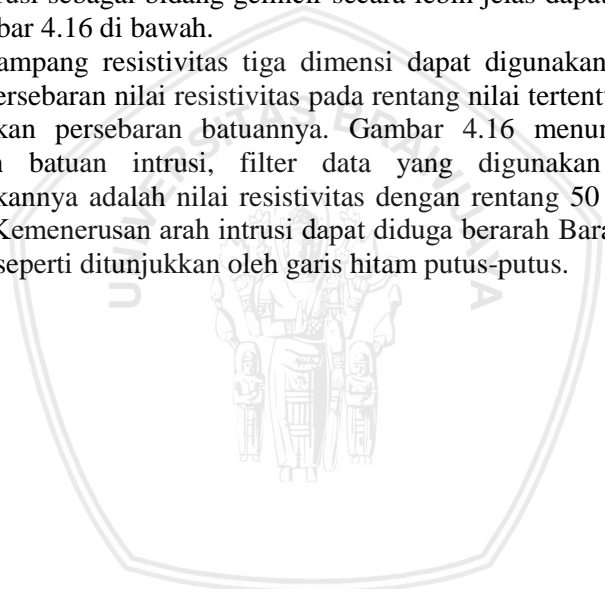
Model penampang resistivitas dua dimensi dapat disajikan dalam bentuk tiga dimensi dengan cara interpolasi. Seluruh data model resistivitas dua dimensi pada pengukuran ini dimasukkan ke dalam *software Oasis Montaj*, interpolasi dilakukan menggunakan *software* ini dengan teknik *kriging*. Interpolasi sendiri digunakan untuk memprediksi data-data di sekitar area penelitian yang tidak dilakukan pengukuran, prediksi ini didapat dengan melakukan perhitungan terhadap kumpulan data yang diperoleh saat pengukuran. Seluruh data dua dimensi setiap lintasan pada awalnya diletakkan pada suatu bangun tiga dimensi berbentuk kubus yang memiliki sistem koordinat x,y,z atau bujur, lintang dan ketinggian. Setelah data diletakkan sesuai dengan koordinatnya masing-masing, interpolasi dapat dilakukan, *software* akan menghitung prediksi nilai-nilai di sekitar lintasan pengukuran, sehingga seluruh data menempati sebagian besar kubus tersebut. Persebaran nilai resistivitas tiga dimensi dapat dilihat pada Gambar 4.15.

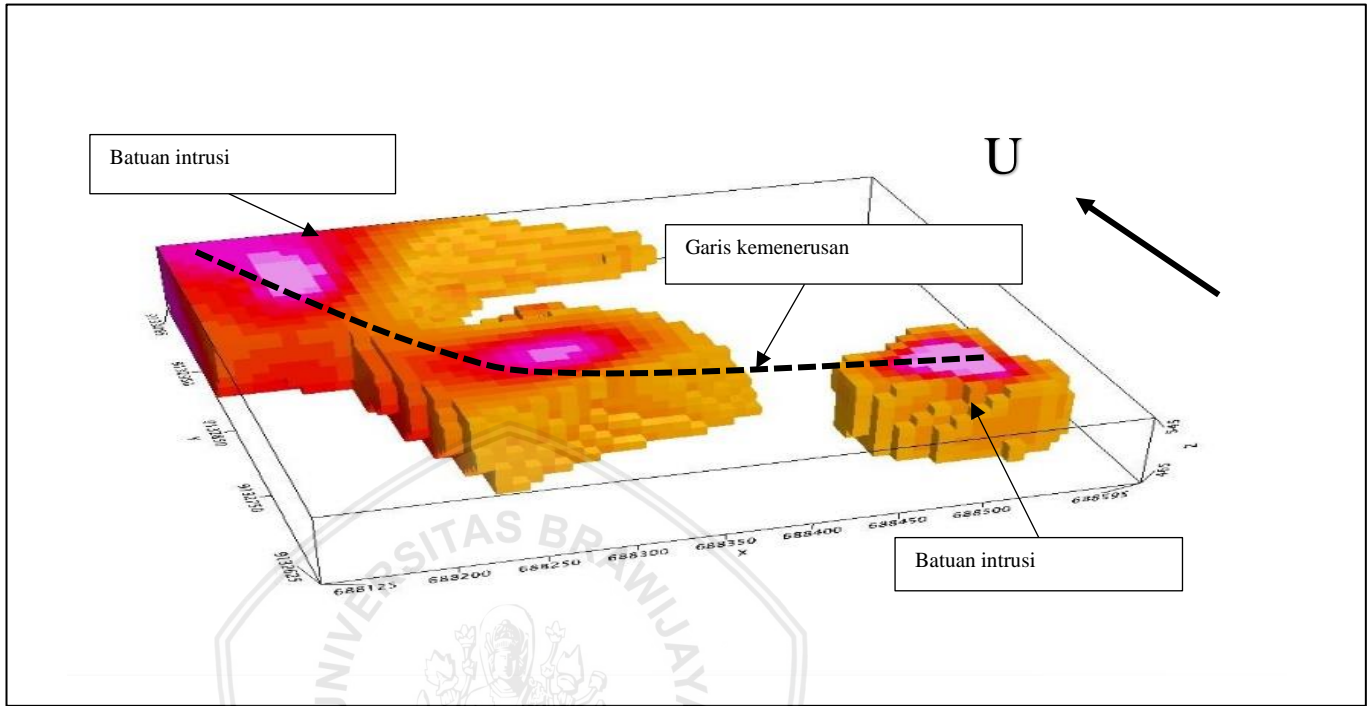


Gambar 4.15. Persebaran nilai resistivitas dalam penampang tiga dimensi.

Penampang tiga dimensi nilai resistivitas menunjukkan keberadaan nilai-nilai lain di sekitar lintasan pengukuran. Nilai-nilai yang didapatkan berada pada rentang 0-132 Ω m sesuai dengan data yang diperoleh dari hasil inversi dua dimensi sebelumnya. Warna-warna yang ditunjukkan pada penampang tiga dimensi juga memiliki arti yang sama dengan warna-warna pada penampang resistivitas dua dimensi. Berdasarkan penampang nilai resistivitas tiga dimensi ini, persebaran batuan intrusi, tuf, dan tanah lapuk dapat diketahui lebih jelas. Dapat dilihat bahwa batuan yang diinterpretasikan sebagai intrusi dan batuan tuf merupakan batuan yang mendominasi area peneleitian, ditunjukkan dengan warna merah dan hijau. Keberadaan batuan intrusi sebagai bidang gelincir secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.16 di bawah.

Penampang resistivitas tiga dimensi dapat digunakan dalam mencari persebaran nilai resistivitas pada rentang nilai tertentu untuk menunjukkan persebaran batuanya. Gambar 4.16 menunjukkan persebaran batuan intrusi, filter data yang digunakan untuk menampilkannya adalah nilai resistivitas dengan rentang 50 sampai 132 Ω m. Kemenerusan arah intrusi dapat diduga berarah Barat Laut-Tenggara seperti ditunjukkan oleh garis hitam putus-putus.





Gambar 4.16. Penampang tiga dimensi filter 50-132 Ω m menunjukkan persebaran batuan intrusi sebagai bidang gelincir.

4.4 Analisis Kemiringan Bidang Gelincir

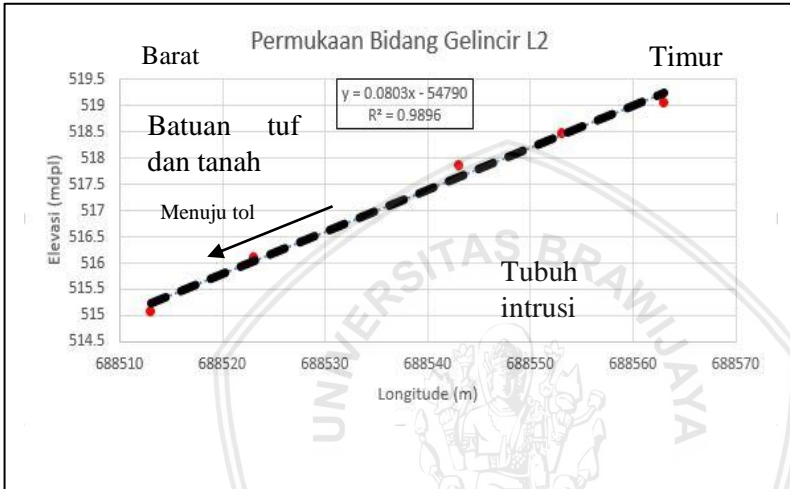
Bidang gelincir yang sebelumnya diduga berupa batuan intrusi dengan nilai resistivitas tinggi dianalisis lebih lanjut derajat kemiringannya berdasarkan fungsi linier. Fungsi linier tersebut berisi data-data nilai resistivitas dengan nilai di atas $100 \Omega\text{m}$ yang terletak pada elevasi paling atas dan berbatasan langsung dengan batuan atau tanah di atasnya, sehingga fungsi ini dapat merepresentasikan kemiringan permukaan bidang gelincir. Analisis kemiringan bidang gelincir hanya digunakan untuk lintasan-lintasan yang memiliki kecenderungan arah memotong badan jalan tol yaitu lintasan L2, L3 dan L5. Jika tanah longsor terjadi pada area di ketiga lintasan ini, maka kemungkinan besar akan berdampak pada aktivitas di badan jalan tol.

Longsor di Indonesia sering terjadi pada lereng curam dengan sudut kemiringan $15^\circ - 45^\circ$ (Brahmantyo, 2014). Pada analisis potensi tanah longsor ini, kemiringan bidang gelincir akan dibagi menjadi tiga kategori, yaitu landai, curam, dan sangat curam, masing-masing dengan nilai $0-14^\circ$, $15^\circ-45^\circ$, dan lebih besar dari 45° .

Lintasan L2 memiliki nilai resistivitas tinggi (di atas $100 \Omega\text{m}$), beberapa di antaranya terletak pada bagian teratas membentuk kemiringan dan berbatasan dengan batuan yang lain (Tabel 4.1). Apabila nilai-nilai resistivitas tersebut diplot terhadap sumbu x dan y, di mana sumbu x merupakan garis bujur (*longitude*) dan sumbu y menunjukkan nilai elevasi atau letak ketinggian data, maka akan terbentuk sebuah plot titik-titik merah membentuk suatu garis yang dapat didekati dengan fungsi linier (Gambar 4.17). Fungsi linier ini merepresentasikan kemiringan permukaan bidang gelincir yang ditunjukkan dengan garis hitam putus-putus. Persamaan atau fungsi linier yang didapatkan adalah $y = 0,0803x - 54790$ dengan nilai $R^2 = 0,9896$. Kemiringan lereng dapat dihitung dengan operasi \tan^{-1} dari konstanta pada variabel x yaitu 0,0803, sehingga didapatkan kemiringan bidang gelincir sebesar $4,6^\circ$, nilai R^2 menunjukkan kecocokan data hasil pengukuran di lapangan dengan regresi linier atau hasil perhitungan yang bernilai antara 0 hingga 1. Nilai 1 akan menunjukkan kecocokan data yang sangat baik, sebaliknya, nilai 0 menunjukkan ketidakcocokan antara data hasil pengukuran dengan regresi atau hasil perhitungan terhadap data-data tersebut. Kemiringan bidang gelincir senilai $4,6^\circ$ ke arah Barat masuk dalam kategori landai.

Tabel 4.1. Data permukaan bidang gelincir pada lintasan L2.

No	Longitude (m)	Elevasi (mdpl)	Resistivitas (Ω m)
1	688563	519	103.14
2	688553	518	155.87
3	688543	518	138.77
4	688523	516	120.39
5	688513	515	120.39



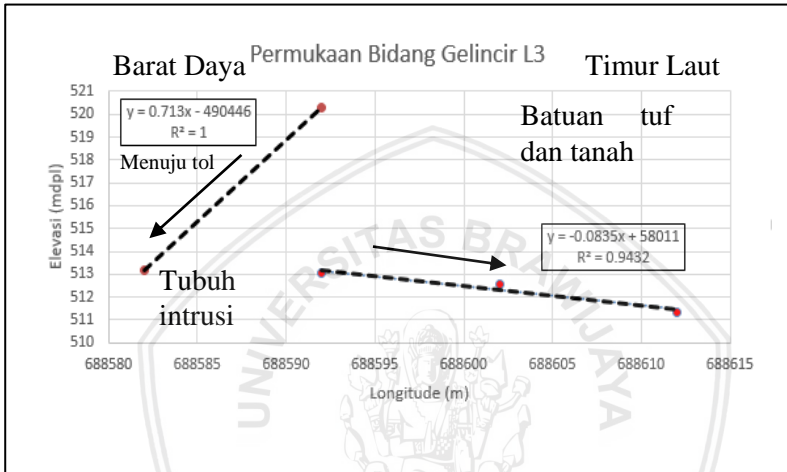
Gambar 4.17. Kemiringan bidang gelincir pada lintasan L2.

Data selanjutnya adalah nilai resistivitas tinggi pada lintasan L3 (Tabel 4.2). Plot terhadap data-data di lintasan L3 menunjukkan terdapatnya dua bidang gelincir ke arah yang berbeda, yaitu ke Barat Daya (menuju badan jalan tol) dan ke arah Timur Laut (Gambar 4.18). Fungsi linier pertama adalah fungsi yang menunjukkan kemiringan menuju badan jalan tol dengan persamaan $y = 0,718x - 490446$ dan nilai $R^2 = 1$. Dari data persamaan tersebut, dapat dihitung kemiringan lereng dengan operasi \tan^{-1} , hasilnya adalah 35° . Nilai ini menunjukkan bahwa bidang gelincir masuk dalam kategori curam.

Selanjutnya, fungsi linier kedua pada lintasan L3 ditunjukkan dengan persamaan $y = -0,0835x + 58011$ dan nilai $R^2 = 0,9432$. Dari persamaan tersebut, didapatkan kemiringan bidang gelincir adalah sebesar $4,8^\circ$ ke arah Timur Laut.

Tabel 4.2. Data permukaan bidang gelincir pada lintasan L3.

No	Longitude (m)	Elevasi (mdpl)	Resistivitas (Ωm)
1	688582	513	105,28
2	688592	520	108,22
3	688612	511	112,2
4	688602	513	119,84
5	688592	513	126,05

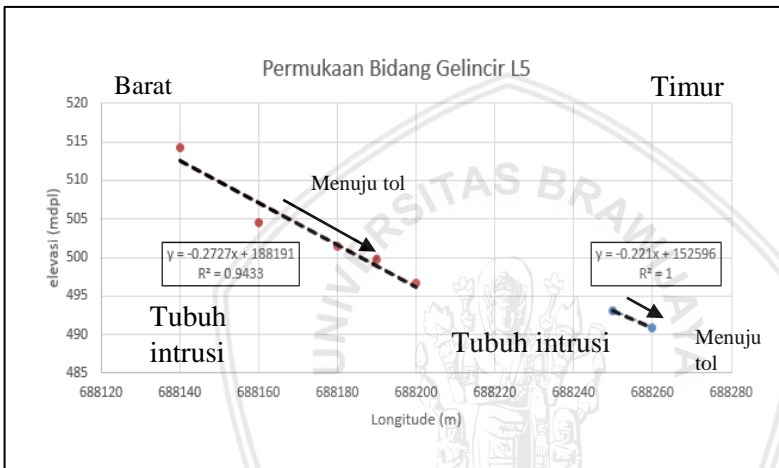


Gambar 4.18. Kemiringan bidang gelincir pada lintasan L3.

Lintasan L5 terletak di bukit sebelah barat jalan tol, dengan arah lintasan Barat-Timur. Data nilai resistivitas tinggi disajikan pada Tabel 4.3. Berdasarkan plot data nilai resistivitas tinggi yang menunjukkan bidang gelincir di bawah lokasi pengukuran L5, didapatkan dua bidang gelincir masing-masing di bagian barat dan timur, keduanya memiliki arah yang sama namun derajat kemiringannya berbeda. Permukaan bidang gelincir pertama ditunjukkan dengan persamaan $y = -0,2727x + 188191$ dan nilai $R^2 = 0,9433$. Besarnya kemiringan berdasarkan persamaan tersebut adalah 15° ke arah Timur menuju badan jalan tol dan masuk dalam kategori curam. Permukaan bidang gelincir kedua ditunjukkan dengan persamaan $y = -0,221x + 15259$ dan $R^2 = 1$. Besarnya kemiringan yang diperoleh adalah 12° , masuk dalam kategori landai Gambar 4.19.

Tabel 4.3. Data permukaan bidang gelincir pada lintasan L5.

No	Longitude (m)	Elevasi (mdpl)	Resistivitas (Ω m)
1	688250	493	101,39
2	688260	491	108,12
3	688160	505	116,99
4	688140	514	124,09
5	688200	497	151,86
6	688180	501	162,51
7	688190	500	205,55



Gambar 4.19. Kemiringan bidang gelincir pada lintasan L5.

Lintasan L3 dan L5 memiliki potensi tanah longsor yang cukup tinggi ditandai dengan keberadaan bidang gelincir berupa batuan intrusi dengan kemiringan curam (15° - 45°). Bidang gelincir pada kedua lintasan tersebut mengarah ke badan jalan tol dan pada kemudian hari dapat berdampak pada aktifitas di jalan tol sebagai jalur transportasi bebas hambatan apabila tidak segera diberikan perlakuan teknis dalam rangka mencegah terjadinya tanah longsor. Tindakan pencegahan bencana tanah longsor dapat dilakukan dengan rekayasa geoteknik tertentu, hal ini dilakukan untuk menghindari dan mengurangi jumlah korban serta kerusakan bangunan.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian geolistrik resistivitas yang telah dilaksanakan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Litologi batuan bawah permukaan di area penelitian terdiri dari batuan intrusi, endapan tuf, dan tanah lapuk atau tanah sisa hasil aktifitas galian dan timbunan.
2. Berdasarkan data resistivitas, batuan intrusi secara umum berarah Barat Laut-Tenggara, arah lapisan endapan tuf dan tanah lapuk juga memiliki arah yang sama mengikuti batuan intrusi yang melandasinya.
3. Dalam penelitian ini, batuan beku berupa intrusi diinterpretasikan berperan sebagai bidang gelincir, dengan nilai resistivitas tinggi (di atas $100 \Omega\text{m}$). Lokasi batuan ini secara umum berada pada elevasi 460-525 mdpl.
4. Kemiringan bidang gelincir hanya didapatkan pada lintasan L2, L3, dan L5. Lintasan L2 menunjukkan keberadaan kemiringan permukaan bidang gelincir dengan sudut $4,6^\circ$ ke arah Barat, masuk dalam kategori landai. Di lintasan L3 terdapat dua bidang gelincir, masing masing berarah Barat Daya dengan kemiringan curam sebesar 35° dan berarah Timur laut dengan kemiringan landai sebesar $4,8^\circ$. Terakhir adalah lintasan L5, terdapat dua permukaan bidang gelincir yang sama-sama mengarah ke Timur, masing-masing memiliki sudut kemiringan sebesar 15° dalam kategori curam dan 12° dalam kategori landai. Potensi terjadinya tanah longsor pada lintasan L3 dan L5 adalah sangat tinggi.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut atau penelitian dengan topik yang serupa adalah agar analisis potensi tanah longsor juga dilakukan berdasarkan intensitas curah hujan, analisis topografi, serta faktor lain yang dapat berperan sebagai pemicu terjadinya tanah longsor untuk mendukung analisis dari data nilai resistivitas.

(halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Brahmantyo, A. dan Yulianto, T. 2014. Identifikasi Bidang Gelincir Pemicu Tanah Longsor dengan Metode Resistivitas 2 Dimensi di Desa Trangkil Sejahtera Kecamatan Gunungpati Semarang. *Youngster Physics Journal*. 3(2):83-96.
- Irayani, Z. 2016. Investigasi Bidang Gelincir Tanah Longsor dengan Metode Tahanan Jenis dan Pengujian Sifat Plastisitas Tanah (Studi Kasus di Bukit Pawinihan, Sijeruk, Banjarnegara). *Dinamika Rekayasa*. 12(2):53-57.
- Loke, M.H. 2001. *Geoelectrical Imaging 2D & 3D*. Geotomo Software. Malaysia.
- Loke, M.H. 2004. *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Geotomo Software. Malaysia.
- Lowrie, W. 2007. *Fundamentals of Geophysics*. Cambridge University Press. New York.
- McDowell, P., Barker, R., Butcher, A., Culshaw, M., dan Jackson, P. D. 2002. *Geophysics in Engineering Investigations*. CIRIA. London.
- Musset, A.E. dan Khan, A.M. 2000. *Looking into the Earth an Introduction to Geological Geophysics*. Cambridge University Press. Cambridge.
- Noor, D. 2006. *Geologi Lingkungan*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Rahmawati, A. 2009. *Pendugaan Bidang Gelincir Tanah Longsor Berdasarkan Sifat Kelistrikan Bumi dengan Aplikasi Geolistrik Metode Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger (Studi Kasus di Daerah Karangsambung dan sekitarnya, Kabupaten Kebumen*. Jurusan Fisika Universitas Negeri Semarang.
- Reynolds, J.M. 1997. *An Introduction to Applied and Enviromental Geophysics*. John Wiley & Sons, Inc. Chichester.
- Santosa, B., Suprpto, H., dan HS, Suryadi. 1998. *Mekanika Tanah Lanjutan*. Gunadarma. Jakarta.
- Santoso dan Suwarti. 1992. *Peta Geologi Lembar Malang*. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Sosrodarsono, S. 2000. *Mekanika Tanah & Teknik Pondasi*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.

- Telford, W.M., Geldart, L.P., dan Sheriff, R.E. 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press. Cambridge.
- Van Bemmelen, R.W. 1949. The Geology of Indonesia. Vol. IA. Government Printing Office, The Hague.
- Waspodo, R.S.P. 2011. Eksplorasi Air Tanah di Pandaan. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*. 25(1).
- Winarti dan Hartono, H.G. 2015. Identifikasi Batuan Gunungapi Purba di Pegunungan Selatan Yogyakarta Bagian Barat Berdasarkan Pengukuran Geolistrik. *Ekslorium*. 36(1):57-70.

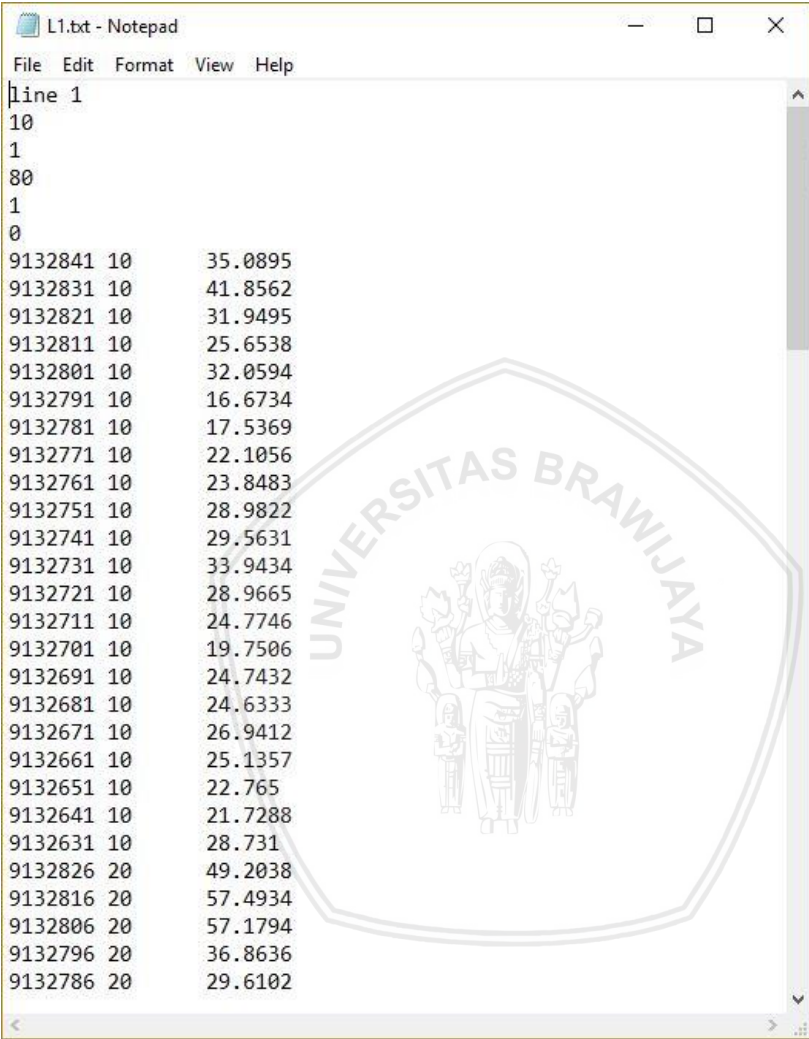


LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengukuran

n	C1	P1	P2	C2	V	R1	R2	R3	R4	RX	I	k	app.res
1	0	10	20	30	11.5	0.562	0.558	0.557	0.558	0.55875	20.58166	62.8	35.0895
1	10	20	30	40	13.687	0.683	0.676	0.643	0.664	0.6665	20.53563	62.8	41.8562
1	20	30	40	50	10.46	0.516	0.509	0.502	0.508	0.50875	20.5602	62.8	31.9495
1	30	40	50	60	8.346	0.394	0.415	0.416	0.409	0.4085	20.43084	62.8	25.6538
1	40	50	60	70	10.504	0.513	0.51	0.509	0.51	0.5105	20.57591	62.8	32.0594
1	50	60	70	80	5.446	0.265	0.265	0.263	0.269	0.2655	20.51224	62.8	16.6734
1	60	70	80	90	5.747	0.282	0.278	0.278	0.279	0.27925	20.58013	62.8	17.5369
1	70	80	90	100	7.84	0.341	0.344	0.343	0.38	0.352	22.27273	62.8	22.1056
1	80	90	100	110	7.819	0.381	0.379	0.38	0.379	0.37975	20.58986	62.8	23.8483
1	90	100	110	120	9.487	0.461	0.462	0.462	0.461	0.4615	20.55688	62.8	28.9822
1	100	110	120	130	9.684	0.47	0.472	0.471	0.47	0.47075	20.57143	62.8	29.5631
1	110	120	130	140	11.133	0.541	0.54	0.54	0.541	0.5405	20.59759	62.8	33.9434
1	120	130	140	150	9.494	0.461	0.462	0.461	0.46125	0.46125	20.5832	62.8	28.9665
1	130	140	150	160	8.129	0.391	0.395	0.398	0.394	0.3945	20.60583	62.8	24.7746
1	140	150	160	170	6.47	0.313	0.315	0.316	0.314	0.3145	20.57234	62.8	19.7506
1	150	160	170	180	8.11	0.394	0.394	0.394	0.394	0.394	20.58376	62.8	24.7432
1	160	170	180	190	8.078	0.392	0.392	0.393	0.392	0.39225	20.59401	62.8	24.6333
1	170	180	190	200	8.837	0.481	0.428	0.428	0.429	0.429	20.59907	62.8	26.9412
1	180	190	200	210	8.239	0.4	0.4	0.401	0.4	0.40025	20.58463	62.8	25.1357
1	190	200	210	220	7.471	0.361	0.363	0.364	0.362	0.3625	20.60966	62.8	22.785
1	200	210	220	230	7.125	0.346	0.346	0.346	0.346	0.346	20.59249	62.8	21.7288
1	230	240	250	260	8.487	0.454	0.455	0.455	0.455	0.455	20.62888	62.8	26.331
n	C1	P1	P2	C2	V	R1	R2	R3	R4	RX	I	k	app.res
1	0	10	20	30	7.705	0.372	0.374	0.372	0.372	0.3725	20.68456	62.8	23.393
1	10	20	30	40	14.2	1.127	0.777	0.779	0.865	0.887	16.00902	62.8	55.7036
1	20	30	40	50	6.785	0.33	0.33	0.329	0.329	0.3295	20.59181	62.8	20.6926
1	30	40	50	60	7.73	0.374	0.377	0.373	0.375	0.37475	20.62708	62.8	23.5343
1	40	50	60	70	10.544	0.512	0.307	0.516	0.462	0.44925	23.47023	62.8	28.2129
1	50	60	70	80	10.155	0.48	0.497	0.499	0.493	0.49225	20.62976	62.8	30.9133
1	60	70	80	90	11.994	0.581	0.583	0.582	0.582	0.582	20.60825	62.8	36.5496
1	70	80	90	100	13.714	0.666	0.667	0.666	0.666	0.66625	20.58386	62.8	41.8405
1	80	90	100	110	12.879	0.626	0.625	0.626	0.625	0.6255	20.58993	62.8	39.2814
1	90	100	110	120	12.666	0.608	0.619	0.617	0.615	0.61475	20.6035	62.8	38.6063
1	100	110	120	130	14.138	0.687	0.687	0.687	0.686	0.68675	20.58682	62.8	43.1279
1	110	120	130	140	12.528	0.605	0.611	0.609	0.608	0.60825	20.59679	62.8	38.1981
1	120	130	140	150	17.616	0.844	0.861	0.859	0.855	0.85475	20.60953	62.8	53.6783
2	0	20	40	60	6.888	0.339	0.334	0.333	0.334	0.335	20.56119	125.6	42.076
2	10	30	50	70	6.618	0.321	0.322	0.322	0.321	0.3215	20.58476	125.6	40.3804
2	20	40	60	80	6.629	0.281	0.337	0.335	0.322	0.31875	20.79686	125.6	40.035
2	30	50	70	90	8.22	0.398	0.399	0.4	0.399	0.399	20.6015	125.6	50.1144
2	40	60	80	100	7.863	0.382	0.382	0.382	0.382	0.382	20.58377	125.6	47.9792
2	50	70	90	110	8.907	0.431	0.433	0.433	0.432	0.43225	20.60613	125.6	54.2906
2	60	80	100	120	9.62	0.466	0.468	0.468	0.467	0.46725	20.58855	125.6	58.6866
2	70	90	110	130	9.747	0.47	0.436	0.475	0.475	0.4635	21.02913	125.6	58.2156

Lampiran 2. Format masukan data RES2DINV



```
L1.txt - Notepad
File Edit Format View Help
line 1
10
1
80
1
0
9132841 10 35.0895
9132831 10 41.8562
9132821 10 31.9495
9132811 10 25.6538
9132801 10 32.0594
9132791 10 16.6734
9132781 10 17.5369
9132771 10 22.1056
9132761 10 23.8483
9132751 10 28.9822
9132741 10 29.5631
9132731 10 33.9434
9132721 10 28.9665
9132711 10 24.7746
9132701 10 19.7506
9132691 10 24.7432
9132681 10 24.6333
9132671 10 26.9412
9132661 10 25.1357
9132651 10 22.765
9132641 10 21.7288
9132631 10 28.731
9132826 20 49.2038
9132816 20 57.4934
9132806 20 57.1794
9132796 20 36.8636
9132786 20 29.6102
```

Lampiran 3. Dokumentasi saat pengambilan data di lapangan

