

**IDENTIFIKASI PARAMETER BIDANG GELINCIR DI KECAMATAN
IX KOTO SUNGAI LASI KABUPATEN SOLOK MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS
KONFIGURASI *SCHLUMBERGER***

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar
Sarjana Sains*



**Oleh:
TIARA RIZKA RAHMANI
NIM. 15034040/ 2015**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2019**

PERSETUJUAN SKRIPSI

**IDENTIFIKASI PARAMETER BIDANG GELINCIR DI KECAMATAN
IX KOTO SUNGAI LASI KABUPATEN SOLOK MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS
KONFIGURASI *SCHLUMBERGER***

Nama : Tiara Rizka Rahman
NIM : 15034040
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2019

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika


Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP.196901201993032002

Disetujui Oleh:
Pembimbing


Drs. Akman, M.Si
NIP.196305261987031003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Nama : Tiara Rizka Rahmani
NIM : 15034040
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

**IDENTIFIKASI PARAMETER BIDANG GELINCIR DI KECAMATAN
IX KOTO SUNGAI LASI KABUPATEN SOLOK MENGGUNAKAN
METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS
KONFIGURASI SCHLUMBERGER**

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi
Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Padang, Agustus 2019

Tim Penguji

	Nama
Ketua	: Drs. Akman, M.Si
Anggota	: Dr. Hamdi, M.Si
Anggota	: Dr. H. Ahmad Fauzi, M.Si

Tanda Tangan


PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya, tugas akhir berupa skripsi dengan judul "Identifikasi Parameter Bidang Gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok Menggunakan Metode Geolistrik Tabanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger*" adalah asli karya saya sendiri;
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali dari pembimbing;
3. Didalam karya tulis ini, tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan di dalam naskah dengan menyebutkan pengarang dan dicantumkan pada perpustakaan;
4. Pernyataan ini saya buat sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan di dalam pernyataan ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini, serta sanksi lainnya sesuai norma dan ketentuan hukum yang berlaku.

Padang, Agustus 2019
yang membuat pernyataan



Tiara Rizka Rahmani
Nim: 15034040

**Identifikasi Parameter Bidang Gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi
Kabupaten Solok Menggunakan Metode Geolistrik
Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger***

Tiara Rizka Rahmani

ABSTRAK

Kecamatan IX Koto Sungai Lasi merupakan salah satu daerah rawan longsor yang terdapat di Kabupaten Solok. Longsor menyebabkan kerusakan lingkungan dan masyarakat. Salah satu penyebabnya adalah batuan yang mengalami pelapukan. Batuan yang mengalami pelapukan dapat membentuk bidang gelincir. Bahaya longsor dapat diminimalkan dengan mengetahui parameter bidang gelincir. Parameter bidang gelincir di daerah ini belum diketahui, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui parameter bidang gelincir berupa kedalaman dan sudut kemiringan.

Penelitian ini merupakan penelitian yang bersifat deskriptif. Metode yang digunakan adalah metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger*. Data yang diambil sebanyak 4 lintasan menggunakan alat ukur ARES. Data diinterpretasikan menggunakan inversi *Smoothness Constraint Least-Square*. Nilai tahanan jenis hasil interpretasi dibandingkan dengan nilai tahanan jenis standar serta kondisi Geologi untuk mengestimasi jenis batumannya. Penentuan sudut kemiringan lereng dan bidang gelincir menggunakan teori Trigonometri.

Hasil penelitian ditemukan bidang gelincir pada keempat lintasan. Kedalaman bidang gelincir berturut-turut adalah 13.5 m, 15 m, 11.8 m, dan 7m. Sudut kemiringan bidang gelincir berturut-turut adalah 39.16°, 41.81°, 26.10°, dan 21.80°. Jenis batuan yang berperan sebagai bidang gelincir adalah batu Lempung dengan nilai tahanan jenis berkisar 45.5–174 Ω m, 51.8–204 Ω m, 74–233 Ω m, dan 48.1–180 Ω m. Hasil ini menunjukkan bahwa potensi terjadinya longsor di daerah ini cukup besar.

Kata Kunci: bidang gelincir, Geolistrik, *Schlumberger*.

KATA PENGANTAR



Alhamdulillahirabbil'alamin, selalu bersyukur kepada Allah SWT atas limpahan nikmat, rahmat, dan karunia-Nya yang tiada henti penulis terima dan rasakan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Identifikasi Parameter Bidang Gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi *Schlumberger*.

Penelitian ini merupakan penelitian payung dosen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang atas nama Bapak Drs. Akmam, M.Si. Penelitian induk dilakukan pada tahun 2017 sampai tahun 2018. Penelitian tersebut berjudul "Optimalisasi Metoda Inversi *Least-Square* Data Geolistrik Tahanan Jenis untuk Estimasi Daerah Rawan Longsor di Sumatera Barat".

Penulisan skripsi ini merupakan salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Penulis mendapatkan bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak selama penyelesaian skripsi ini. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Drs. Akmam, M.Si sebagai Dosen Pembimbing dan Penasehat Akademik.
2. Bapak Dr. Hamdi, M.Si dan Bapak Dr. H. Ahmad Fauzi, M.Si selaku Dosen Penguji.
3. Ibu Dr. Hj. Ratna Wulan, M.Si sebagai Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.

4. Bapak Yohandri, S.Si, M. Si, Ph. D sebagai Sekretaris Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
5. Ibu Syafriani, S.Si, M.Si, Ph.D sebagai Ketua Prodi Fisika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
6. Bapak dan Ibu staf Pengajar Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
7. Kedua Orang Tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan, do'a, serta motivasi kepada penulis.
8. Edi Kurnia, S.Si dan rekan-rekan Geofisika 2016, 2017, dan 2018 sebagai teknisi dan teman-teman yang membantu dalam kegiatan pengambilan data.
9. Teman-teman FISIKA 2015 yang sama-sama berjuang dan berbagai pihak yang telah membantu penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Padang, Agustus 2019

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	5
C. Batasan Masalah	6
D. Rumusan Masalah.....	6
E. Tujuan Penelitian	6
F. Manfaat Penelitian	7
G. Definisi Istilah.....	7
BAB II KERANGKA TEORITIS.....	9
A. Kajian Teori	9
B. Penelitian-Penelitian Relevan	30
C. Deskripsi Geologi Daerah Penelitian.....	32
D. Kerangka Berfikir	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	36
A. Jenis Penelitian.....	36
B. Lokasi Penelitian.....	36
C. Variabel Penelitian.....	37

D. Instrumen dan Bahan Penelitian	38
E. Teknik Pengolahan Data	39
F. Teknik Analisa Data	40
G. Teknik Interpretasi dan Estimasi Data	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Deskripsi Data	42
B. Interpretasi Data	43
C. Pembahasan	49
BAB V PENUTUP	58
A. Kesimpulan	58
B. Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Beberapa Jenis Tanah Longsor.....	11
Gambar 2.	Gaya yang Bekerja pada Bidang Miring	12
Gambar 3.	Silinder Konduktor	16
Gambar 4.	Penjalaran Arus di bawah Permukaan Medium Homogen.....	20
Gambar 5.	Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial diatas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Resistivitas ρ	23
Gambar 6.	Susunan Elektroda Konfigurasi <i>Schlumberger</i>	25
Gambar 7.	Topografi Perbukitan Lipatan.....	27
Gambar 8.	Grafik Linier.....	30
Gambar 9.	Rencana Tata Ruang Daerah Kabupaten Solok.....	33
Gambar 10.	Kerangka Berfikir.....	35
Gambar 11.	Lokasi Pengukuran	37
Gambar 12.	Penampang Vertikal 2D Tahanan Jenis Bawah Permukaan Lintasan 1 dengan Topografi.....	44
Gambar 13.	Penampang Vertikal 2D Tahanan Jenis Bawah Permukaan Lintasan 2 dengan Topografi.....	46
Gambar 13.	Penampang Vertikal 2D Tahanan Jenis Bawah Permukaan Lintasan 3 dengan Topografi.....	47
Gambar 14.	Penampang Vertikal 2D Tahanan Jenis Bawah Permukaan Lintasan 4 dengan Topografi.....	48

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Tahanan Jenis Batuan Beku dan Metamorf	17
Tabel 2. Tahanan Jenis Batuan Beku dan Sedimen	18
Tabel 3. Nilai Arus, Beda Potensial, dan Tahanan Jenis Semu Minimum dan Maksimum Tiap Lintasan Pengukuran	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Data Lintasan 1	65
Lampiran 2.	Data Lintasan 2	66
Lampiran 3.	Data Lintasan 3	67
Lampiran 4.	Data Lintasan 4	68
Lampiran 5.	Perhitungan Sudut Kemiringan Lereng dan Bidang Gelincir Lintasan 1	69
Lampiran 6.	Perhitungan Sudut Kemiringan Lereng dan Bidang Gelincir Lintasan 2	70
Lampiran 7.	Perhitungan Sudut Kemiringan Lereng dan Bidang Gelincir Lintasan 3	71
Lampiran 8.	Perhitungan Sudut Kemiringan Lereng dan Bidang Gelincir Lintasan 4	72
Lampiran 9.	Penentuan Kedalaman Bidang Gelincir Lintasan 1	73
Lampiran 10.	Penentuan Kedalaman Bidang Gelincir Lintasan 2	73
Lampiran 11.	Penentuan Kedalaman Bidang Gelincir Lintasan 3	73
Lampiran 12.	Penentuan Kedalaman Bidang Gelincir Lintasan 4	73

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Secara Geografis, wilayah Indonesia merupakan kawasan beriklim tropis, memiliki musim hujan dan kemarau serta diikuti oleh adanya pemanasan global. Pada musim kemarau, suhu permukaan menjadi sangat panas dan pada musim hujan menjadi sangat dingin. Kondisi ini didukung oleh adanya aktivitas manusia yang melakukan penebangan pohon. Dampaknya, pada musim kemarau terjadi retakan pada batuan dan pada musim hujan air dapat langsung masuk melalui celah batuan. Kondisi ini mengakibatkan tingginya tingkat pelapukan di Indonesia.

Batuan yang mengalami pelapukan merupakan salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya longsor. Hal ini dikarenakan lapisan lapuk tersebut mampu membentuk suatu bidang batas yang dinamakan dengan bidang gelincir. Bidang gelincir merupakan suatu bidang batas antara material yang bergerak dengan material yang diam. Bidang gelincir berperan sebagai bidang batas tempat Bergeraknya material longsor. Longsor merupakan proses Bergeraknya material alam (tanah maupun batuan), lapisan hasil sedimen yang belum terkonsolidasi. Longsor disebabkan oleh adanya pengaruh dari berbagai fenomena alam seperti gempa bumi dan hujan dengan intensitas tinggi, serta didukung oleh kondisi alam yang memiliki lereng perbukitan curam. Selain itu, aktivitas manusia juga dapat memicu terjadinya bencana longsor, seperti penebangan pohon dan pembuatan tempat tinggal di lereng perbukitan. Longsor sering terjadi di beberapa daerah di Indonesia, salah satunya di provinsi Sumatera Barat.

Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang terdapat di Pulau Sumatera yang memiliki dataran rendah pada daerah pantai Barat dan dataran tinggi yang ditandai dengan Bukit Barisan. Selain itu, secara Geologis provinsi Sumatera Barat juga merupakan daerah yang rawan terjadi gempa bumi karena terletak di zona subduksi. Zona subduksi merupakan daerah pertemuan lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia. Lempeng–lempeng tersebut dapat mengalami tumbukan sehingga terbentuk lipatan (Muntahor, 2010). Lipatan merupakan suatu gerakan lapisan kerak bumi yang umumnya berbentuk gelombang. Lipatan terbagi menjadi 2 macam, yakni sinklinal dan antiklinal. Sinklinal merupakan hasil lipatan dari permukaan bumi yang berada di bawah dan berbentuk cekung seperti lembah dan danau. Sedangkan antiklinal merupakan kebalikan dari sinklinal, yakni bentukan dari lipatan yang berada di atas dan berbentuk cembung seperti pegunungan maupun perbukitan (Noor, 2009). Kondisi tersebut menjadikan provinsi Sumatera Barat memiliki topografi yang bergelombang. Selain itu, diikuti oleh terdapatnya batuan yang mengalami pelapukan di lereng perbukitan sehingga menyebabkan Sumatera Barat rentan terhadap bencana longsor. Salah satu daerah di Sumatera Barat yang memiliki topografi lereng adalah Kabupaten Solok.

Kabupaten Solok merupakan daerah yang strategis karena didalamnya terdapat jalan lintas Sumatera. Kabupaten Solok berada tepat ditengah-tengah provinsi Sumatera Barat, berperan sebagai penghubung Kota Padang atau Bukittinggi dengan provinsi Jambi maupun Jakarta. Salah satu kecamatan di Kabupaten Solok yang ikut berperan sebagai jalur lintas Sumatera adalah Kecamatan IX Koto Sungai Lasi ($00^{\circ}44'10''-00^{\circ}52'33''$ LS dan $100^{\circ}41'36''-$

100°50'12" BT). Kecamatan IX Koto Sungai Lasi termasuk kepada daerah yang cukup banyak ditemui lereng-lereng terjal yang memiliki potensi mengalami bencana longsor. Longsor yang terjadi di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi pada umumnya disebabkan oleh curah hujan yang tinggi sehingga mengakibatkan penambahan massa tanah pada beberapa lereng yang curam. Data curah hujan pada Kecamatan IX Koto Sungai Lasi terbaru adalah pada tahun 2017 dengan nilai yang cukup tinggi yaitu dengan rata-rata 1721.7 mm (BPS Kabupaten Solok, 2017). Curah hujan inilah yang berdampak pada bencana longsor di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi.

Bulan April 2017 di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi telah terjadi bencana tanah longsor yang disebabkan tingginya curah hujan dan mengakibatkan 1 orang meninggal dunia serta 1 orang luka-luka. Setelahnya, pada bulan Desember 2017 terjadi banjir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi yang berujung kepada bencana alam tanah longsor, mengakibatkan 1 orang meninggal dan 4 rumah berstatus rusak berat, serta rumah dengan status rusak ringan sebanyak 2 rumah (BNPB, 2017). Penambahan massa tanah oleh curah hujan mengakibatkan terjadinya gerakan tanah khususnya pada perbukitan yang memiliki kemiringan $> 15^\circ$ dan juga dapat mengakibatkan material longsor jatuh hingga menutupi ruas jalan lintas Sumatera. Kejadian tersebut akan sangat merugikan masyarakat setempat maupun pengguna jalan lintas Sumatera. Jika longsor menutupi jalan, dapat menimbulkan kerugian besar yakni tertutupnya akses transportasi yang berperan sebagai jalan lintas Sumatera, satu-satunya jalan penghubung provinsi Sumatera Barat menuju provinsi Jambi maupun Jakarta. Dalam akses transportasi terdapat berbagai keperluan domestik, seperti kebutuhan sandang, pangan, dan papan. Selain itu,

aktivitas masyarakat setempat juga dapat terganggu baik berupa keperluan individu maupun umum.

Kegiatan identifikasi parameter bidang gelincir meliputi kedalaman dan sudut kemiringannya di bawah permukaan bumi perlu dilakukan guna mengetahui potensi longsor di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok. Berdasarkan hal tersebut, dibutuhkan eksplorasi yang mampu mengidentifikasi lapisan bawah permukaan bumi. Eksplorasi yang dibutuhkan adalah yang mampu menghasilkan pengukuran cukup dalam agar bidang gelincir yang letaknya sangat dalam pun dapat diidentifikasi. Salah satu metoda Geofisika yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi lapisan tanah bawah permukaan daerah rawan longsor adalah menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis. Metode Geolistrik Tahanan Jenis mampu mengetahui distribusi nilai tahanan jenis di bawah permukaan bumi dengan pengukuran yang dilakukan di atas permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat kelistrikan yang dimiliki oleh batuan. Metoda ini dikenal dengan banyaknya konfigurasi elektroda, seperti *Schlumberger*, *Wenner*, *Double-Dipole*, *Pole Dipole*, dan lain sebagainya. Penelitian ini menggunakan konfigurasi *Schlumberger* yang memiliki kemampuan penetrasi arus cukup dalam berdasarkan spasi elektroda arusnya. Kelebihan yang dimiliki oleh konfigurasi ini adalah memiliki ketelitian vertikal yang lebih baik dibandingkan konfigurasi *Dipole-dipole*, penetrasi kedalaman yang lebih baik dibandingkan konfigurasi *Wenner* (Reynold, 1997), dan waktu pengukuran yang lebih cepat dibandingkan dengan *Dipole-dipole*. Jadi, konfigurasi *Schlumberger* cocok digunakan dalam penelitian ini yakni untuk menentukan parameter bidang gelincir berupa kedalaman dan sudut kemiringannya.

Interpretasi data dilakukan dengan menggunakan metode Inversi *Smoothness Constraint Least-Square*. Metode Inversi tersebut mampu meminimalisir perbedaan antara data lapangan dengan data yang diprediksi melalui bentuk penampang vertikal 2D di bawah permukaan (Loke, 2004). Hasil interpretasi menghasilkan suatu bentuk penampang 2D dengan variasi nilai tahanan jenis yang *smooth*. Maka dari itu metode inversi ini cocok digunakan untuk mendapatkan hasil nilai tahanan jenis yang lebih baik.

Berdasarkan uraian di atas, telah dilakukan penelitian dengan kegiatan mengidentifikasi parameter bidang gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger*. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai parameter bidang gelincir berupa kedalaman dan sudut kemiringannya di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok. Informasi tersebut diharapkan dapat bermanfaat sebagai bahan mitigasi bencana longsor di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka identifikasi masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Belum diketahui kedalaman bidang gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok.
2. Belum diketahui sudut kemiringan bidang gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok.
3. Wilayah penelitian berada pada perbukitan yang cukup luas di tepi jalan raya lintas Sumatera di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan pada penelitian, maka dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Kedalaman dan sudut kemiringan bidang gelincir diidentifikasi berdasarkan penampang vertikal 2D tahanan jenis sesungguhnya hasil inversi menggunakan metode Inversi *Smoothness Constraint Least-Square* dan teori Trigonometri.
2. Pengukuran dilakukan pada lereng perbukitan yang sama, sedangkan satu lintasan berada pada lereng perbukitan yang berbeda.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapa kedalaman bidang gelincir yang terdapat di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok berdasarkan penampang vertikal 2D tahanan jenis tanpa topografi?
2. Berapa besar sudut kemiringan bidang gelincir yang terdapat di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok berdasarkan penampang vertikal 2D tahanan jenis dengan topografi?

E. Tujuan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah dan dapat menjawab rumusan masalah yang telah diuraikan, maka adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui kedalaman bidang gelincir yang terdapat di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok berdasarkan penampang vertikal 2D tahanan jenis tanpa topografi.

2. Mengetahui besar sudut kemiringan bidang gelincir yang terdapat di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok berdasarkan penampang vertikal 2D tahanan jenis dengan topografi.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yaitu:

1. Memberikan informasi lebih detail tentang jenis batuan pada bidang gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok.
2. Memberikan informasi mengenai potensi longsor berdasarkan kedalaman dan sudut kemiringan bidang gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok.
3. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan jenis batuan pada bidang gelincir dan potensi longsor di Kabupaten Solok.

G. Definisi Istilah

Berikut merupakan beberapa istilah-istilah yang digunakan dalam penelitian agar terdapat kesamaan pemahaman terhadap variabel yang diteliti, yaitu:

1. Lereng merupakan permukaan yang landai atau miring yang biasanya terdapat pada pegunungan dan perbukitan.
2. Longsor merupakan proses perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, tanah, bahan rombakan atau material campuran.
3. Bidang gelincir merupakan bidang miring yang bersifat padat dan menahan air sehingga memungkinkan material longsor bergerak di atasnya.
4. Tahanan jenis merupakan kemampuan suatu bahan dalam menghambat arus listrik.

5. Metode Geolistrik merupakan salah satu metode dalam Geofisika yang digunakan untuk mengetahui struktur bawah permukaan bumi dengan mempelajari sifat aliran listrik di dalam batuan di bawah permukaan bumi.
6. Konfigurasi *Schlumberger* merupakan konfigurasi dalam eksplorasi Geolistrik dimana spasi jarak elektroda potensial lebih kecil daripada jarak elektroda arus.

BAB II KERANGKA TEORITIS

A. Kajian Teori

1. Longsor

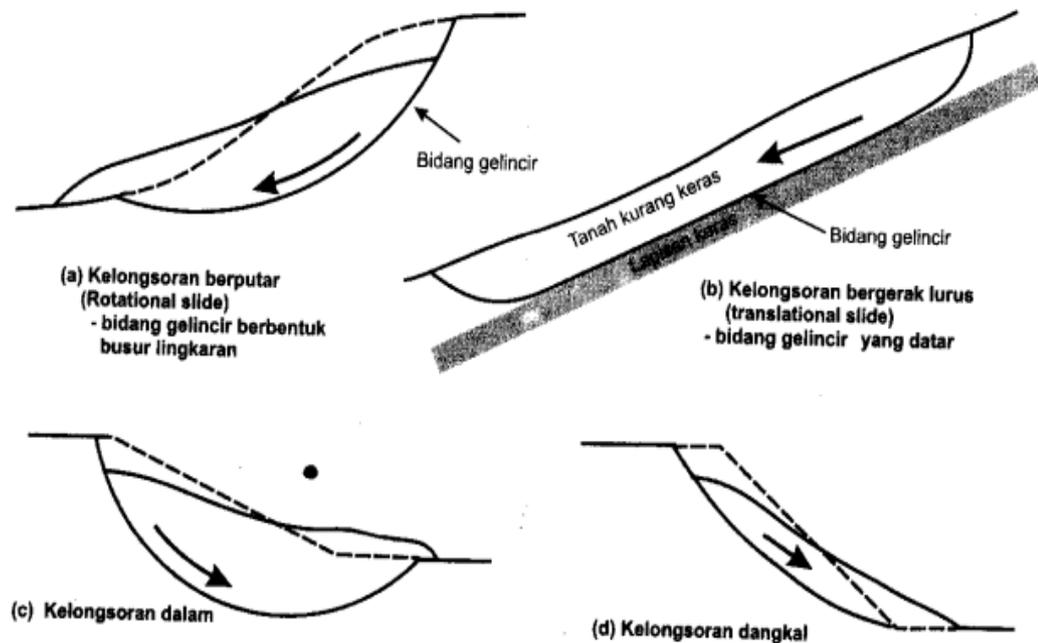
Longsor merupakan suatu proses degradasi alami permukaan bumi, terjadi ketika terdapat perpindahan masa batuan, puing-puing, atau material tanah yang meluncur sepanjang daerah yang memiliki kemiringan tertentu. Menurut Varnes (1978) tanah longsor adalah gerakan masa tanah (termasuk batuan), lapisan hasil pelapukan yang belum terkonsolidasi atau lapisan tanah pada bagian lereng dengan kemiringan landai sampai sangat curam ke arah kaki lereng sebagai akibat terlampauinya keseimbangan daya tahan lereng. Menurut Muntahor (2010) longsor merupakan pergerakan masa tanah atau batuan ke arah bawah yang disebabkan dan dipicu oleh jenis batuan, bentuk lahan, struktur dan perlapisan batuan, kemiringan lereng, ketebalan tanah lapuk dan curah hujan. Menurut Darsono (2012) longsor merupakan sebuah fenomena alam yang disebabkan oleh adanya pengaruh dari bidang gelincir (*slip surface*) atau bidang geser (*shear surface*). Jadi, longsor merupakan suatu bencana alam yang dipengaruhi serta dipicu oleh berbagai sebab dan salah satunya adalah bidang gelincir yang terletak pada suatu kemiringan.

Secara umum longsor disebabkan oleh faktor pendorong dan pemicu. Menurut Noor (2006) faktor pendorong adalah sifat batuan atau material itu sendiri, sedangkan faktor pemicu adalah faktor yang menyebabkan batuan itu bergerak. Faktor internal yang dapat menyebabkan terjadi gerakan tanah adalah daya ikat tanah atau batuan yang lemah sehingga butiran tanah dan batuan dapat

terlepas dari ikatannya. Pergerakan butiran ini dapat menyeret butiran lainnya yang ada disekitarnya sehingga membentuk masa yang lebih besar dan menambah peluang untuk menuruni lereng secara bersamaan. Sedangkan faktor eksternal yang dapat mempercepat dan memicu terjadinya gerakan tanah diantaranya sudut kemiringan lereng, curah hujan, perubahan kelembaban tanah, dan tutupan lahan.

Longsor biasanya terjadi pada daerah perbukitan (Amir, 2019), daerah hasil pemotongan lereng untuk jalan atau permukiman, dan juga lahan-lahan galian tambang. Longsor terjadi karena lereng tidak stabil, sehingga material atau batuan di atas lereng kemudian bergerak menurun. Ketidakstabilan lereng dapat disebabkan oleh beberapa hal seperti penjumlahan material akibat proses infiltrasi, pengaruh gravitasi, aliran air yang tidak tertampung, dan adanya batas kontak antara material stabil dan tidak stabil yang berfungsi sebagai bidang gelincir. Lereng yang tidak stabil mampu menurunkan material tanah atau batuan sampai kepada area dimana gravitasi tidak berpengaruh lagi karena material tersebut sudah berada pada bidang yang memiliki kondisi lereng yang stabil. Bidang gelincir merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diketahui. Bidang gelincir merupakan suatu bidang batas antara masa material yang bergerak dan diam (Zakaria, 2009). Bidang gelincir merupakan bidang dimana material suatu longsor bergerak di atasnya (Wesley, 2012). Jadi, bidang gelincir merupakan suatu bidang tempat Bergeraknya material yang mengalami longsor. Gerakan material tersebut disebabkan oleh terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng serta pergerakan alami yang disebabkan oleh proses Geologi seperti gempa bumi dan hujan dengan intensitas yang tinggi. Terdapat jenis

longsor yang terjadi pada bidang gelincir. Jenis longsor yang bergerak pada bidang gelincir ditunjukkan pada Gambar 1.



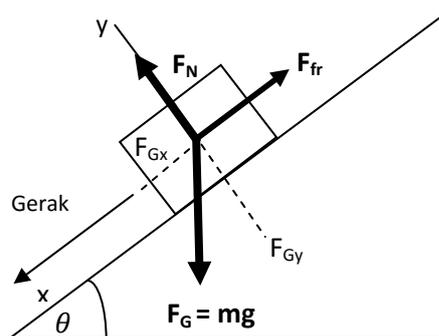
Gambar 1. Beberapa Jenis Tanah Longsor (Wesley, 2012)

Berdasarkan Gambar 1 dapat diketahui jenis longsor berupa 1(a) Kelongsoran berputar (*Rotational Slide*) dan 1(b) Kelongsoran lurus (*Translational Slide*). *Rotational Slide* merupakan jenis longsor yang melengkung keatas (seperti sendok) dengan pergerakan yang kurang lebih berputar mengikuti sumbu yang sejajar dengan lereng yang stabil. Sedangkan *Translational Slide* merupakan longsor yang mengakibatkan masa bergerak keluar dan menuruni lereng sejajar dengan permukaan. *Translational Slide* umum terjadi pada semua lingkungan dengan kedalaman yang lebih dangkal dibandingkan dengan *Rotational Slide* (Highland, 2008). Longsor merupakan pergerakan tanah yang terjadi pada suatu lereng yang memiliki kemiringan tertentu.

Dalam ilmu Fisika dijelaskan bahwasanya suatu benda dapat bergerak jika diberi gaya. Longsor terjadi karena adanya ketidaksetimbangan material akibat dari adanya pengaruh gravitasi. Gerakan longsor terjadi disebabkan adanya gaya yang bekerja pada suatu benda yang menuruni bidang miring. Gaya tersebut berupa gaya gesek yang dipengaruhi oleh adanya gaya gravitasi. Pengaruh gravitasi dinyatakan dalam Persamaan (1) berikut.

$$\Sigma F = ma \quad (1)$$

ΣF merupakan resultan gaya yang bekerja pada benda (N), m merupakan massa benda (kg), dan a merupakan percepatan benda (m/s). Ilustrasi pergerakan benda pada bidang miring dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Gaya yang Bekerja pada Bidang Miring (Giancoli, 2001)

Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat ketika sebuah benda bergerak di sepanjang bidang yang kasar dan miring, gaya gesek (F_{fr}) bekerja pada kedua permukaannya yang besarnya sebanding dengan gaya normal (F_N) antara kedua permukaan benda. Gaya normal tegak lurus terhadap permukaan benda miring dan gaya gesek sejajar dengan permukaan (Giancoli, 2001). Kemudian gaya berat (F_G) yang memiliki arah dan dapat diuraikan sebagai berikut:

$$F_{Gx} = mg \sin \theta \quad (2)$$

$$F_{Gy} = mg \cos \theta \quad (3)$$

Gerak yang terjadi pada suatu benda miring dapat berupa gerak translasi dan gerak rotasi. Longsor dapat bergerak secara rotasi dikarenakan adanya momen gaya yang bekerja pada material longsor tersebut. Momen gaya timbul akibat gaya yang bekerja pada benda tidak tepat pada pusat massa. Pusat massa merupakan suatu titik yang bergerak dalam lintasan yang sama dengan yang dilewati benda jika mendapat gaya yang sama, baik pada benda yang bergerak secara rotasi maupun beberapa benda yang bergerak relatif satu dengan yang lainnya (Giancoli, 2001). Jadi, longsor terjadi dikarenakan adanya beberapa gaya yang menyebabkan material tersebut bergerak baik secara translasi maupun rotasi.

Kedalaman bidang gelincir penting untuk diketahui karena dapat mengetahui seberapa besar resiko longsor yang dapat terjadi. Kedalaman bidang gelincir yang merupakan batas antara masa yang bergerak dengan yang diam dari permukaan tanah sangat penting untuk pendeskripsian longsor (Fransheri, 1998). Kedalaman bidang gelincir dapat diukur dari permukaan menggunakan penampang vertikal 2D tahanan jenis sesungguhnya. Menurut Zakaria (2009) terdapat 4 tingkat kedalaman bidang gelincir yaitu sangat dangkal untuk kedalaman kurang dari 1.5 m, dangkal untuk kedalaman 1.5–5 m, dalam untuk kedalaman 5–20 m, dan sangat dalam untuk kedalaman lebih dari 20m. Terlihat pada Gambar 1(c) dan 1(d) bahwasanya bidang gelincir ada yang letaknya dalam, ada pula yang dangkal. Menurut Highland (2008) bidang gelincir dari kelongsoran berputar terletak lebih dalam dibandingkan dengan kelongsoran lurus. Semakin dalam letak bidang gelincir, semakin besar resiko longsor yang dapat terjadi. Sebaliknya, semakin dangkal letak bidang gelincir, tingkat bahaya longsor semakin kecil.

Bidang gelincir yang terdapat pada lereng memiliki kemiringan yang berbeda dengan kemiringan lereng. Suatu lereng mengalami longsor apabila terjadi gangguan keseimbangan pada gaya-gaya yang bekerja pada lereng, dimana gaya pendorong yang lebih besar daripada gaya penahannya. Ilmu Statika (salah satu cabang ilmu Mekanika) menjabarkan teori kesetimbangan pada benda. Kesetimbangan adalah keadaan benda yang diam atau bergerak dengan kecepatan tetap (konstan). Syarat benda bergeser adalah resultan gayanya tidak sama dengan nol dan momen gayanya sama dengan nol. Syarat benda berguling adalah resultan gayanya sama dengan nol dan resultan momen gayanya tidak sama dengan nol. Syarat benda menggelinding adalah resultan gaya dan momen gayanya tidak sama dengan nol. Keseimbangan translasi adalah keseimbangan yang dialami benda ketika bergerak dengan kecepatan linear konstan atau tidak mengalami perubahan linear. Keseimbangan rotasi adalah keseimbangan yang dialami benda ketika bergerak dengan kecepatan sudut konstan atau tidak mengalami percepatan sudut. Jika suatu material pada lereng berada dalam keadaan seimbang stabil dipengaruhi oleh gaya luar sehingga menyebabkan benda tersebut menggelinding tanpa *slip*, maka material tersebut mengalami gerak translasi dan rotasi (Giancoli, 2001). Semakin curam suatu lereng, kestabilannya semakin kecil. Menurut Zuidam (1985) kemiringan suatu lereng dapat diklasifikasikan menjadi 7 bagian, yaitu 0° - 2° untuk lereng dengan kemiringan datar, 2° - 4° untuk lereng dengan kemiringan landai, 4° - 8° untuk lereng dengan kemiringan miring, 8° - 16° untuk lereng dengan kemiringan agak curam, 16° - 35° untuk lereng dengan kemiringan curam, 35° - 55° untuk lereng dengan kemiringan sangat curam, dan $>55^{\circ}$ untuk lereng dengan kemiringan terjal. Menurut Highland (2008) kelongsoran berputar terjadi pada

lereng perbukitan yang memiliki kemiringan 20° – 40° . Sudut kemiringan lereng termasuk salah satu indikator yang perlu diketahui dan dapat diperhitungkan. Sudut kemiringan lereng dan bidang gelincir dapat dihitung menggunakan konsep Trigonometri pada Persamaan (4) berikut:

$$\sin \theta = \frac{y}{r} \quad (4)$$

Nilai sinus dari suatu sudut (θ) yang hendak dicari derajat kemiringannya dapat diketahui dengan melihat perbandingan sisi siku-siku didepan sudut sebagai selisih nilai elevasi (y) dengan sisi miringnya sebagai selisih jarak elektroda (r). Potensi longsor umumnya terjadi pada lereng yang memiliki kemiringan $> 15^{\circ}$.

Suatu daerah dinyatakan memiliki potensi longsor apabila memenuhi tiga syarat, yaitu memiliki lereng yang cukup curam, memiliki bidang gelincir berupa lapisan di bawah permukaan tanah yang semi permiabel dan lunak, dan terdapat cukup air untuk menjenuhi tanah di atas bidang gelincir (Anwar, 2012). Selain itu, pelapukan batuan yang terdapat di permukaan juga dapat membantu melihat potensi longsor walaupun keakuratannya sangat kecil. Tanah longsor yang banyak terjadi di Indonesia terjadi pada topografi terjal dengan sudut lereng 15° – 45° dan pada batuan vulkanik lapuk dengan curah hujan tinggi (Naryanto, 2011, Brahmantyo, 2014). Pada musim hujan, terjadi peningkatan massa tanah akibat air yang meresap ke dalam batuan sehingga dapat memicu perpindahan tanah. Perpindahan tanah dapat terjadi pada suatu daerah yang memiliki bidang gelincir (Supeno, 2008). Jadi, lereng yang terjal, curah hujan yang tinggi, bidang gelincir yang lapuk, dan tanah dengan kejenuhan terhadap air yang tinggi dapat memicu terjadinya longsor.

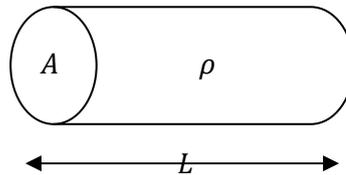
2. Metode Geolistrik

a. Tahanan Jenis

Hukum Ohm menyatakan bahwa beda potensial berbanding lurus dengan arus listrik dan hambatan. Hukum Ohm dinyatakan oleh Persamaan (5) berikut:

$$V = I R \quad (5)$$

dimana V adalah beda potensial atau tegangan (V), R adalah hambatan atau resistansi (Ω), dan I adalah arus listrik (A). Sebuah silinder konduktor dengan panjang L (m), luas penampang A (m^2), dan resistansi R (Ω), seperti pada Gambar 3 berikut:



Gambar 3. Silinder Konduktor (Telford et al., 1990)

Berdasarkan Gambar 3, dapat diketahui nilai resistansi pada silinder konduktor pada Persamaan (6):

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (6)$$

dimana ρ adalah tahanan jenis (resistivitas) (Ωm).

Substitusi Persamaan (5) ke Persamaan (6) menghasilkan rumusan nilai tahanan jenis (ρ) yaitu:

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (7)$$

Tahanan jenis berbanding terbalik dengan konduktivitas, artinya semakin besar tahanan jenis suatu benda, konduktivitas benda tersebut semakin kecil. Secara matematis dapat dirumuskan dengan Persamaan (8) berikut:

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \quad (8)$$

dimana σ adalah konduktivitas bahan (Ωm)⁻¹ (Telford *et al.*, 1990).

Secara umum berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan dan mineral dapat dikelompokkan menjadi tiga, yakni konduktor baik yang memiliki rentang nilai tahanan jenis $10^{-8} \Omega\text{m} < \rho < 1 \Omega\text{m}$, konduktor menengah dengan rentang nilai tahanan jenis $1 \Omega\text{m} < \rho < 10^7 \Omega\text{m}$, dan isolator dengan rentang nilai tahanan jenis $> 10^7 \Omega\text{m}$ (Telford *et al.*, 1990). Adapun nilai tahanan jenis dari berbagai batuan dapat dilihat pada Tabel 1 dan 2 berikut:

Tabel 1. Nilai Tahanan Jenis Batuan Beku dan Metamorf

Jenis Batuan	Nilai Tahanan Jenis (Ωm)
<i>Granite</i>	$3 \times 10^2 - 10^6$
<i>Granite porphyry</i>	4.5×10^3 (basah) – 1.3×10^6 (kering)
<i>Diorite</i>	$10^4 - 10^5$
<i>Diorite porphyry</i>	1.9×10^3 (basah) – 2.8×10^4 (kering)
<i>Porphyrite</i>	$10 - 5 \times 10^4$ (basah) – 3.3×10^3 (kering)
<i>Quartz diorite</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (basah) – 1.8×10^5 (kering)
<i>Porphyry (various)</i>	60×10^4
<i>Andesite</i>	4.5×10^4 (basah) – 1.7×10^2 (kering)
<i>Diabase porphyry</i>	10^3 (basah) – 1.7×10^5 (kering)
<i>Diabase (various)</i>	$20 - 5 \times 10^7$
<i>Lavas</i>	$10^2 - 5 \times 10^4$
<i>Gabbro</i>	$10^3 - 10^6$
<i>Basalt</i>	$10 - 1.3 \times 10^7$ (kering)
<i>Hornfels</i>	8×10^3 (basah) – 6×10^7 (kering)
<i>Schists</i>	$20 - 10^4$
<i>Tuffs</i>	2×10^3 (basah) – 10^5 (kering)
<i>Gneiss (various)</i>	6.8×10^4 (basah) – 3×10^6 (kering)
<i>Marble</i>	$10^2 - 2.5 \times 10^8$ (kering)
<i>Skarn</i>	2.5×10^2 (basah) – 2.5×10^8 (kering)
<i>Quartzites (various)</i>	$10 - 2 \times 10^8$

(Sumber: Telford *et al.*, 1990).

Tabel 2. Nilai Tahanan Jenis Batuan Sedimen

Jenis Batuan	Nilai Tahanan Jenis(Ωm)
<i>Consolidated shales</i>	$20 - 2 \times 10^3$
<i>Conglomerates</i>	$2 \times 10^3 - 10^4$
<i>Sandstones</i>	$1 - 6.4 \times 10^8$
<i>Limestones</i>	$50 - 10^7$
<i>Dolomite</i>	$3.5 \times 10^2 - 5 \times 10^3$
<i>Unconsolidates wet clay</i>	20
<i>Marls</i>	3 - 70
<i>Clays</i>	1 - 100
<i>Alluvium and Sand</i>	10 - 800
<i>Oil sands</i>	4 - 800

(Sumber: Telford *et al.*, 1990).

Tabel 1 dan 2 menunjukkan bahwa secara umum nilai tahanan jenis batuan sedimen lebih kecil dibandingkan nilai tahanan jenis batuan beku dan metamorf. Selain hal itu, dapat juga diartikan bahwasanya konduktivitas yang dimiliki oleh batuan sedimen lebih besar dibandingkan dengan batuan beku dan metamorf. Nilai tahanan jenis batuan yang kecil memiliki kemampuan menghantarkan listrik lebih besar dibandingkan dengan batuan yang memiliki nilai tahanan jenis besar.

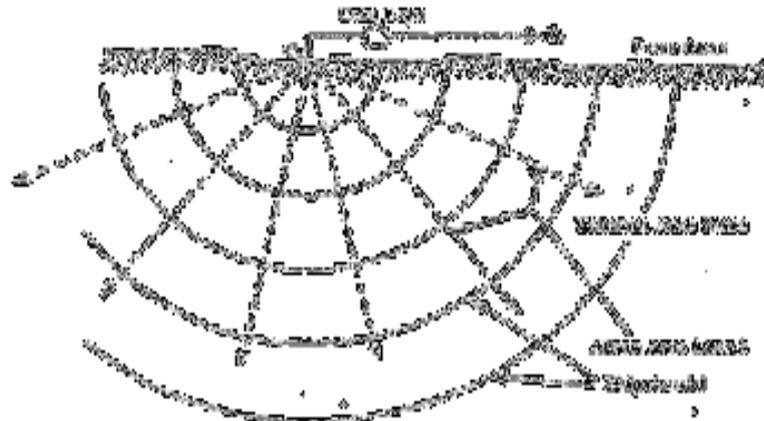
b. Sifat Kelistrikan Batuan

Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik yang dimiliki oleh batuan dalam menghantarkan arus listrik. Bumi memiliki tahanan jenis tersendiri jika dialiri oleh arus listrik. Konduktivitas batuan di dekat permukaan bumi kebanyakan ditentukan oleh jumlah distribusi air garam pada batuan berpori di bawah lapisan sedimen dan di bawahnya, tekanan begitu besarnya sehingga pori-pori tertutup dan hanya konduktivitas batuan keraslah yang membawa arus listrik. Konduktivitas batuan beku dan metamorf lebih rendah dari rata-rata formasi sedimen (Santoso, 2002). Jadi, selain memiliki tahanan jenis, batuan di bawah permukaan bumi juga mampu menghantarkan arus listrik (konduksi).

Secara listrik, terdapat tiga macam aliran arus di dalam batuan, yaitu konduksi elektrolitik, konduksi elektronik, dan konduksi dielektrik. Konduksi elektrolitik disebabkan oleh gerakan ion dalam elektrolit yang relatif lambat dan bergantung kepada jenis ion, konsentrasi ion, mobilitas, dan lain-lain. Konduksi elektronik adalah proses yang terjadi pada logam, seperti elektron yang bergerak cepat, sehingga mampu membawa muatan. Konduksi dielektrik terjadi pada bahan yang sangat lemah (atau isolator), ketika arus bolak balik eksternal diterapkan, sehingga menyebabkan elektron atom bergeser sedikit sehubungan dengan inti atomnya (Reynolds, 1997). Tiga macam aliran arus listrik tersebut dikelompokkan berdasarkan objek dan proses terjadinya.

c. Geolistrik Tahanan Jenis

Metode Geolistrik Tahanan Jenis merupakan bagian dari metoda eksplorasi Geolistrik. Metode Geolistrik Tahanan Jenis dapat digunakan untuk mengestimasi kondisi Geologi bawah permukaan dengan memanfaatkan sifat arus listrik di dalam batuan dengan menganggap bumi sebagai sebuah konduktor. Parameter yang dapat diketahui adalah jenis batuan berdasarkan sifat kelistrikannya yakni berupa nilai tahanan jenis batuan di bawah permukaan (Telford *et al.*, 1990, Reynolds, 1997). Jenis batuan dan parameter lainnya yang terdapat di bawah permukaan bumi dapat diketahui dengan mengalirkan arus listrik ke dalam bumi. Gambaran dari penjalaran arus listrik di bawah permukaan bumi dapat dilihat pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Penjalaran Arus di Bawah Permukaan Medium Homogen (Telford *et al.*, 1990, Reynolds, 1997).

Aliran arus listrik di dalam bumi ditunjukkan pada Gambar 4. Arus yang dialirkan ke dalam bumi melalui sebuah elektroda arus mampu mengalir ke segala arah dengan membentuk bidang ekipotensial setengah bola yang memiliki arah tegak lurus dengan arus maupun medan listrik, dengan asumsi bumi bersifat homogen dan isotropis secara listrik. Homogen diartikan memiliki komposisi yang sama atau serupa, sedangkan isotropis diartikan memiliki sifat yang sama walau diberikan pembebanan dari arah yang berbeda. Arus listrik tidak mengalir ke udara karena udara memiliki nilai tahanan jenis yang sangat besar. Dengan demikian, akan didapatkan data nilai tahanan jenis batuan di dalam bumi, namun bukanlah nilai yang sebenarnya melainkan nilai tahanan jenis semu dikarenakan bumi tidaklah bersifat homogen isotropis, melainkan *subsurface* atau tidak homogen yakni berlapis serta memiliki nilai tahanan jenis yang berbeda.

Tahanan jenis batuan dianalisa dengan mengetahui beberapa besaran seperti medan potensial dan medan elektromagnetik yang diakibatkan oleh aliran arus listrik secara alamiah (pasif) maupun secara buatan (aktif). Konduksi secara elektronik mengalami aliran arus listrik pada suatu material dalam bentuk elektron-elektron bebas. Aliran tersebut menghasilkan medan listrik. Hubungan

antara rapat arus J dengan kuat medan listrik E menurut Hukum Ohm adalah sebagai berikut:

$$J = \sigma E \quad (9)$$

Sebagaimana diketahui bahwasanya perumusan untuk medan listrik $E = \frac{V}{L}$, maka diperoleh $J = \sigma \frac{V}{L}$. Kuat arus I sebanding dengan rapat arus J dan luas permukaan A , sehingga didapatkan besar kuat arus pada Persamaan (10) berikut:

$$I = JA = \sigma \frac{AV}{L} \quad (10)$$

Persamaan (10) menyatakan bahwa pada saat σ konstan, arus total I sebanding dengan beda potensial V .

Hubungan kerapatan arus J dengan tahanan jenis ρ dapat diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan (8) ke Persamaan (9) sebagai berikut:

$$J = \frac{E}{\rho} \quad (11)$$

Medan listrik E dimaksudkan sebagai daerah di sekitar benda bermuatan listrik yang masih mengalami gaya listrik sehingga bisa dinyatakan dengan Persamaan (12):

$$E = -\nabla V = -\frac{dV}{dr} \quad (12)$$

Persamaan (12) menunjukkan bahwasanya medan listrik E merupakan persamaan matematis berupa gradien potensial yakni perubahan potensial yang terjadi seiring dengan perubahan jarak antara titik tinjau dengan sumber arus. Hubungan antara gradien potensial dengan tahanan jenis ρ dan kerapatan arus J dapat diperoleh dengan mensubstitusikan Persamaan (12) ke Persamaan (11):

$$-\frac{dV}{dr} = \rho J \quad (13)$$

Kerapatan arus pada Persamaan (10) disubstitusikan ke Persamaan (13) dapat menghasilkan hubungan antara gradien potensial dengan luas permukaan A dan arus listrik I seperti Persamaan (14) berikut:

$$-\frac{dV}{dr} = \rho \frac{I}{A} \quad (14)$$

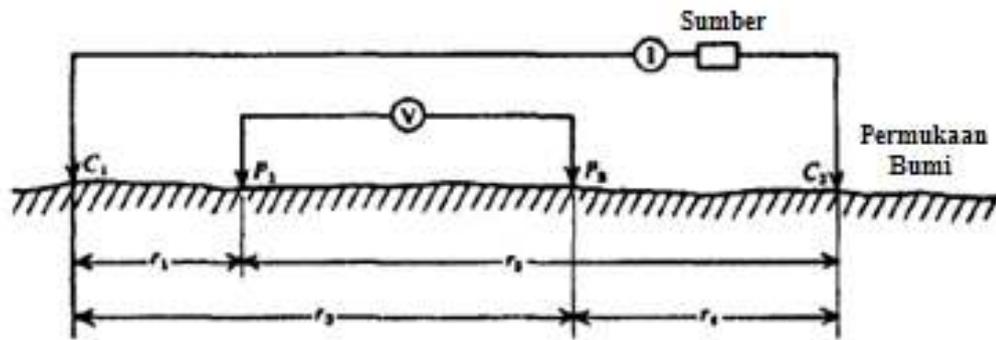
Luas permukaan distribusi arus adalah setengah bola yakni sebesar $2\pi r^2$ sehingga perbedaan potensial dV terhadap distribusi arus dr yaitu:

$$dV = -\rho \frac{I}{2\pi r^2} dr \quad (15)$$

Persamaan (15) dapat diselesaikan dengan langkah melakukan pengintegralan sehingga diperoleh beda potensial V pada titik r yaitu:

$$V(r) = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (16)$$

Metode Geolistrik pada umumnya digunakan untuk eksplorasi dangkal. Prinsip dalam metode Geolistrik adalah arus listrik diinjeksikan ke dalam bumi melalui dua elektroda arus, sedangkan beda potensial yang terjadi diukur melalui elektroda potensial. Variasi nilai tahanan jenis diturunkan dari hasil pengukuran beda potensial tersebut (Santoso, 2002). Elektroda yang digunakan adalah elektroda potensial dan elektroda arus. Ketika jarak diantara dua elektroda arus terbatas, potensial yang dekat pada titik permukaan akan dipengaruhi oleh kedua arus tersebut seperti yang terlihat pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Dua Elektroda Arus dan Dua Elektroda Potensial di atas Permukaan Tanah yang Homogen Isotropis dengan Resistivitas ρ (Telford *et al.*, 1990)

Berdasarkan Gambar 5 dapat diketahui bahwa C_1 adalah elektroda arus positif atau biasa disebut sebagai *source*, P_1 adalah elektroda potensial positif, C_2 adalah elektroda arus negatif atau biasa disebut sebagai *sink*, P_2 adalah elektroda potensial negatif, r_1 adalah jarak antara P_1 dengan C_1 , r_2 adalah jarak antara P_1 dengan C_2 , r_3 adalah jarak antara P_2 dengan C_1 , dan r_4 adalah jarak antara P_2 dengan C_2 . Adapun hubungan yang didapatkan adalah potensial berkurang seiring bertambahnya jarak dan arus pada kedua elektroda adalah sama, namun arahnya berlawanan, maka potensial yang disebabkan oleh sumber pada C_1 di P_1 adalah

$$V_1 = \frac{A_1}{r_1} \quad (17)$$

dimana $A_1 = \frac{I\rho}{2\pi}$

Sama halnya potensial yang disebabkan oleh sumber pada C_2 di P_1 adalah

$$V_2 = \frac{A_2}{r_2} \quad (18)$$

dimana $A_2 = -A_1 = -\frac{I\rho}{2\pi}$

(karena arus pada dua elektroda sama dan berlawanan arah). Besar potensial pada titik P adalah:

$$V_p = V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (19)$$

Terakhir, dengan mengetahui potensial yang disebabkan oleh kedua elektroda C_1 dan C_2 pada P_2 , dapat diukur perbedaan potensial antara P_1 dan P_2 , yaitu:

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\} \quad (20)$$

dapat juga ditulis

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} G = \frac{I\rho}{k} \quad (21)$$

atau

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (22)$$

dimana

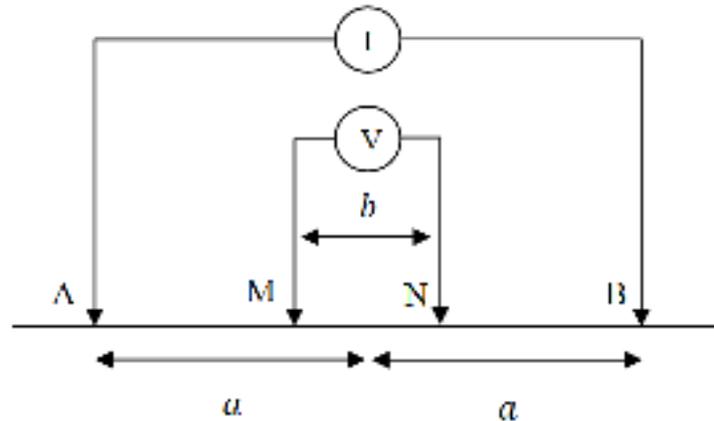
$$k = 2\pi \left\{ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left(\frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right\}^{-1} \quad (23)$$

k adalah faktor Geometri dari susunan elektroda. Nilai faktor Geometri berubah sesuai dengan perubahan jarak spasi antar elektroda. Artinya, k bergantung pada susunan atau konfigurasi yang digunakan (Telford *et al.*, 1990). Faktor Geometri sangat dibutuhkan untuk mengetahui nilai tahanan jenis semu.

d. Konfigurasi *Schlumberger*

Konfigurasi *Schlumberger* merupakan salah satu jenis konfigurasi dalam eksplorasi Geolistrik Tahanan Jenis. Konfigurasi ini dicirikan dengan susunan jarak elektroda arus lebih besar daripada elektroda potensial. Konfigurasi ini memiliki kemampuan penetrasi arus cukup dalam berdasarkan spasi elektroda arusnya. Kelebihan yang dimiliki oleh konfigurasi ini adalah memiliki ketelitian vertikal yang lebih baik dibandingkan konfigurasi *Dipole-dipole*, penetrasi kedalaman yang lebih baik dibandingkan konfigurasi *Wenner*, dan cocok untuk

VES (*Vertical Electrical Sounding*) (Reynolds, 1997). Susunan elektroda pada konfigurasi *Schlumberger* dapat dilihat pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Susunan Elektroda Konfigurasi *Schlumberger* (Reynolds, 1997)

Berdasarkan Gambar 6, dapat diketahui bahwasanya elektroda A dan B digunakan sebagai elektroda arus dan elektroda M dan N digunakan sebagai elektroda potensial, dimana jarak AB lebih besar daripada jarak MN. Jarak masing-masing elektroda dapat dirumuskan menjadi:

$$r_1 = r_4 = \frac{2a-b}{2} \text{ dan } r_2 = r_3 = \frac{2a+b}{2} \quad (24)$$

Persamaan (24) diketahui a adalah setengah jarak elektroda arus dan b adalah jarak elektroda potensial. Substitusi Persamaan (24) ke dalam Persamaan (23) untuk menghasilkan rumusan faktor Geometri dari konfigurasi *Schlumberger*:

$$k = 2\pi \left(\frac{1}{\frac{2a-b}{2}} - \frac{1}{\frac{2a+b}{2}} - \frac{1}{\frac{2a+b}{2}} + \frac{1}{\frac{2a-b}{2}} \right)^{-1}$$

$$k = 2\pi \left(\frac{2}{\frac{2a-b}{2}} - \frac{2}{\frac{2a+b}{2}} \right)^{-1}$$

$$k = 2\pi \left(\frac{4}{2a-b} - \frac{4}{2a+b} \right)^{-1}$$

$$k = 2\pi \left(\frac{4(2a+b) - 4(2a-b)}{4a^2 - b^2} \right)^{-1}$$

$$\begin{aligned}
 k &= 2\pi \left(\frac{8a+4b-8a+4b}{4a^2-b^2} \right)^{-1} \\
 k &= 2\pi \left(\frac{8b}{4a^2-b^2} \right)^{-1} \\
 k &= 2\pi \left(\frac{4a^2-b^2}{8b} \right) \\
 k &= \pi \frac{a^2}{b} \left(1 - \frac{b^2}{4a^2} \right) \tag{25}
 \end{aligned}$$

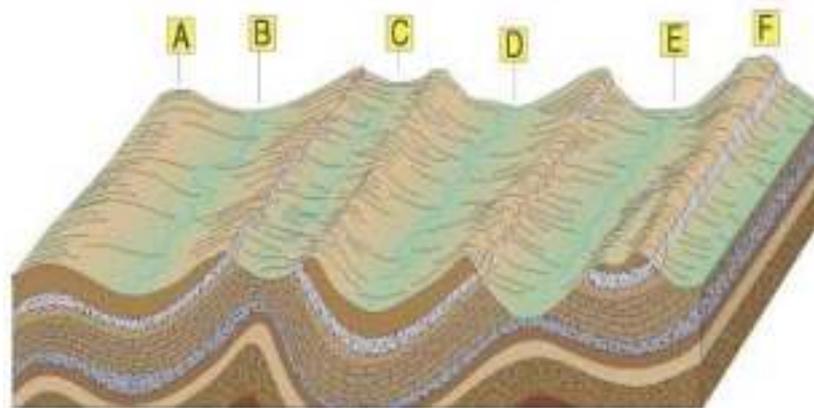
Substitusi Persamaan (25) ke dalam Persamaan (24), sehingga dapat diketahui rumusan perhitungan nilai tahanan jenis semu untuk konfigurasi *Schlumberger* yaitu:

$$\rho_a = \pi \frac{a^2}{b} \left(1 - \frac{b^2}{4a^2} \right) \frac{\Delta V}{I} \tag{26}$$

Persamaan (26) menyimpulkan bahwasanya beda potensial, kuat arus, dan jarak elektroda mempengaruhi nilai tahanan jenis semu.

3. Tahanan Jenis Batuan pada Bidang Gelincir

Longsor atau perpindahan lapisan terjadi akibat proses Geologi baik yang berasal dari dalam bumi (endogen) maupun dari luar bumi (eksogen). Menurut Noor (2009) gaya yang berasal dari dalam bumi berupa aktivitas tektonik dan vulkanik. Salah satu akibat dari adanya gaya endogen adalah terbentuknya lipatan pada permukaan bumi yang biasa disebut dengan topografi. Lipatan adalah bentuk bentang alam yang tersusun oleh batuan sedimen yang terlipat membentuk struktur antiklin dan sinklin. Bentuk topografi dari proses Geologi berupa lipatan dapat dilihat pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Topografi Perbukitan Lipatan (Noor, 2009)

Berdasarkan Gambar 7, perbukitan lipatan memiliki topografi yang terdiri dari antiklin dan sinklin. Antiklin merupakan lipatan yang berada di atas dan berbentuk cembung. Sedangkan sinklin merupakan lipatan yang berada di bawah dan berbentuk cekung. Bukit antiklin ditandai oleh A dan C, lembah sinklin ditandai dengan B dan D, lembah antiklin ditandai dengan E, dan bukit sinklin ditandai dengan F.

Selain tenaga endogen, juga terdapat tenaga eksogen yang berasal dari luar bumi. Menurut Noor (2009) gaya yang berasal dari luar bumi berupa pelapukan dan erosi. Pelapukan adalah proses pengendapan secara berangsur dari material penyusun kulit bumi yang berupa batuan. Pelapukan melibatkan proses mekanis, kimiawi, dan organisme. Hasil akhir dari pelapukan batuan adalah tanah (*soil*). Pelapukan batuan yang terdapat di bawah permukaan bumi dapat membentuk bidang gelincir.

Bidang gelincir dapat diartikan sebagai batas antara lapisan yang stabil dengan yang tidak stabil (*material longsor*). Bidang gelincir memiliki ciri-ciri yaitu adanya bidang perlapisan batuan berupa bidang kontak yang terletak diantara tanah penutup dengan batuan dasar, diantara batuan yang retak-retak dengan batuan yang kuat, dan diantara batuan yang dapat melewati air dengan

batuan yang tidak dapat melewatkan air atau kedap air (Fransheri, 1998, Asriza, 2017). Jadi, bidang gelincir dicirikan sebagai suatu lapisan yang terletak di tengah-tengah antara batuan dasar dengan batuan yang berperan sebagai material longsor.

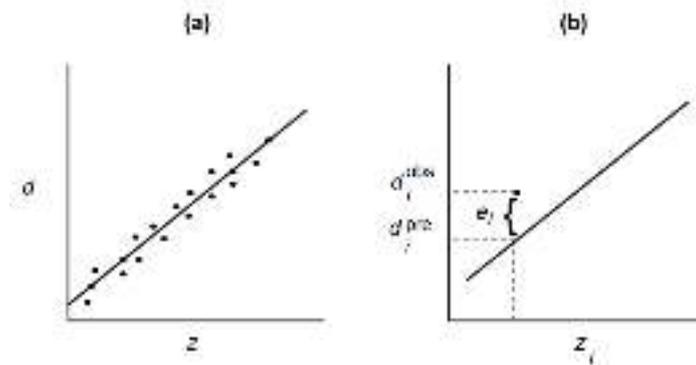
Secara kelistrikan, bidang gelincir dapat diketahui berdasarkan nilai tahanan jenisnya. Material longsor dicirikan dengan nilai tahanan jenis tinggi dan bidang gelincir ditandai dengan batuan yang memiliki nilai tahanan jenis rendah (Kim et al., 2009). Bidang gelincir secara kelistrikan ditandai dengan adanya dua lapisan batuan yang nilai tahanan jenisnya sangat kontras (Akmam, 2019). Batuan lapuk yang jenuh terhadap air dapat membentuk bidang gelincir yang umumnya memiliki nilai tahanan jenis tersendiri. Nilai tahanan jenis yang dimiliki oleh bidang gelincir berkisar 100-200 Ωm (Fransheri et al., 1998, Panek, 2008, Saas et al., 2008, Perrone, 2012, Akmam, 2015). Jadi, bidang gelincir dapat dicirikan dengan nilai tahanan jenis yang rendah berkisar 100-200 Ωm .

Batuan yang memiliki nilai tahanan jenis rendah diketahui memiliki rongga hingga mengandung air, sebagaimana sifat air adalah sebagai konduktor yang baik. Begitupun dengan batuan yang memiliki nilai tahanan jenis besar diketahui memiliki rongga yang sangat kecil atau dapat dikatakan tidak memiliki rongga, sehingga air tidak dapat masuk dan batuan menjadi isolator (Santoso, 2002, Asriza, 2017). Tak lain halnya dengan bidang gelincir. Bidang gelincir umumnya dimiliki oleh jenis lapisan hasil pelapukan yang bersifat jenuh terhadap air (Picarelli et al., 2004, Van Asch et al., 2006, Eilertsen et al., 2008, Muntahor, 2010). Lapisan tersebut bersifat licin serta mampu menjatuhkan lapisan yang berada di atasnya. Jenis material yang berperan sebagai bidang gelincir umumnya

adalah Lempung (Kelsey, 1978, Iverson and Major, 1987, Zhang et al., 1991, Bovis and Jones, 1992, Eilertsen et al., 2008, Bievre, 2015, Asriza, 2017). Jadi, bidang gelincir terbentuk oleh adanya lapisan lapuk yang jenuh terhadap air yang dicirikan sebagai tanah liat atau material Lempung.

4. Metode Inversi *Smoothness Constraint Least-Square*

Proses inversi adalah suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi berupa model yang berguna mengenai distribusi sifat fisis bawah permukaan. Dalam proses inversi, dilakukan analisis terhadap data lapangan dengan cara melakukan *curve fitting* (pencocokan kurva) antara model matematika dan data lapangan. Contoh masalah inversi dalam bidang Geofisika yakni seperti penentuan struktur bawah tanah, estimasi parameter-parameter bahan tambang, estimasi parameter-parameter akumulasi sumber energi, penentuan lokasi gempa bumi berdasarkan waktu gelombang datang, pemodelan respon litosfer untuk mengamati proses sedimentasi, dan analisis sumur bor pada hidrogeologi (Supriyanto, 2007). Prinsip dasar pemodelan inversi merupakan kegiatan menyimpulkan suatu model (algoritma) berdasarkan data (Akmam, 2018). Regresi garis lurus (linier) dimisalkan pada data (d) yang bervariasi secara linier terhadap kedalaman (z) sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan $d = m_1 + m_2 z_i$.



Gambar 8. Grafik Linier (a) Pencocokkan Data dengan Kedalaman pada Garis Lurus (z,d). (b) Selisih Jarak e_i Menandakan Perbedaan antara Titik (*Datum*) yang diamati dengan yang Diperkirakan dengan $e_i = d_i^{obs} - d_i^{pre}$ (Richardson, 2003).

Titik (*datum*) yang diperkirakan pada garis lurus dapat dirumuskan pada Persamaan (24) berikut:

$$d_i^{pre} = m_1 + m_2 z_i \quad (27)$$

Nilai m_1 dan m_2 yang tidak diketahui dapat dicari menggunakan beberapa data pada kedalaman sebanyak i . Ketidakcocokan antara data teoritik dengan data pengamatan dinyatakan sebagai selisih kuadratik seluruh elemen data. Total ketidakcocokan E dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \sum_{i=1}^N [d_i^{obs} - d_i^{pre}]^2 \quad (28)$$

$$= \sum_{i=1}^N [d_i^{obs} - (m_1 + m_2 z_i)]^2 \quad (29)$$

dengan mengartikan “obs” sebagai data yang diamati maka didapatkan rumusan total ketidakcocokan menjadi Persamaan (30):

$$E = \sum_{i=1}^N [d_i^2 - 2d_i m_1 - 2d_i m_2 z_i + 2m_1 m_2 z_i + m_1^2 + m_2^2 z_i^2] \quad (30)$$

Persamaan diferensial dihasilkan untuk parameter model (m_1 dan m_2) sebagai berikut:

$$\frac{\partial E}{\partial m_1} = 2N m_1 - 2 \sum_{i=1}^N d_i + 2m_2 \sum_{i=1}^N z_i = 0 \quad (31)$$

dan

$$\frac{\partial E}{\partial m_2} = -2 \sum_{i=1}^N d_i z_i + 2m_1 \sum_{i=1}^N z_i + 2m_2 \sum_{i=1}^N z_i^2 = 0 \quad (32)$$

Persamaan (31) dan (32) dapat digunakan untuk mengetahui nilai parameter model (m_1 dan m_2) (Richardson, 2003).

Metode inversi *Least-Square* merupakan metode inversi yang cenderung menghasilkan suatu model dengan variasi-variasi nilai berdasarkan data yang didapatkan dengan meminimalkan selisih perbedaan nilai tahanan jenis yang diukur dengan yang dihitung. Salah satu metode inversi yang terkenal adalah *Smoothness Constraint* yang dirumuskan sesuai Persamaan (33) berikut:

$$(J^T J + \mu F)d = J^T g - \mu Fr \quad (33)$$

Persamaan (33) merupakan persamaan inversi *Smoothness Constraint Least-Square* dimana F merupakan matriks *smoothing*, J merupakan matriks Jacobian turunan parsial, r merupakan vektor yang mengandung logaritma nilai pemodelan data, μ merupakan faktor *damping*, d merupakan vektor gangguan model dari hasil pengukuran, dan g merupakan vektor ketidakcocokan (Loke, 2000). Faktor *damping* merupakan variabel yang berkaitan dengan nilai *error*, dimana semakin kecil faktor *damping*, nilai *error* semakin kecil juga. Nilai *error* yang kecil menyimpulkan bentuk penampang 2D sudah memiliki perbedaan yang kecil juga. Pemodelan inversi dapat digunakan untuk menganalisa data geolistrik berupa resistivitas yang menghasilkan model bawah permukaan.

B. Penelitian-Penelitian Relevan

Penelitian terkait identifikasi bidang gelincir menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Darsono (2012) telah melakukan penelitian mengenai identifikasi bidang gelincir

menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Dipole-Dipole*. Hasil yang didapatkan Darsono adalah bidang gelincir yang terletak pada kedalaman 1.7m, 8.9 m, 16.4 m, dan 17 m. Nilai tahanan jenis dari bidang gelincir berkisar 19.3–36.6 Ωm dengan jenis batuanya yakni Lempung Pasir.

Lismalini (2013) telah melakukan penelitian tentang penyelidikan bidang gelincir menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger*. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah bentuk bidang gelincirnya *Translation slip*, kemudian nilai tahanan jenis bidang gelincir berkisar pada 121–273 Ωm dengan jenis batuan yang berperan sebagai bidang gelincir adalah batuan *Limestone* (Gamping). Kedalaman bidang gelincir yang diselidikinya terdapat pada kedalaman 10.3 m dan 10.8 m.

Dona (2015) telah melakukan penelitian tentang identifikasi bidang gelincir menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger*. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut berupa bentuk bidang gelincir yang memicu longsor di lokasi penelitiannya adalah *Translation slip*. Kedalaman bidang gelincir yang diidentifikasi adalah 4.5 m dan 12.8 m. Sudut kemiringan bidang gelincir adalah 25.94° dan 34.98° yangmana termasuk kepada jenis lereng yang curam.

Nurhidayati (2015) adapun dalam penelitiannya mengenai investigasi bidang gelincir menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger*. Hasil yang didapatkan dari penelitian tersebut adalah bentuk bidang gelincir yang memicu longsor di lokasi penelitiannya adalah *Translation slip*. Kedalaman bidang gelincir yang diidentifikasi adalah 4.14 m dan 7.05 m.

Sudut kemiringan bidang gelincir adalah 17.13° , 17.46° , 19.94° , 21.74° dan 21.85° .

Tunena (2018) dalam penelitiannya terkait identifikasi bidang gelincir menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Wenner Alfa*. Hasil yang diperoleh dari penelitiannya adalah bidang gelincir terdapat pada kedalaman 2 m, 3 m, dan 6 m. Nilai tahanan jenis untuk bidang gelincir yakni berkisar antara 30–215 Ωm dengan jenis batuan dari bidang gelincir tersebut adalah Lempung Pasiran.

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya yaitu kondisi Geologi daerah penelitian. Kondisi Geologi daerah penelitian memiliki lereng yang dapat dikategorikan curam berdasarkan kegiatan yang telah dilakukan pada akuisisi data. Hasil interpretasi ditampilkan dalam bentuk penampang 2D.

C. Deskripsi Geologi Daerah Penelitian

Peta Geologi merupakan peta yang digunakan untuk mengetahui jenis batuan yang terdapat di suatu daerah. Berdasarkan peta Geologi pada Gambar 9 terlihat perbedaan jenis batuan di Kabupaten Solok. Adapun Peta Geologi untuk Kabupaten Solok dapat dilihat pada Gambar 9 berikut:

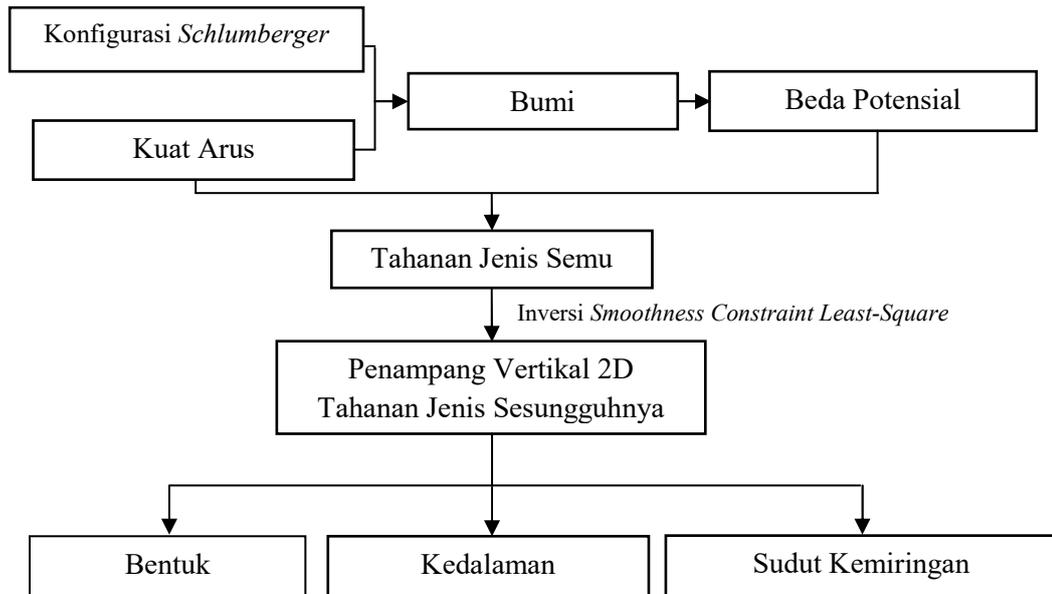


Gambar 9. Rencana Tata Ruang Daerah Kabupaten Solok (RUTRD Solok, 1992)

Berdasarkan Gambar 9, dapat diketahui sebaran jenis batuan di kawasan penelitian. Jenis batuan yang terdapat di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok yang terkenal sebagai zona tektonik aktif tersebut didominasi oleh jenis batuan beku seperti Granit dan mineral mafik seperti batuan Basal, Breksi, dan Gabro. Sebagaimana hasil penelitian terdahulu oleh Nurhidayati (2015) dan Rahmi (2015) yang menjelaskan bahwa jenis batuan di permukaan Kabupaten Solok adalah Granit. Batu Granit termasuk kepada jenis batuan beku plutonik yang terbentuk dari pembekuan magma yang relatif lebih lambat sehingga mineral-mineral penyusunnya lebih besar atau lebih kasar dibandingkan dengan jenis batuan beku vulkanik lainnya (Noor, 2009). Peta Geologi tersebut dapat dijadikan acuan dalam kegiatan estimasi data mengenai jenis batuan di lokasi penelitian.

D. Kerangka Berfikir

Kerangka berfikir merupakan bagan yang menggambarkan hubungan atau keterkaitan antar variabel. Kerangka berfikir pada penelitian ini menggunakan berbagai metode, seperti metode Geolistrik Tahanan Jenis dan metode Inversi. Metode Geolistrik Tahanan Jenis dimulai dengan mengalirkan arus listrik ke bawah permukaan bumi melalui elektroda arus. Susunan elektroda sesuai dengan konfigurasi yang digunakan, yaitu konfigurasi *Schlumberger*. Kerangka berfikir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 10 berikut:



Gambar 10. Kerangka Berfikir

Berdasarkan Gambar 10, beda potensial merupakan respon yang diberikan oleh bumi saat diinjeksikan oleh arus listrik. Dengan demikian, nilai tahanan jenis semu dapat dihitung nilainya dengan mengetahui nilai beda potensial, kuat arus, dan jarak antar elektroda. Setelah mengetahui nilai tahanan jenis semu, diperlukan proses inversi untuk menghasilkan penampang vertikal 2D tahanan jenis sesungguhnya yang didalamnya terdapat parameter berupa kedalaman dan sudut kemiringan.

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian parameter bidang gelincir di Kecamatan IX Koto Sungai Lasi Kabupaten Solok menggunakan metode Geolistrik Tahanan Jenis konfigurasi *Schlumberger* dapat disimpulkan bahwa:

1. Kedalaman dari bidang gelincir berdasarkan penampang vertikal 2D tahanan jenis sesungguhnya yakni terletak pada kedalaman 13.5 m untuk lintasan pertama, 15 m untuk lintasan kedua, 11.8 m untuk lintasan ketiga, dan 7 m untuk lintasan keempat.
2. Sudut kemiringan dari bidang gelincir berdasarkan penampang vertikal 2D tahanan jenis sesungguhnya untuk lintasan pertama sebesar 39.16° , lintasan kedua sebesar 41.81° , lintasan ketiga sebesar 26.10° , dan lintasan keempat sebesar 21.80° .

B. Saran

Berdasarkan kegiatan penelitian yang telah dilakukan dan hasil yang telah didapatkan, perlu dilakukan sosialisasi kepada masyarakat yang bertempat tinggal sekitar lokasi penelitian untuk mengantisipasi bencana tanah longsor yang dapat terjadi, terlebih saat hujan turun dengan intensitas yang tinggi. Perlu dilakukan pembuatan dinding penahan longsor yang lebih tinggi dan tebal, khususnya pada lintasan pertama dan kedua. Perlu disosialisasikan kepada warga yang memiliki tempat tinggal di daerah lintasan ketiga untuk tidak melakukan pengerukan tanah karena sifat yang dimiliki tanah akan sangat mudah untuk runtuh, serta perlu dilakukan pembuatan dinding penahan untuk mengantisipasi bahaya longsor yang

mungkin saja dapat terjadi, begitupun untuk lintasan keempat. Perlu dilakukan penelitian lanjut dengan menggunakan metode yang berbeda sebagai perbandingan hasil penelitian yang telah dicapai.