

*Skripsi Geofisika*

**PEMODELAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN UNTUK  
PENENTUAN BIDANG GELINCIR LONGSORAN  
MENGUNAKAN METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS  
DAERAH TOLINGGULA, KAB. GORONTALO UTARA**

**Disusun dan diajukan oleh**

**TITIEN HARYANI**

**H061 17 1003**



**DEPARTEMEN GEOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2021**

**HALAMAN JUDUL**

**PEMODELAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN UNTUK  
PENENTUAN BIDANG GELINCIR LONGSORAN MENGGUNAKAN  
METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS DAERAH  
TOLINGGULA, KAB. GORONTALO UTARA**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains*

*Pada Departemen Geofisika*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*

**OLEH:**

**TITIEN HARYANI**

**H061171003**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMODELAN STRUKTUR BAWAH PERMUKAAN UNTUK  
PENENTUAN BIDANG GELINCIR LONGSORAN MENGGUNAKAN  
METODE GEOLISTRIK TAHANAN JENIS DAERAH TOLINGGULA,  
KAB. GORONTALO UTARA**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**TITIEN HARYANI**

**H061171003**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka  
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan  
Ilmu Penegtahuan Alam Universitas Hasanuddin

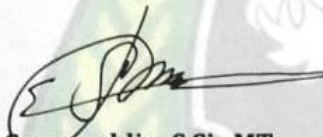
Pada tanggal 11 November 2021

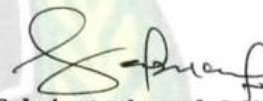
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,


**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pertama**

  
**Syamsuddin. S.Si., MT.**  
NIP. 197401152002121001

  
**Sabrianto Aswad. S.Si., MT.**  
NIP. 197805242005011002

**Ketua Departemen Geofisika,**

  
**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah. M.Eng**  
NIP. 196709291993031003

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Titien Haryani

NIM : H061171003

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Untuk Penentuan Bidang Gelincir  
Longsor Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Daerah Tolinggula,  
Kab. Gorontalo Utara**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, November 2021

Yang menyatakan,



Titien Haryani

## ABSTRAK

Potensi tanah longsor umumnya terjadi di tepi jalan yang dapat membahayakan masyarakat dan menghambat alur lalu lintas. Tanah longsor terjadi akibat adanya bidang gelincir. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi bidang gelincir longsor menggunakan metode geolistrik resistivitas 2D di Kecamatan Tolinggula, Kabupaten Gorontalo Utara. Metode ini menggunakan konfigurasi Wenner-Schlumberger yang dapat memberikan informasi perlapisan batuan di bawah permukaan tanah. Data pengukuran menggunakan *software* Res2Dinv sehingga menghasilkan penampang resistivitas 2D serta pemodelan data sintetik menggunakan *software* Res2Dmod. Berdasarkan hasil penelitian dan interpretasi nilai resistivitas yang didukung oleh data geologi regional, SPT dan data bor menunjukkan bahwa bidang gelincir terdapat pada kedalaman  $\leq 7$  meter. Bidang gelincir ini diduga sebagai lanau pasiran (*Sandy Silt*) dengan nilai resistivitas antara 15.8 ohm.m – 80 ohm.m yang memiliki permeabilitas baik.

**Kata Kunci:** *Geolistrik, bidang gelincir, wenner-schlumberger, landslide*

## ABSTRACT

The potential for landslides generally occurs on the side of the road which can endanger the community and hinder traffic flow. Landslides occur due to the presence of slip fields. This research was conducted to identify the slip area of the avalanche using the 2D resistivity geoelectric method in Tolinggula District, North Gorontalo Regency. This method uses the Wenner-Schlumberger configuration which can provide information on rock layers below the soil surface. The measurement data uses the Res2Dinv software so to produce a 2D resistivity cross section and synthetic data modeling using the Res2Dmod software. Based on the results of research and interpretation of resistivity values supported by regional geological data, SPT and drill data, it shows that the slip plane is at a depth of 7 meters. This slip area is assumed to be sandy silt (Sandy Silt) with resistivity values between 15.8 ohm.m – 80 ohm.m which has good permeability.

**Keywords:** *Geoelectric, slip field, wenner-schlumberger, landslide*

## KATA PENGANTAR



### **Assalamualaikum Warohmatullahi Wabarokatuh**

Alhamdulillahirobbil ‘alamin, tiada kata yang pantas penulis ucapkan selain kata syukur kepada ALLAH SWT atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada baginda besar Nabi Allah, Muhammad SAW, beserta keluarganya, para sahabat, serta para pengikutnya yang senantiasa istiqomah menjalankan sunnahnya.

Skripsi dengan judul “**Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Untuk Penentuan Bidang Gelincir Longsoran Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Daerah Tolinggula, Kab. Gorontalo Utara**” dibuat sebagai syarat untuk bisa mendapatkan gelar Sarjana Sains. Penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari keterbatasan penulis, akan tetapi berkat bantuan dan dorongan dari berbagai pihak penulis dapat menyelesaikannya dengan baik. Berbagai bentuk saran dan kritik yang bersifat membangun tentu sangat diharapkan penulis dalam peningkatan kualitas untuk karya-karya selanjutnya.

Dalam kesempatan ini dengan segala kerendahan hati ucapan terimakasih yang tak terhingga saya haturkan **Keluarga Besar Saya**, khususnya kepada orang tua saya, **Bapak**

**Hardi dan Ibu Suryani, dan Yusra Erlangga Putra** sebagai orang yang berada pada posisi terdepan dalam memberikan cinta kasih, doa serta berbagai pengorbanan untuk penulis.

Ucapan terima kasih juga saya tujukan kepada kerabat atas segala bentuk bantuan dan dukungan yang tulus menjadi ungkapan terindah yang penulis dapat sampaikan.

Penulis juga ingin menyampaikan penghormatan dan rasa terimakasih kepada:

1. **Bapak Syamsuddin, S.Si., M.T** selaku pembimbing utama dan **Bapak Sabrianto Aswad, S.Si., M.T** selaku pembimbing pertama yang selalu meluangkan waktunya dan memberi perhatian, bimbingan, nasihat, motivasi serta masukan-masukan yang memberi semangat saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
2. **Bapak Dr. Muhammad Hamzah, S.Si., M.T** dan **Ibu Makhrani, S.Si., M.Si** selaku tim penguji yang telah memberikan saran, kritik, koreksi dan masukan kepada saya dalam penyelesaian skripsi ini.
3. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin** selaku Dekan FMIPA Unhas yang telah memberikan bimbingan dalam masalah akademik dan organisasi.
4. **Bapak Prof. Dr. Dadang Ahmad S, M.Eng** selaku penasehat akademik yang telah memberikan banyak nasehat dan arahan kepada saya selama menempuh studi.



5. **Bapak Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku ketua Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.
6. Dosen-dosen pengajar terkhusus **Dosen-dosen Departemen Geofisika** yang telah memberikan banyak bentuk pengajaran dan bimbingan selama saya menempuh pendidikan serta staf pegawai yang telah banyak membantu.
7. Saudara-saudara seperjuangan **GEOFISIKA 2017 TERCINTA** yaitu **Karmila, Syakirah, Dhanty, Hikmah, Rapang, Yusrin, Illa, Daya, Unia, Riri, Khusnul, Adhe, Desha, Aya, Ainun, Mirna, Rina, Sindi, Ajeng, Eky, Esi, Nina, Wide, Miftah, Melsi, Nea, Faishal, Ale, Aldo, Riyadi, Ucha, Indra, Dandung, Khalis, Dicky, Tsaqif, Farid, Angga, Albar, Zahari, Faqih, Jepri, Firman, Bintang, Andika**, terimakasih atas segala kebersamaan yang pernah kita lewati bersama yang penuh dengan suka duka bersama selama kurang lebih 4 tahun.
8. **Karmila**, teman seperjuanganku memulai skripsi Tugas Akhir hingga selesainya penelitian ini. Terima kasih sudah berbagi keluh kesah bersama, bahagia bersama, berbagi peduli dan dukungan bersama sampai akhir.
9. Saudara-saudara seperjuangan **Penghuni Lab. Geofisika Padat terkhusus Karmila, Hikmah, Syakirah, Ale, Aldo, Adhe, Indra, Rapang, Eky, Yusrin, Illa, Faishal, Ucha, Khusnul, Riyadi, Esi, Fajar, Angga, Dandung, Khalis, Gabe, Tsaqif**, terimakasih atas kebersamaan dan selalu ada menemani di laboratorium dari pagi sampai tengah malam untuk

mengerjakan skripsi dan sebagainya. Untuk penghuni lab, semangat juga kerja skripsinya.

10. Saudara-saudara seperjuangan **HIMAFI FMIPA Unhas 2017 (Teguh dalam Keyakinan, Kukuh dalam Kebersamaan)**, terimakasih atas kebersamaan dan bantuannya serta pengalaman berharga selama di kepengurusan bahkan sampai menjadi kanda warga.
11. Kanda **Nurhidayat Nurdin S.Si, M. Nur Alamsyah, S.Si, Ayyub Alqadri, S.Si, Iksan Milham S.Si, Mufli Fadla Syihab, S.Si, Muh. Aushaf Fauzan DTS, S.Si**, yang telah banyak membantu dalam penyelesaian skripsi ini terutama penyelesaian teori dan persamaan metode geolistrik bahkan sampai pada proses pengolahan data.
12. Kakak-kakak serta Adik-adik **HMGF FMIPA Unhas** dan **HIMAFI FMIPA Unhas** yang telah memberikan ilmu pengetahuan, mengajarkan arti kebersamaan, kekeluargaan serta pengalaman yang sangat berharga yang didapatkan selama berproses.
13. Saudara Seperjuangan **MIPA 2017 “Kami satu, Kami Bersaudara”** yang telah memberikan semangat dan mengajarkan arti kebersamaan, kekeluargaan serta pengalaman yang sangat berharga yang didapatkan selama berproses.
14. **Board dan Staff SPE Unhas SC** yang telah mewadahi memberikan ilmu pengetahuan, networking, serta pengalaman berorganisasi dalam bidang kajian Petroleum Engineer (oil and gas).

15. **Nurfadilla dan Firdayanti, A.Md.Kes** sebagai **my bestie** yang selalu menemani walaupun saya sehat maupun sakit. Pokoknya saya beruntung punya kalian berdua. Dan juga kepada sahabat saya **Andi Fajar Ramadhan, S.E dan Azril** telah menyemangati dari nol sampai masanya habis.
16. Saudaraku sekalian **XII IPA 1** dan **JONES** pada masanya, Terima kasih sudah mewarnai hidupku sampai detik ini pun masih memberikan dukungan dan dorongan untuk saya pribadi.
17. Sahabat sekaligus keluarga **KKN Regular** gelombang 105 di Kec. Tamalanrea Makassar yang selalu memberikan semangat dan berbagi pengalaman dalam menjalani KKN.
18. Teman, adik dan kakak sesama **Asisten Laboratorium** yang telah mengisi hari-hari selama asistensi, praktikum di lapangan, dan selama perkuliahan.
19. Saudara seperjuangan **Bangku Pelosok #9** dan **Keluarga Besar Bangku Pelosok** yang telah kebersamai jalannya sebagai seorang mahasiswa, berbagi kebersamaan serta selalu ada dalam menempuh pendidikan dan perjuangan selama ini.
20. Terima kasih pula saya ucapkan untuk para **Cousin dan Keluarga Besarku** yang selalu memberikan semangat dan dukungan untuk mengerjakan skripsi.
21. Tak lupa untuk para **Saudara Pendaki**, saya ucapkan Terima kasih telah mengisi ruang kosong di memori otak saya dan memberikan semangat baru untuk menyelesaikan skripsi ini.

22. Terima kasih pula teman **Mahasiswa Kampus Mengajar KM 2** yang telah hadir memberikan warna warni pada masa perkuliahan ini.
  23. Tak lupa saya ucapkan Terima kasih kepada **DIRI SENDIRI**, karena telah berjuang keras menempuh kehidupan sehari-hari dan berusaha menyelesaikan skripsi ini.
  24. Serta kepada seluruh pihak, tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang ikut serta membantu hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik.
- Semoga apa yang telah dituliskan oleh penulis pada skripsi ini dapat bermanfaat bagi sesama dan berguna untuk semua pihak.

Makassar, November 2021



Titien Haryani

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iv
<b>ABSTRAK</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Rumusan Masalah .....	1
I.3 Ruang Lingkup Penelitian.....	1
I.4 Tujuan Penelitian .....	1
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	2
II.1 Geologi Regional .....	2
II.2 Tanah Longsor .....	3
II.2 Pengertian Tanah Longsor .....	3
II.3 Faktor Penyebab Terjadinya Pergerakan Tanah .....	4
II.4 Metode Geolistrik .....	6
II.5 Resistivitas Batuan.....	6
II.6 Proses Inversi .....	6
II.7 Standar Penetrasi Tes (SPT) .....	6
II.8 Rock Quality Density (RQD) .....	6
<b>BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN</b> .....	7
III. 1 Lokasi Penelitian .....	6

III. 2 Peralatan .....	6
III. 3 Metode Penelitian .....	6
III. 3.1 Kajian Pustaka .....	6
III. 3.2 Pengambilan Data .....	6
III. 3.3 Pengolahan Data .....	6
III. 3.4 Interpretasi .....	6
III. 4 Bagan Alir Penelitian .....	6
<b>BAB 4. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>8</b>
IV.1 Hasil .....	8
IV.1.1 Penampang Resistivitas .....	9
IV.1.2 Pemodelan Res2Dmod .....	9
IV.1.3 Data Bor .....	9
IV.1.4 Nilai Rock Quality Designation (RQD) .....	9
IV.2 Pembahasan .....	9
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>10</b>
5.1 Kesimpulan .....	10
5.2 Saran .....	10
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>12</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>13</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>13</b>
Lampiran 1. Peta Geologi Lembar Tilamuta .....	13
Lampiran 2. Data Geolistrik .....	14
Lampiran 3. Data Core Box BH-01 .....	80
Lampiran 4. Data Core Box BH-02 .....	81
Lampiran 5. Pemodelan Data Sintetik pada Software Res2Dmod .....	82
Lampiran 6. Dokumentasi Lapangan .....	83
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	
Gambar 2.1 Peta Regional Kab. Gorontalo Utara .....	6
Gambar 2.2 Bidang Gelincir .....	9

Gambar 2.3 Tipe Jatuhan ( <i>falls</i> ) .....	10
Gambar 2.4 Longsoran Tipe Robohan. ....	11
Gambar 2.5 Jenis-jenis Longsoran ( <i>Slide</i> ).....	12
Gambar 2.6 Longsoran Tipe Sebaran.....	12
Gambar 2.7 Longsoran Tipe Aliran.....	14
Gambar 2.8 Model Susunan Multielektroda Pada Pengukuran Geolistrik.....	18
Gambar 2.9 Sumber Arus Tunggal C1 Dalam Medium Homogen Seluruh Ruang, Sementara Arus C2 Dianggap Terletak di Tak Hingga .....	23
Gambar 2.10 Sumber Arus Tunggal C1 Dalam Medium Homogen Setengah Ruang, Sementara Arus C2 Dianggap Terletak di Tak Hingga .....	24
Gambar 2.11 Ilustrasi Dua Elektroda Arus dan Potensial Di Permukaan Bumi Pada Medium Homogen Isotropik.....	24
Gambar 2.12 Konfigurasi Wenner-Schlumberger.....	27
Gambar 2.13 Model Grid berukuran 20x20 Grid Beserta Nilai Konduktivitas Tiap Sel.....	30
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian. ....	36
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian.....	40
Gambar 4.1 Peta Lokasi Daerah Penelitian. ....	41
Gambar 4.2 Penampang Resistivitas Lintasan 1. ....	42
Gambar 4.3 Penampang Resistivitas Lintasan 2. ....	42
Gambar 4.4 Pemodelan Forward Modelling Lintasan 1. ....	43
Gambar 4.5 Pemodelan Forward Modelling Lintasan 2. ....	43
Gambar 4.6 Hasil Penampang Resistivitas Lintasan 1. ....	56
Gambar 4.7 Hasil Penampang Resistivitas Lintasan 2. ....	57

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Batuan .....	28
Tabel 2.2 Hubungan antara Klasifikasi Tanah, N-SPT dan Tahanan Konus ....	34
Tabel 2.3 Klasifikasi Kualitas Batuan .....	35

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Bencana alam di Indonesia tidak jarang menimbulkan kerugian yang cukup besar baik itu korban jiwa maupun harta benda, salah satu bencana tersebut adalah tanah longsor. ESDM mencatat, setidaknya ada 918 lokasi rawan longsor di Indonesia. Kerugian rata-rata yang ditimbulkan oleh kejadian tanah longsor per tahun adalah sekitar Rp 800 miliar dan 1 juta korban jiwa. Fenomena tanah longsor sering terjadi pada setiap musim hujan (Lihawa, 2017). Berdasarkan data BNPB 1 Januari – 18 Juni 2021 menunjukkan kejadian longsor di Indonesia dengan jumlah sebanyak 292 kasus. Dari data Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Gorontalo pada tahun 2018 mencatat 67 kasus tanah longsor yang menyebabkan kerugian yang cukup besar.

Longsor dan erosi adalah proses berpindahnya tanah atau batuan dari satu tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah akibat dorongan air, angin, atau gaya gravitasi. Tanah longsor adalah suatu produk dari proses gangguan keseimbangan lereng yang menyebabkan Bergeraknya massa tanah dan batuan ke tempat yang lebih rendah (Hardiyatmo, 2006).

Bahaya tanah longsor (gerakan massa tanah) sering terjadi di daerah-daerah lereng curam/terjal. Terjadinya tanah longsor adalah akibat perpindahan material pembentuk lereng seperti batuan, bahan rombakan, tanah yang bergerak dari lereng bagian atas meluncur ke bawah. Secara prinsip, tanah longsor terjadi jika gaya pendorong pada lereng bagian atas lebih besar dari pada gaya penahan. Gaya pendorong dipengaruhi oleh intensitas hujan yang tinggi, keterjalan lereng, beban



serta adanya lapisan kedap air, ketebalan solum tanah, dan berat jenis tanah. Gaya penahan tersebut umumnya dipengaruhi oleh ketahanan geser tanah, kerapatan dan kekuatan akar tanaman serta kekuatan batuan (Siddle & Dakhal, 2003).

Selain itu longsor mudah terjadi jika terdapat retakan tanah di atas lapisan kedap air pada lereng miring yang tidak kuat menahan air (hujan) di atasnya (Karnawati, 2005). Salah satu faktor penyebab longsor yang sangat berpengaruh adalah adanya bidang gelincir (*slip surface*) atau bidang geser (*shear surface*). Faktor lain yang juga mempengaruhi adalah kemiringan lereng, tanah yang kurang padat/tebal, jenis tata lahan, dan adanya beban tambahan. Pada umumnya tanah yang mengalami longsor akan bergerak di atas bidang gelincir tersebut (Sugito et al., 2010). Pada saat terjadi hujan, air hujan akan meresap dan menembus tanah hingga ke lapisan kedap air. Lapisan inilah yang akan berperan sebagai bidang gelincir sehingga menyebabkan gerakan tanah atau longsor.

Batuan yang berperan sebagai bidang gelincir memiliki nilai tahanan jenis yang berbeda dari batuan disekitarnya. Bidang gelincir pada area longsor ditandai dengan perbedaan nilai tahanan jenis yang sangat kontras yang dibedakan antara tanah dan batuan. Bidang gelincir merupakan bidang yang bersifat dapat menahan air (permeabilitas rendah), bersifat padat yang memungkinkan tanah pelapukan yang ada di atasnya bergerak (Lismalini, 2014).

Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika yang didasarkan pada penerapan konsep kelistrikan pada masalah kebumihan. Untuk mengetahui secara optimal kondisi bawah permukaan perlunya digunakan metode yang efektif terhadap variasi nilai resistivitas (Syamsuddin et al., 2021). Oleh karena itu metode

ini dapat dimanfaatkan untuk survei daerah rawan longsor, khususnya untuk menentukan kedalaman lapisan yang berpotensi longsor serta litologinya sehingga dapat diketahui lapisan yang berperan sebagai bidang gelincir berdasarkan variasi nilai resistivitas yang diperoleh (Iqbal & Budiman, 2013). Penelitian dengan menggunakan metode ini telah banyak dilakukan sebelumnya, diantaranya dengan judul “Sebaran Aspek Keruangan Tipe Longsoran Di Daerah Aliran Sungai Alo Provinsi Gorontalo” oleh Lihawa dkk. pada tahun 2014, dan “Identifikasi Bidang Gelincir Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Konfigurasi Schlumberger Di Bukit Lantiak Kecamatan Padang Selatan” oleh Irepia dkk. pada tahun 2015. Kemudian beberapa penelitian lainnya dengan menggunakan metode yang sama oleh Iqbal dan Budiman pada tahun 2013, Brahmantyo dan Yulianto pada tahun 2014 serta Syamsuddin dan Titien pada tahun 2021.

Berdasarkan uraian tersebut, maka dilakukan penelitian yang berjudul “Pemodelan Struktur Bawah Permukaan Untuk Penentuan Bidang Gelincir Longsoran Menggunakan Metode Geolistrik Tahanan Jenis Daerah Tolinggula, Kabupaten Gorontalo Utara”.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengetahui informasi dari lapisan bawah permukaan tanah yang bertindak sebagai area bidang gelincir?
2. Bagaimana menentukan kedalaman bidang gelincir berdasarkan interpretasi data resistivitas?

### **I.3 Ruang Lingkup Penelitian**

Penelitian ini dibatasi menggunakan data sekunder pada akuisisi, pengolahan, analisis dan interpretasi data pengukuran resistivitas bawah permukaan yang dilakukan untuk mengetahui kedalaman bidang gelincir dengan menggunakan metode geolistrik resistivitas konfigurasi Wenner-Schlumberger. Proses interpretasi dari data resistivitas dapat didukung dengan menggunakan data pendukung berupa data *bore hole log* dan data geologi regional pada daerah Gorontalo Utara dan sekitarnya. Penelitian ini dilakukan di Bulontio, Kecamatan Tolinggula, Kabupaten Gorontalo Utara, Provinsi Gorontalo.

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui informasi lapisan bawah permukaan yang bertindak sebagai bidang gelincir berdasarkan nilai resistivitas yang telah diikat dengan data pendukung.
2. Untuk mengetahui kedalaman bidang gelincir berdasarkan data resistivitas dengan data bor.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Geologi Regional**

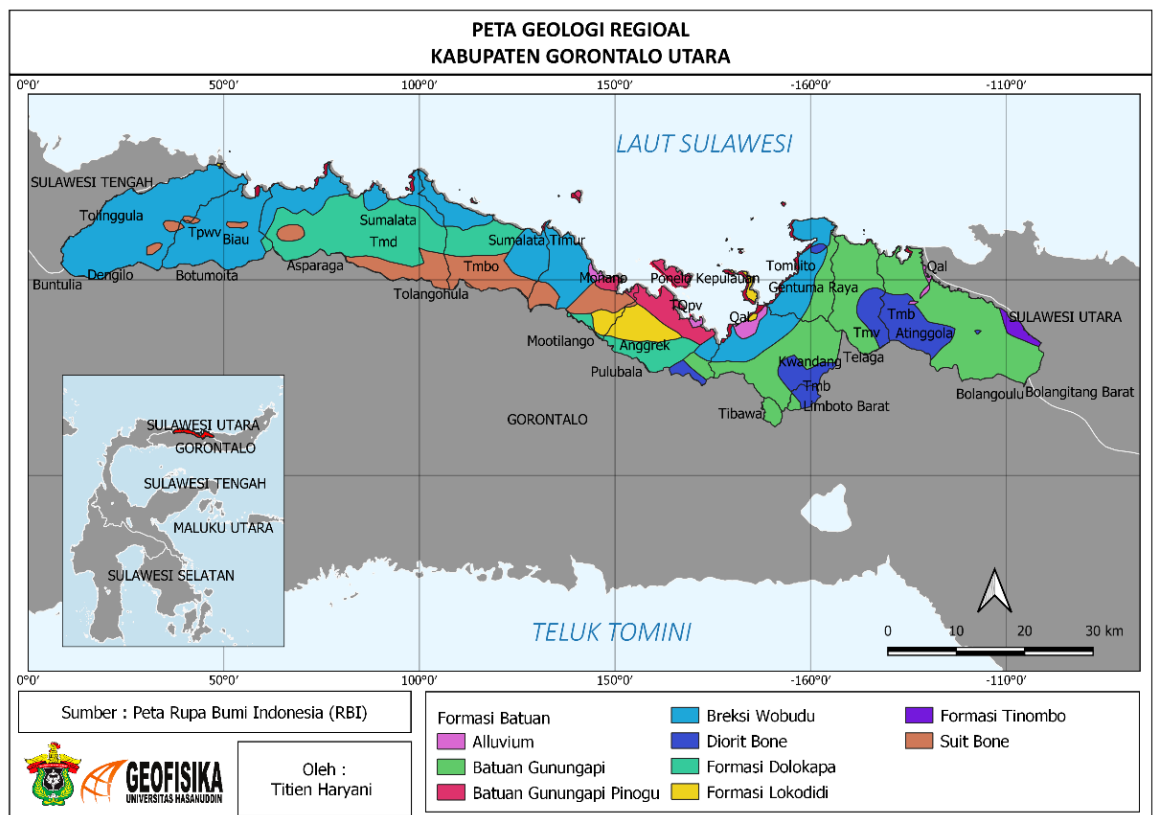
Daerah Gorontalo berada pada Lengan Utara Sulawesi. Terdapat penunjaman di bagian utara Lengan Utara Sulawesi dan di bagian timur dan selatan Lengan Utara Sulawesi. Dua penunjaman ini yaitu laut Sulawesi dan Sangihe Timur berimplikasi pada terjadinya kegiatan magmatisme dan kegunungapian di Lengan Utara Sulawesi. Kegiatan magmatisme dan kegunungapian mengakibatkan terbentuknya batuan plutonik dan kerucut - kerucut vulkanik muda (Simanjuntak, 1986).

Daerah Gorontalo merupakan bagian dari lajur volkano-plutonik Sulawesi Utara yang dikuasai oleh batuan gunungapi Eosen – Pliosen dan batuan terobosan. Pembentukan gunungapi dan sedimen di daerah penelitian berlangsung relatif sejak Eosen – Miosen Awal sampai Kuartar, dengan lingkungan laut dalam sampai darat yang merupakan suatu runtutan regresif. Pada batuan gunungapi umumnya dijumpai selingan batuan sedimen, dan sebaliknya pada satuan batuan sedimen dijumpai selingan batuan gunungapi, sehingga kedua batuan tersebut menunjukkan hubungan superposisi yang jelas. Fasies gunungapi Formasi Tinombo diduga merupakan batuan ofiolit, sedangkan batuan gunungapi yang lebih muda merupakan batuan busur kepulauan. Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.1 geologi regional Gorontalo Utara bahwa daerah ini terletak di lembar Tilamuta dengan kondisi dataran yang tinggi dan pegunungan dengan keadaan lereng yang curam. Berdasarkan informasi geologi, kondisi dan struktur utama geologi daerah Gorontalo Utara adalah patahan yang berpotensi menimbulkan gerakan tektonik

sehingga menyebabkan daerah tersebut rawan bencana alam seperti gempa bumi, gerakan tanah, erosi, abrasi dan gelombang pasang serta pendangkalan banjir.

Geologi umum daerah Kabupaten Boalemo dan Kabupaten Gorontalo disusun oleh batuan dengan urutan stratigrafi sebagai berikut (Somputan, 2012):

- a. Batuan beku berupa gabro, diorit, granodiorit, granit, andesit dan munzonit kwarsa.
- b. Batuan piroklastik berupa lava basalt, lava andesit, tuf, tuf lapilli dan breksi gunung.
- c. Batuan sedimen berupa batupasir *wake*, batulanau, batupasir hijau dengan sisipan batugamping merah, batugamping klastik dan batugamping terumbu, endapan danau, sungai Tua dan endapan alluvial.



**Gambar 2.1** Peta Geologi Regional Kab. Gorontalo Utara (Sumber: RBI)

Berikut formasi peta geologi lembar Tilamuta:

1. **Breksi Wobudu (Tpww)** didominasi oleh breksi gunungapi, aglomerat, tuf, tuf lapilli dan lava, bersusunan andesitan sampai basalan. Formasi ini merupakan produk aktivitas vulkanik berumur kala Pliosen.
2. **Aluvium (Qal)** didominasi oleh pasir lempung, lanau, lumpur, kerikil dan kerakal. Diduga batuan ini berumur kala Holosen.
3. **Batuan Gunungapi Pinogu (TQpv)** terdiri dari batuan aglomerat, tuf, lava andesit-koral yang berumur Pliosen-Plistosen.
4. **Formasi Lokodidi (TQls)** didominasi oleh batupasir, konglomerat, batupasir konglomeratan, batupasir tufan, tuf, batulempung, serpih hitam. Formasi ini diduga berumur Pliosen sampai Plistosen.
5. **Batuan Gunungapi Bilungala (Tmbv)** didominasi breksi, tuf dan lava andesit sampai basal berumur Miosen Tengah - Miosen Akhir.
6. **Formasi Dolokapa (Tmd)** yang terdiri dari batupasir *wake*, batulanau, batulumpur, konglomerat, tuf, tuf lapilli, aglomerat, breksi gunungapi, lava andesit sampai basal berumur Miosen Tengah - Miosen Akhir.
7. **Formasi Tinombo (Teot)** didominasi oleh lava basal, basal sepilitan, lava andesit, breksi gunungapi, batupasir *wake*, batulanau, batupasir hijau, batugamping merah, batugamping kelabu dan batuan termalihkan lemah. Pada formasi batuan ini berumur Eosen hingga Oligosen.
8. **Formasi Randangan (Tmr)** yang didominasi oleh konglomerat, batupasir, batulanau, batulumpur dengan umur kala Miosen Tengah – Miosen Akhir (Bachri et al., 1993).

## **II.2 Tanah Longsor**

### **II.2.1 Defenisi Tanah Longsor**

Tanah (*soil*) merupakan kumpulan dari benda alam di permukaan bumi yang tersusun dalam horizon-horizon, terdiri dari campuran bahan mineral, bahan organik, air dan udara (Bowles & Hainim, 1984).

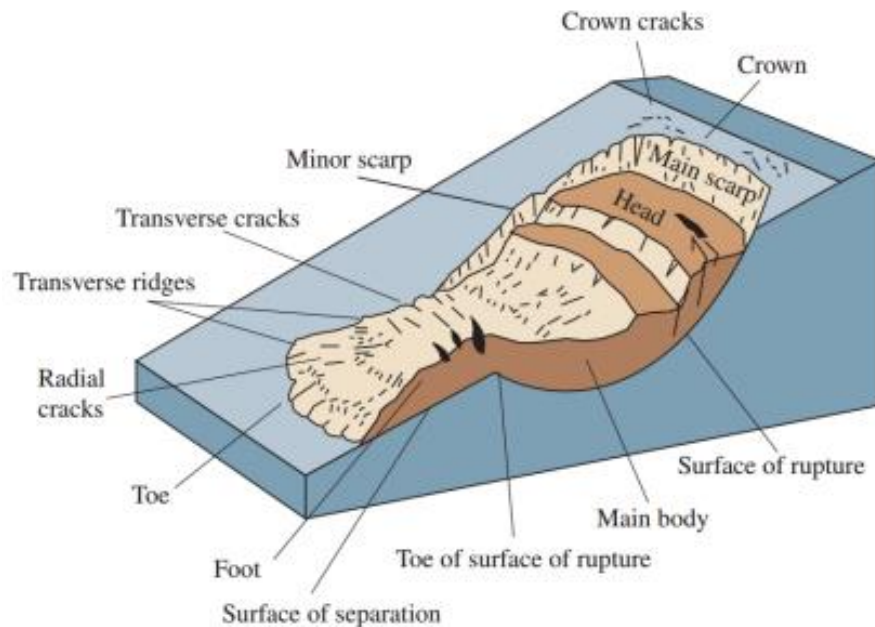
Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng berupa batuan, bahan rombakan, tanah, atau material campuran tersebut bergerak ke bawah atau keluar lereng. Pada longsor tipe translasional maupun rotasional, ada batas antara massa yang bergerak dan yang diam (disebut bidang gelincir) (Wahyono et al., 2011).

Batuan yang berperan sebagai bidang gelincir memiliki nilai tahanan jenis yang berbeda dengan batuan lainnya. Bidang gelincir di daerah longsor ditandai dengan adanya dua lapisan tanah/batuan yang nilai tahanan jenisnya sangat kontras, seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 (Dona et al., 2015).

Tanah longsor yang banyak terjadi di Indonesia biasanya terjadi pada topografi terjal dengan sudut lereng  $15^{\circ}$  -  $45^{\circ}$  dan pada batuan vulkanik lapuk dengan curah hujan tinggi. Faktor-faktor lain yang dapat memicu terjadinya tanah longsor adalah kondisi geologi, kondisi hujan, kondisi tataguna lahan, aktivitas manusia dan kegempaan (Naryanto, 2013).

Bidang gelincir biasanya terdiri dari lapisan yang keras dengan lapisan yang lunak. Apabila terjadi hujan, lapisan yang keras (kedap air) akan menjadi licin. Lapisan yang lunak akan bergerak melalui lapisan kedap. Lapisan kedap berperan sebagai bidang gelincir. Lapisan lunak berperan sebagai material longsor. Material longsor

dicirikan dengan nilai-nilai resistivitas rendah dan bidang longsor ditandai dengan material yang memiliki resistivitas tinggi (Perrone et al., 2012).



**Gambar 2.2** Bidang Gelincir (Sumber: Highland & Johnson, 2004)

## II.2.2 Jenis-jenis Gerakan Tanah

Gerakan massa tanah (*mass movement*) merupakan gerakan massa tanah yang besar disepanjang bidang longsor kritisnya. Menurut Cruden dan Varnes dalam (Hadiyatmo, 2006), karakteristik gerakan massa pembentuk lereng dapat dibagi menjadi 5 macam yaitu:

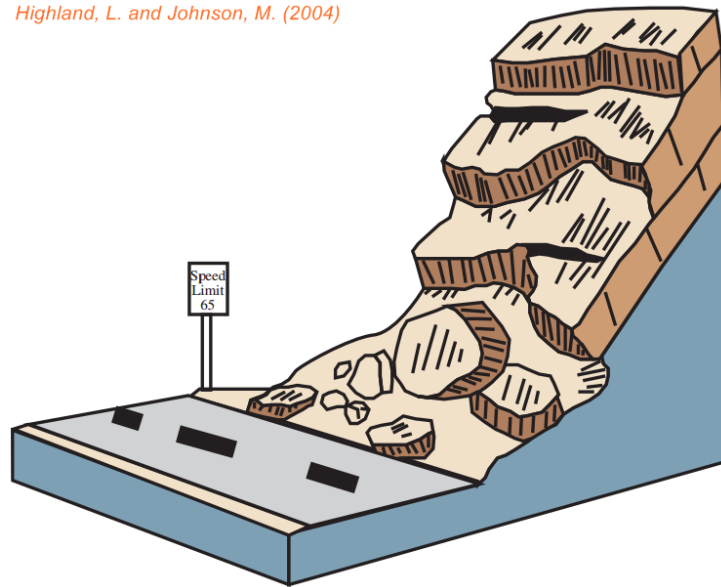
### 1. Jatuhan (*falls*)

Jatuhan merupakan jenis gerakan tanah yang terjadi secara tiba-tiba dari bongkahan batu yang jatuh dari lereng yang curam atau tebing. Pemisahan terjadi disepanjang kekar dan perlapisan batuan. Gerakan ini dicirikan dengan terjun bebas, mental dan menggelinding. Jenis gerakan tanah pada Gambar 2.3 sangat dipengaruhi oleh



gravitasi, pelapukan mekanik, dan keberadaan air pada batuan (Highland and Johnson, 2004).

Highland, L. and Johnson, M. (2004)



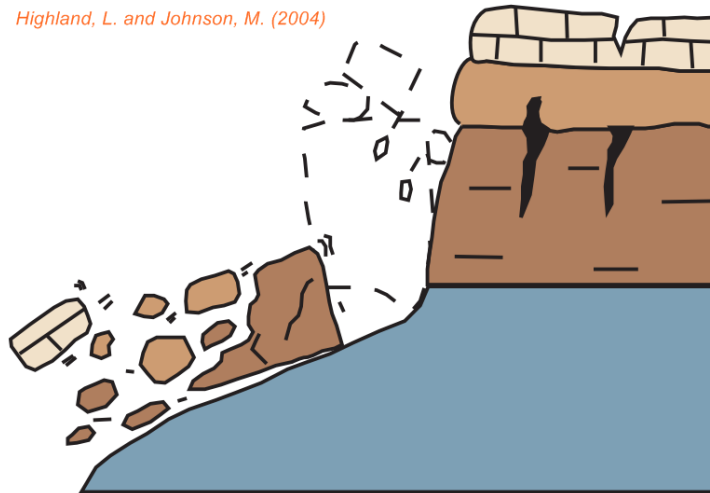
**Gambar 2.3** Tipe Jatuhan (*falls*) (Sumber: Highland & Johnson, 2004)

Menurut Noor (2006), jenis jatuhan atau massa batuan bergerak melalui udara, termasuk gerak jatuh bebas, meloncat dan penggelindingan bongkah batu dan bahan rombakan tanpa banyak bersinggungan satu dengan yang lain.

## 2. Robohan (*topples*)

Gerakan ini dicirikan dengan robohnya unit batuan dengan pergerakan rotasi kedepan pada satu titik sumbu (bagian unit batuan yang lebih rendah) yang disebabkan oleh gravitasi dan kandungan air pada rekahan batuan (Highland & Johnson, 2004). Menurut Varnes (1978) bahwa bentuk dari peristiwa gerakan tanah ini akan lurus tanpa adanya reruntuhan yang miring mengikuti lereng. Hal ini ditandakan dari adanya kesamaan dari titik atas longsoran hingga titik paling bawah memiliki bentuk yang sama dengan model curam yang lurus ke bawah. Tipe gerakan pada Gambar 2.4 hampir sama dengan tipe jatuhan, hanya saja gerakan

batuan longsor mengguling lalu roboh, sehingga batuan lepas dari permukaan lerengnya.

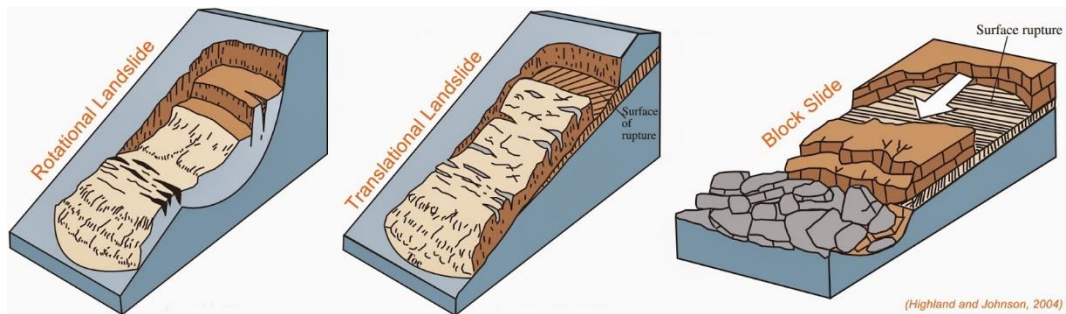


**Gambar 2.4** Longsoran Tipe Robohan (Sumber: Highland & Johnson, 2004)

### 3. Longsoran (*slides*)

Longsoran adalah gerakan material pembentuk lereng yang terjadinya akibat kegagalan geser disepanjang satu atau lebih bidang longsor. Gerakan ini terdiri dari longsoran rotasi (*rotational slide*), longsoran translasi (*translation slide*), dan longsoran blok (*block slide*) yang diilustrasikan pada Gambar 2.5.

- a. *Rotational Slide* adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung ke atas, dan pergerakan longsornya secara umum berputar pada satu sumbu yang sejajar dengan permukaan tanah.
- b. *Translational Slide* adalah Bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata dengan sedikit rotasi atau miring ke belakang.
- c. *Block Slide* adalah pergerakan batuan yang hampir sama dengan *translational slide*, tetapi massa yang bergerak terdiri dari blok-blok yang koheren.

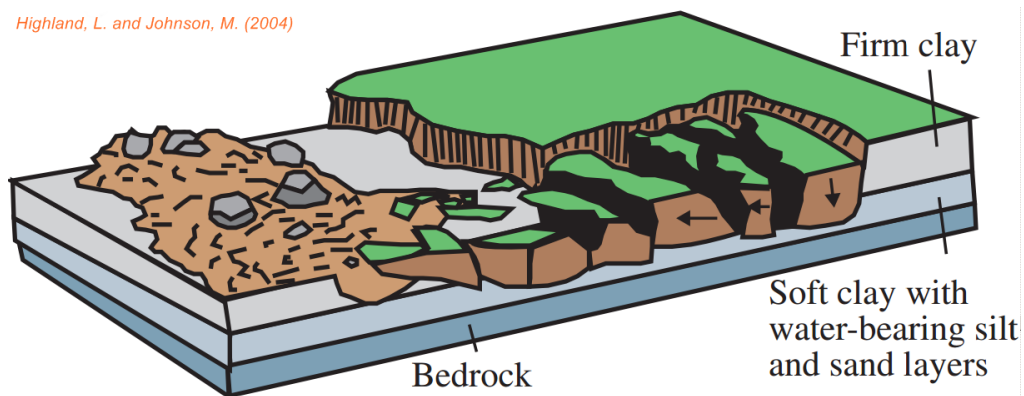


**Gambar 2.5** Jenis-jenis longsor (*slides*) (Sumber: Highland & Johnson, 2004)

#### 4. Sebaran (*spreads*)

Pergerakan tipe pada Gambar 2.6 umumnya terjadi pada lereng yang landai atau medan datar. Gerakan utamanya adalah ekstensi lateral yang disertai dengan kekar geser atau kekar tarik. Hal ini disebabkan oleh likuifaksi, suatu proses dimana tanah menjadi jenuh terhadap air, *loode*, kohesi sedimen (biasanya pasir dan lanau) perubahan dari padat ke keadaan cair (Highland & Johnson, 2004).

*Highland, L. and Johnson, M. (2004)*



**Gambar 2.6** Longsor Tipe Sebaran (Sumber: Highland & Johnson, 2004)

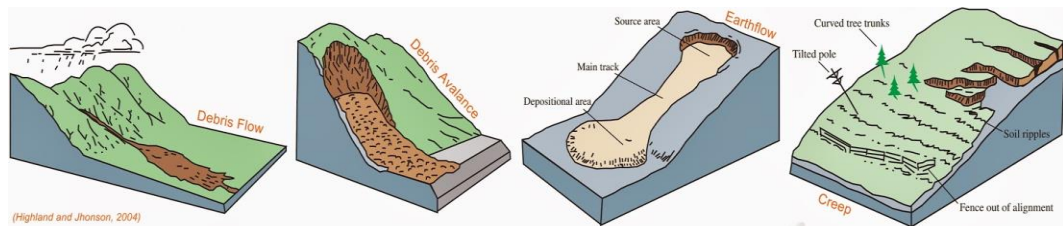
#### 5. Aliran (*flows*)

Diilustrasikan pada Gambar 2.7 yang merupakan pergerakan tanah tipe aliran. Aliran adalah gerakan dari material yang telah hancur ke bawah lereng dan mengalir seperti cairan kental. Alirannya sering terjadi dalam bidang geser relatif sempit.

Material yang terbawa oleh aliran biasanya terdiri dari berbagai macam partikel tanah (termasuk batu-batu besar), kayu, ranting, dan lain-lain.

Menurut Highland and Johnson (2004), gerakan ini terdiri dari 5 kategori mendasar yaitu:

- a. *Debris Flow* adalah bentuk gerakan massa yang cepat dimana campuran tanah yang gembur, batu, bahan organik, udara, dan air bergerak seperti bubur yang mengalir pada suatu lereng. *Debris flow* biasanya disebabkan oleh aliran permukaan air yang intens, karena hujan lebat atau pencairan salju yang cepat sehingga mengikis dan memobilisasi tanah atau batuan pada lereng yang curam.
- b. *Debris Avalance* adalah longsoran es pada lereng yang terjal. Jenis ini adalah merupakan jenis aliran debris yang pergerakannya terjadi sangat cepat.
- c. *Earthflow* berbentuk seperti jam pasir. Pergerakan memanjang dari material halus atau batuan yang mengandung mineral lempung di lereng moderat dan dalam kondisi jenuh air, membentuk mangkuk atau suatu depresi dibagian atasnya.
- d. *Mudflow* adalah sebuah luapan lumpur (hampir sama seperti *Earthflow*) terdiri dari bahan yang cukup basah, mengalir cepat dan tersusun dari material pasir, lanau, dan partikel berukuran tanah liat.
- e. *Creep* adalah perpindahan tanah atau batuan pada suatu lereng secara lambat dan stabil. Gerakan ini disebabkan oleh *shear stress*.



**Gambar 2.7** Longsoran Tipe Aliran (Sumber: Highland & Johnson, 2004)

### II.2.3 Faktor Penyebab Terjadinya Pergerakan Tanah

Menurut Rusli (2013), faktor-faktor yang mempengaruhi gerakan tanah/tanah longsor yaitu berasal dari faktor internal dan eksternal yang mana keadaan geologi yang sangat mempengaruhinya.

#### A. Faktor Internal

##### 1. Parameter Litologi

Dapat tersusun atas batuan (*soil*) yang merupakan hasil dari pelapukan batuan tersebut. Litologi merupakan faktor yang penting dalam terjadinya gerakan tanah. Litologi dengan tingkat resistensi yang tinggi seperti batuan beku mempunyai kemungkinan yang kecil untuk terjadi gerakan tanah. Sedangkan litologi dengan resistensi yang rendah seperti *soil* lebih berpotensi terjadinya gerakan tanah.

##### 2. Struktur Geologi

Struktur geologi merupakan zona lemah pada suatu batuan atau litologi. Rekahan yang terjadi mengurangi daya ikat batuan sehingga mengurangi tingkat resistensi batuan tersebut. Selain itu rekahan yang terbentuk juga menjadi jalan tempat masuknya air sehingga pelapukan dan erosi berjalan lebih intensif. Batuan yang terkena struktur cukup intensif mempunyai potensi yang lebih besar untuk terjadinya gerakan tanah.

## **B. Faktor Eksternal**

### **1. Parameter Kelerengan**

Parameter kelerengan, merupakan tingkat kemiringan yang tercermin dalam morfologi. Pada umumnya, semakin besar tingkat kelerengan maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya gerakan tanah pada suatu daerah. Hal ini juga berhubungan dengan adanya gaya gravitasi yang menarik massa batuan dari atas ke bawah. Semakin tinggi tingkat kelerengan maka batuan akan semakin mudah tertarik ke bawah sehingga mengakibatkan terjadinya gerakan tanah.

Klasifikasi kemiringan lereng yang berpotensi penyebab terjadinya longsor yaitu (Rahmawati, 2009):

- a.  $0^{\circ} - 2^{\circ}$  (0% - 2%) kemiringan lereng datar
- b.  $2^{\circ} - 4^{\circ}$  (2% - 7%) kemiringan lereng landai
- c.  $4^{\circ} - 8^{\circ}$  (7% - 15%) kemiringan lereng miring
- d.  $8^{\circ} - 16^{\circ}$  (15% - 30%) kemiringan lereng agak curam
- e.  $16^{\circ} - 35^{\circ}$  (30% - 70%) kemiringan lereng curam
- f.  $35^{\circ} - 55^{\circ}$  (30% - 70%) kemiringan lereng sangat curam
- g.  $>55^{\circ}$  (> 140%) kemiringan lereng terjal

Wilayah yang memiliki kemiringan lereng antara 0% – 15% akan stabil terhadap kemungkinan longsor, sedangkan lebih dari 15% semakin besar potensi untuk terjadinya longsor pada kawasan rawan gempa.

### **2. Tataguna Lahan**

Parameter tataguna lahan adalah hasil budaya yang dihasilkan oleh manusia. Beberapa diantaranya pemukiman, jalan, sawah dan sebagainya. Tataguna lahan

juga berpengaruh terhadap terjadinya gerakan tanah. Tata guna lahan dapat menambah beban yang harus ditanggung suatu litologi. Apabila beban yang ditanggung lebih besar dari kekuatan litologi untuk menahan beban, maka akan terjadi pergerakan. Vegetasi adalah segala jenis tumbuhan yang ada di wilayah tersebut. Sebagai contoh rumput dan semak belukar. Vegetasi juga berpengaruh terhadap tingkat kestabilan lereng. Beberapa vegetasi dapat meningkatkan kestabilan lereng karena akarnya dapat mengikat massa batuan sehingga lebih kompak. Namun sebaliknya beberapa jenis vegetasi yang mempunyai akar yang lemah justru dapat mengurangi tingkat kestabilan dari suatu lereng yang berdampak pada terjadinya gerakan tanah.

### **3. Air Hujan**

Dalam analisis stabilitas lereng dalam hal tekanan yang efektif, distribusi tekanan air pori sangat penting dan evaluasinya adalah salah satu tujuan utama pada tahap awal dari setiap studi stabilitas. Ini mungkin melibatkan pengukuran lapangan yang luas atau pemodelan pola rembesan. Ketika sifat penggerak air atau zat cair ada, maka pola rembesannya akan terbentuk. Pada suatu lereng, tidak dapat dikatakan bahwa pola aliran tersebut tidak mengalami perkembangan, bahkan jika hanya dibawah pengaruh intensitas hujan. Hal ini dikarenakan perembesan yang terjadi di puncak lereng itu lebih tinggi daripada perembesan di bawah lereng.

Kemiringan lereng dan saturasi oleh air adalah penyebab utama tanah longsor. Saturasi bisa terjadi dalam bentuk curah hujan yang intens, pencairan salju, perubahan tingkat air tanah, dan perubahan permukaan air. Ancaman tanah longsor biasanya dimulai pada saat meningkatnya intensitas curah hujan. Musim kering

yang panjang akan menyebabkan terjadinya penguapan air di permukaan tanah dalam jumlah besar. Hal itu mengakibatkan munculnya pori-pori atau rongga tanah hingga terjadi retakan dan merekahnya tanah permukaan. Ketika hujan, air akan menyusup ke bagian yang retak sehingga tanah dengan cepat mengembang kembali. Pada awal musim hujan, intensitas hujan yang tinggi biasanya sering terjadi sehingga kandungan air pada tanah menjadi jenuh dalam waktu singkat (Bromhead et al., 1999).

#### **4. Pola Aliran Sungai (DAS)**

Banjir bandang, erosi, tanah longsor di musim hujan dan kekeringan yang berkepanjangan dimusim kemarau, sangat erat hubungannya dengan penanganan pengelolaan lahan daerah aliran sungai (DAS), terutama pada daerah hulu yang kurang mengikuti kaidah konservasi tanah dan air. Sehingga dimusim hujan sebagian besar air hujan sebagai aliran permukaan yang tidak tertampung akan menyebabkan banjir bandang pada daerah hilir. Pengelolaan DAS pada daerah hulu sering menjadi fokus utama. Ini sangat erat kaitannya dengan penggunaan penutupan lahan. Terbukanya lahan pada daerah hulu akibat penebangan hutan termasuk alih fungsi lahan yang keliru menyebabkan terjadinya erosi dan tanah longsor. Banjir akan terjadi apabila penampungan pola aliran sungai melebihi batas maksimal sehingga akan berpengaruh pada lapisan yang memiliki struktur kedap air akan menyebabkan pergerakan tanah (Atmojo, 2008).

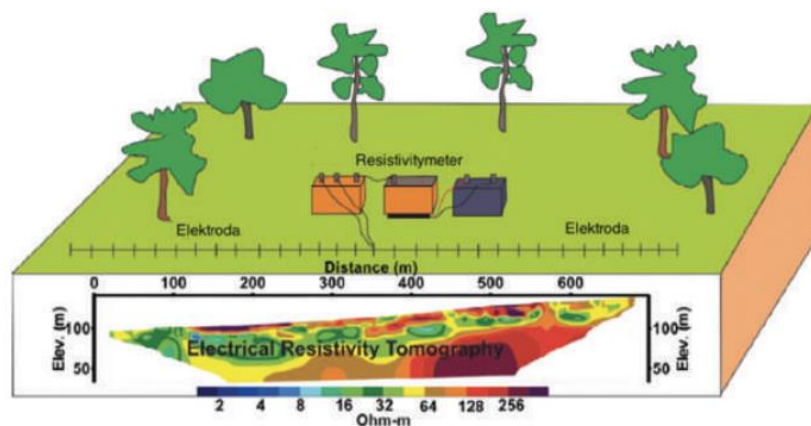
### **II.3 Metode Geolistrik**

Metode geolistrik merupakan salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi batuan bawah permukaan melalui analisis atau



kemampuan menghantarkan aliran listrik dari material di dalam bumi. Aliran arus listrik ini mengalir melalui batuan-batuan dan sangat dipengaruhi oleh adanya air tanah dan garam di dalam batuan, serta mineral logam maupun panas yang tinggi (Pryambodo & Prihantono, 2017).

Pada dasarnya metode geolistrik memiliki dua teknik pengukuran yaitu secara *mapping* dan *sounding*. *Sounding* merupakan sebuah teknik metode geolistrik yang memperlihatkan nilai resistivitas batuan di bawah permukaan secara vertikal, sedangkan *mapping* merupakan teknik metode geolistrik yang memperlihatkan nilai resistivitas batuan secara horizontal. Pada metode geolistrik ini semakin panjang lintasan maka lapisan batuan yang terdeteksi semakin dalam. Metode ini juga dapat digunakan untuk melihat struktur bawah permukaan untuk mendeteksi kedalaman lapisan dasar. Teknik pengukuran geolistrik di lapangan telah berkembang dari penggunaan sepasang elektroda sumber arus dan potensial menjadi beberapa elektroda sekaligus (*multi electrode*), seperti Gambar 2.8. Setiap elektroda dapat berfungsi sebagai sumber atau penerima pada saat tertentu (Syukri, 2020).



**Gambar 2.8** Model susunan multielektroda pada pengukuran geolistrik (Syukri, 2020)

Batuan mempunyai sifat – sifat kelistrikan karena batuan merupakan suatu jenis materi. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan bila dialirkan arus listrik kedalamnya. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri akibat terjadinya ketidakseimbangan maupun arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalamnya. Aliran arus listrik dalam batuan dibagi atas 3 macam (Syamsuddin et al., 2012):

1. Konduksi elektronik. Konduksi ini adalah tipe normal dari aliran arus listrik dalam batuan atau mineral. Hal ini terjadi jika batuan tersebut mempunyai banyak elektron bebas. Akibatnya arus listrik mudah mengalir dalam batuan.
2. Konduksi elektrolit. Konduksi jenis ini banyak terjadi pada batuan atau mineral yang bersifat *porous* dan pada porinya berisi larutan elektrolit. Dalam hal ini, arus listrik mengalir karena dibawa oleh ion-ion larutan elektrolit. Konduksi dengan cara ini lebih lambat dari pada konduksi elektronik.
3. Konduksi dielektrik. Konduksi terjadi pada batuan yang bersifat dielektrik artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas yang sedikit atau tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik eksternal, maka elektron dalam atom dipaksa berpindah dan berkumpul dengan intinya sehingga terjadi polarisasi. Peristiwa ini sangat tergantung konduktivitas batuan yang bersangkutan.

#### II.4.1 Prinsip Dasar Metode Resistivitas

Konsep dasar dari metode resistivitas adalah Hukum Ohm yang pertama kali dicetuskan oleh ilmuwan Jerman bernama George Simon Ohm (1787-1854). Dia menyatakan bahwa beda potensial ( $V$ ) timbul di ujung-ujung suatu medium berbanding lurus dengan arus listrik ( $I$ ) yang mengalir pada medium tersebut. Selain itu, dia juga menyatakan bahwa tahanan listrik ( $R$ ) berbanding lurus dengan panjang medium ( $L$ ) dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya ( $A$ ). Formulasi dari kedua pernyataan Ohm ini dapat dinyatakan sebagai berikut (Syukri, 2020):

$$V \propto I \quad \text{atau} \quad V = I \cdot R \quad (2.1)$$

$$R \propto \frac{L}{A} \quad \text{atau} \quad R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.2)$$

Prinsip pelaksanaan survei resistivitas adalah mengalirkan arus listrik secara searah ke dalam bumi melalui dua buah elektroda arus yang ditancap pada dua titik permukaan tanah dan mengukur respon beda potensial yang terjadi antara dua titik yang lain dimana dua elektroda potensial ditempatkan dengan konfigurasi tertentu (Syamsuddin, 2007).

#### II.4.2 Potensial Pada Bumi Homogen Isotropik

Diasumsikan aliran arus mengalir dalam medium homogen isotropis. Bila  $\delta A$  adalah elemen permukaan dan  $\vec{j}$  adalah kerapatan arus, maka arus yang melalui  $\delta A$  adalah  $\vec{j} \cdot \delta A$ . Hubungan kerapatan arus  $\vec{j}$  dan medan listrik  $\vec{E}$  berdasarkan hukum Ohm adalah:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (2.3)$$

dengan  $\vec{E}$  dalam volt/meter dan  $\sigma$  adalah konduktivitas medium dalam siemens/meter.

Medan listrik adalah gradien dari potensial skalar, yang didefinisikan dengan persamaan menurut Telford (1990):

$$\vec{E} = -\vec{\nabla}V \quad (2.4)$$

sehingga,

$$\vec{J} = -\sigma\vec{\nabla}V \quad (2.5)$$

karena  $\vec{\nabla} \cdot \vec{J} = 0$ , maka

$$\vec{\nabla}(\sigma\vec{\nabla}V) = 0 \quad (2.6)$$

yang dijabarkan menjadi

$$\vec{\nabla}\sigma \cdot \vec{\nabla}V + \sigma\nabla^2V = 0 \quad (2.7)$$

Jika  $\sigma$  adalah konstan, maka bentuk pertama dapat diabaikan dan persamaan potensial adalah harmonik

$$\nabla^2V = 0 \quad (2.8)$$

Persamaan (2.8) yang diberikan merupakan persamaan dasar pada teori geolistrik tahanan jenis sehingga pada distribusi arus listrik searah dalam medium homogen isotropis memenuhi persamaan Laplace.

#### **II.4.3 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Dalam Bumi**

Potensial ( $V$ ) akibat suatu sumber arus tunggal ( $I$ ) pada medium homogen dengan ( $\rho$ ) konstan pada seluruh ruang lebih sesuai jika dibahas dalam sistem koordinat bola. Karena sifat simetri dari sistem yang ditinjau dalam hal ini tidak berotasi dan berevolusi maka potensial hanya menerapkan fungsi dari jarak  $r$  atau  $V(r)$  sehingga persamaan (2.10) dituliskan (Telford et al., 1990):

$$\nabla^2V = \frac{1}{r^2} \frac{d}{dr} \left( r^2 \frac{dV}{dr} \right) = 0 \quad (2.9)$$

Integrasi sebanyak dua kali terhadap persamaan (2.10) didapatkan:

$$\int r^2 \frac{dV}{dr} dr = 0 \rightarrow r^2 \frac{dV}{dr} = P \rightarrow \frac{dV}{dr} = \frac{P}{r^2} \quad (2.10)$$

$$V = \int \frac{P}{r^2} dr = -\frac{P}{r} + Q \quad (2.11)$$

Dengan P dan Q merupakan konstanta. Dengan menerapkan batas bawah potensial pada jarak tidak berhingga memiliki harga sama dengan nol ( $V = 0, r = \infty$ ), maka  $Q = 0$ , sehingga persamaan (2.11) menjadi:

$$V = -\frac{P}{r} \quad (2.12)$$

Substitusi dengan menggunakan persamaan  $J \cdot \delta A$  dan (2.5) pada persamaan (2.12) maka didapatkan:

$$I = 4\pi r^2 (-\sigma \nabla V) = 4\pi r^2 \sigma \frac{P}{r^2} = -4\pi \sigma P \quad (2.13)$$

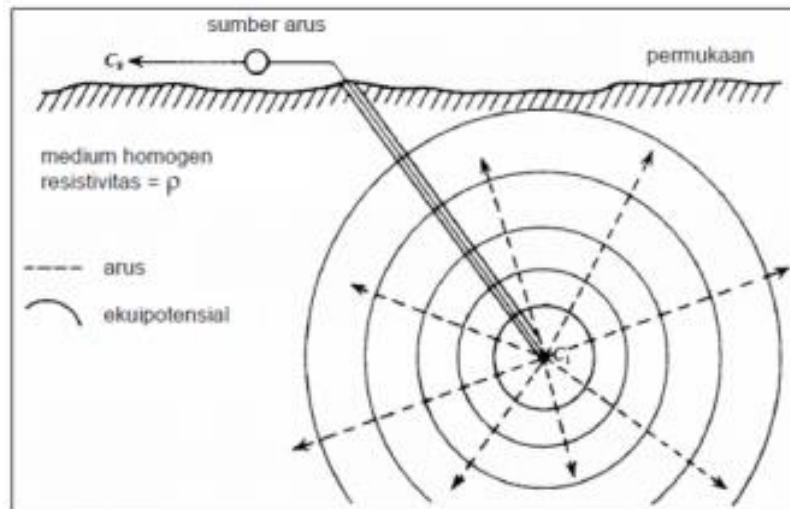
Karena  $\sigma = \frac{1}{\rho}$ , maka persamaan (2.13) dapat ditulis:

$$P = -\frac{I\rho}{4\pi} \quad (2.14)$$

Persamaan (2.14) disubstitusikan pada persamaan (2.12) maka:

$$V = \left(\frac{I\rho}{4\pi}\right) \frac{1}{r} \text{ atau } \rho = 4\pi r \frac{V}{I} \quad (2.15)$$

Berdasarkan persamaan tersebut, permukaan ekuipotensial yaitu permukaan dengan potensial yang sama, membentuk permukaan bola konsentris dengan titik pusat terletak pada sumber arus. Dari titik tersebut kemudian mengalir arus listrik disegala arah secara homogen, dan membentuk lintasan tegak lurus terhadap permukaan ekuipotensial dimana  $r$  sama dengan konstanta, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.9.



**Gambar 2.9** Sumber arus tunggal  $C_1$  dalam medium homogen seluruh ruang (*whole-space*), sementara sumber arus  $C_2$  dianggap terletak di tak hingga (Telford et al., 1990)

#### II.4.4 Potensial Listrik Akibat Arus Tunggal Di Permukaan Bumi

Jika sumber arus terletak di permukaan medium homogen yang membentuk suatu medium setengah ruang/setengah bola (*half-space*) dengan setengah ruang lainnya adalah di udara ( $\sigma \text{ udara} = 0$ ) dengan persamaan 2.14 menjadi (Telford et al., 1990):

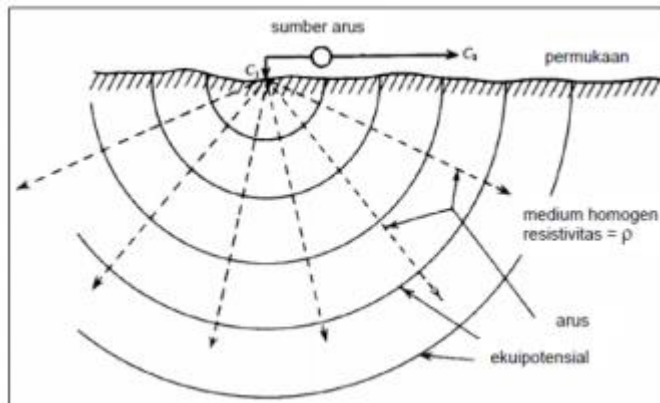
$$P = - \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.16)$$

Sehingga persamaan (2.15) menjadi:

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

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.17)$$

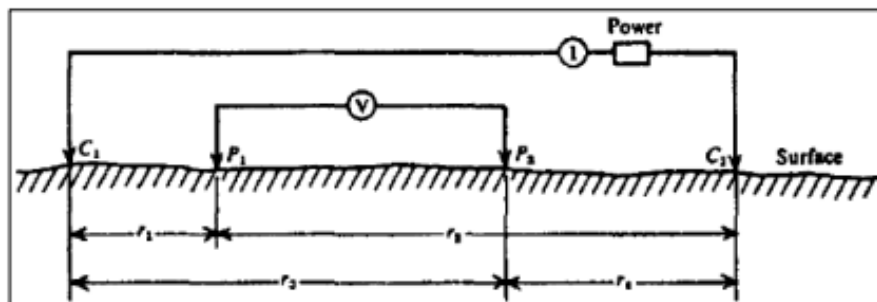
Dimana faktor  $4\pi$  menjadi  $2\pi$  dikarenakan distribusi arus berlaku pada setengah ruang. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2.10.



**Gambar 2.10** Sumber arus tunggal \$C\_1\$ di permukaan medium homogen setengah ruang (*half-space*), sementara pasangan sumber arus \$C\_2\$ dianggap terletak di takhingga (Telford et al., 1990)

#### II.4.5 Potensial Oleh Dua Sumber Arus Di Permukaan Bumi

Adapun potensial listrik oleh dua sumber arus di dalam bumi ketika jarak antara dua elektroda arus telah ditentukan terlihat pada Gambar 2.11. Model ini menampilkan \$P\_1\$ dan \$P\_2\$ merupakan elektroda potensial dan \$C\_1\$ dan \$C\_2\$ merupakan elektroda arus. Untuk \$r\_1\$, \$r\_2\$, \$r\_3\$ dan \$r\_4\$ merupakan jarak antara elektroda yang terpasang.



**Gambar 2.11** Ilustrasi dua elektroda arus dan potensial di permukaan bumi pada medium homogen isotropik (Telford et al., 1990)

Mengacu pada persamaan (2.17), besar potensial di titik \$P\_1\$ (\$V\_1\$) akibat sumber arus \$C\_1\$ dan \$C\_2\$ yaitu:

$$V_1 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.18)$$

dengan rumus yang sama, potensial di titik P<sub>2</sub> (V<sub>2</sub>) akibat sumber arus C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub> yaitu:

$$V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.19)$$

sehingga beda potensial antara titik P<sub>1</sub> dan P<sub>2</sub> adalah

$$\Delta V = V_1 - V_2 \quad (2.20)$$

$$\Delta V = \frac{I\rho}{2\pi} \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right] \quad (2.21)$$

Berdasarkan persamaan (2.21) diatas, diperoleh persamaan resistivitas pada sumber arus ganda (sumber arus C<sub>1</sub> dan C<sub>2</sub>), yaitu:

$$\rho = \frac{2\pi}{\left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]} \frac{\Delta V}{I} \quad (2.22)$$

atau dapat dituliskan:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.23)$$

dengan,

$$k = 2\pi \left[ \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) - \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \right]^{-1} \quad (2.24)$$

$k$  nilai disebut dengan faktor geometri elektroda.

#### II.4.6 Metode *Electrical Resistivity Tomography*

ERT adalah salah satu metode geofisika yang dapat digunakan untuk mengetahui lapisan bawah permukaan dengan mengukur perubahan tahanan jenis lapisan batuan dengan cara mengalirkan arus listrik DC (*Direct Current*) yang mempunyai tegangan tinggi ke dalam tanah.

Prinsip ERT didasarkan pada penggunaan sistem multi-elektroda yang terbuat dari selektor elektroda dan *multi-channel* sistem akuisisi yang memungkinkan koneksi

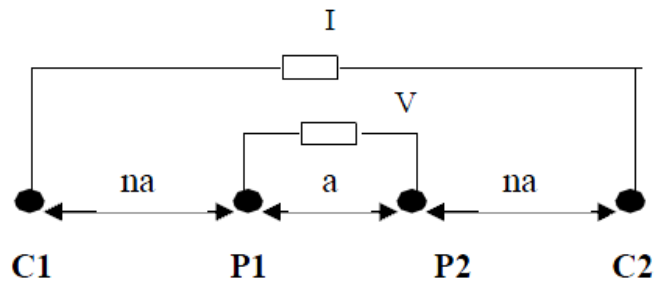


dengan satu set elektroda yang tertanam dan terhubung ke resistivimeter. Resistivimeter terhubung ke laptop yang telah mempunyai program akuisisi secara berurutan yang secara otomatis memilih nomor elektroda arus dan elektroda potensial. Setiap elektroda ditentukan oleh alamat numerik yang unik dalam sistem yang dapat diidentifikasi oleh komputer. Pengukuran ini dapat secara otomatis menyimpan data dari ratusan pengukuran *single-channel*. Data yang disajikan dalam bentuk penampang plot, yang diperoleh dengan menempatkan setiap nilai resistivitas semu pada penampang lintasan. Titik yang terletak dibawah elektroda ABMN dengan kedalaman setengah dari AB disebut dengan penampang kedalaman (Loke, 2004)

#### **II.4.7 Konfigurasi Wenner-Schlumberger**

Salah satu konfigurasi yang digunakan dalam metode geolistrik yaitu konfigurasi Wenner-Schlumberger. Dalam konfigurasi Wenner-Schlumberger menggunakan spasi yang konstan dengan perbandingan jarak antara  $C_1 - P_1 - P_2 - C_2$  dimana nilai  $C_1 - P_1$  maupun  $P_2 - C_2$  merupakan  $na$ , sedangkan jarak antara  $P_1 - P_2$  merupakan bernilai spasi  $a$ , sehingga pada saat  $n$  meningkat seiring lebih dalam dibawah permukaan tanah maka nilai menjadi  $2na$  dan seterusnya.

Pada saat jumlah  $n$  bertambah maka nilai sensitifitas positif yang tinggi berada diantara  $P_1 - P_2$  menyebar mendekati  $C_1 - C_2$ . Konfigurasi ini memiliki sensitifitas yang baik untuk melihat penampang bawah permukaan secara vertikal maupun horizontal (Loke, 1999). Terlihat pada Gambar 2.12 pengaturan elektroda yang digunakan pada konfigurasi Wenner-Schlumberger.



**Gambar 2.12** Konfigurasi Wenner-Schlumberger (Telford et al., 1990)

Faktor geometri  $k$  dari konfigurasi Wenner-Schlumberger berdasarkan persamaan yaitu:

$$k = \pi a (n + n^2) \quad (2.25)$$

## II.5 Resistivitas Batuan

Resistivitas listrik adalah salah satu parameter fisis yang dapat digunakan untuk menyelidiki struktur bawah permukaan dengan menggunakan metode/teknik *resistivity logging*. Resistivitas juga berfungsi untuk mengukur sifat batuan dan fluida pori disepanjang lubang bor dengan mengukur sifat tahanan kelistrikannya. Besaran resistivitas batuan dideskripsikan dengan Ohm meter.

Setiap batuan memiliki karakteristik tersendiri dalam hal sifat kelistrikan. Pada dasarnya batuan memiliki sifat dalam bentuk resistivitas yang menunjukkan kemampuan untuk menghantarkan arus listrik, yang berasal dari alam maupun arus yang diinjeksikan dari instrumen. Semakin besar nilai resistivitas pada batuan maka batuan tersebut sulit untuk menghantarkan arus listrik.

Batuan dan mineral yang ada di dalam bumi memiliki nilai tahanan jenis yang berbeda-beda karena beberapa faktor yaitu porositas, permeabilitas, kepadatan batuan, umur batuan, jumlah mineral yang dikandung, kandungan elektrolit,

sehingga nilai dari tahanan jenis suatu batuan tidak ada yang pasti. Nilai resistivitas suatu material yang ada di dalam bumi dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1** Nilai Resistivitas Batuan (Telford et al., 1990)

<b>Material</b>	<b>Resistivitas (<math>\Omega\text{m}</math>)</b>
<b>Air Tanah (<i>Ground water</i>)</b>	0,5 – 150
<b>Lempung (<i>Clay</i>)</b>	1 – 100
<b>Pasir (<i>Sand</i>)</b>	1 – 1000
<b>Andesit (<i>Andesite</i>)</b>	$1,7 \times 10^2 - 45 \times 10^4$
<b>Aluvium (<i>Alluvium</i>)</b>	10 – 800
<b>Breksi</b>	75 – 200
<b>Kerikil (<i>Gravel</i>)</b>	100 – 600
<b>Batu Pasir (<i>Sandstone</i>)</b>	200 – 8000
<b>Gamping (<i>Limestone</i>)</b>	$50 - (1 \times 10^7)$
<b>Granit (<i>Granite</i>)</b>	200 - 10000
<b>Basal (<i>Basalt</i>)</b>	$10^3 - 10^6$
<b>Kwarsa (<i>Quartz</i>)</b>	500 – 800000
<b>Kalsit (<i>Calcite</i>)</b>	$1 \times 10^{12} - 1 \times 10^{13}$
<b>Batu Serpih (<i>Shale</i>)</b>	$20 - 2 \times 10^3$
<b>Tufa Vulkanik</b>	20 – 100
<b>Lava</b>	$100 - 5 \times 10^4$
<b>Konglomerat</b>	$6 \times 10^3 - 2 \times 10^4$

## II.6 Proses Inversi

Inversi merupakan suatu proses pengolahan data lapangan yang melibatkan teknik penyelesaian matematika dan statistik untuk mendapatkan informasi mengenai distribusi sifat fisis batuan yang tidak diketahui sebelumnya (*unknown parameter*) (Loke, 2004).

Dalam geofisika diperlukan metode inversi untuk memperoleh sebuah model dengan respon yang sama seperti nilai pengukuran. Model tersebut merupakan representasi secara matematis dari suatu bagian bumi yang memiliki seperangkat

parameter untuk memperkirakan data yang diamati. Respon model yang diberikan adalah data sintetik yang dapat dihitung dari hubungan matematika yang mendefinisikan model sebarang parameter yang diberikan. Keseluruhan metode inversi digunakan untuk menentukan sebuah model bawah permukaan yang memiliki respon sesuai dengan data terukur yang dikenai batasan-batasan tertentu. Di dalam metode berbasis sel yang digunakan program *Res2Dinv* dan *software Res3Dinv*, parameter model adalah nilai resistivitas dari model sel, sementara data adalah nilai resistivitas semu terukur. Dalam pemodelan resistivitas baik berupa 2-D maupun 3-D, metode matematika yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara parameter dan respon model adalah metode *finite-difference* atau *finite-element* (Loke, 2004).

Hubungan antara model dan respon model baik pada model dua dimensi maupun tiga dimensi dapat diselesaikan dengan menggunakan metode *finite difference* atau *finite element* yakni metode yang digunakan untuk menghitung resistivitas semu (Loke, 1999).

Penyelesaian dengan metode *finite difference* melibatkan persamaan diferensial geolistrik untuk memperoleh solusi berupa nilai konduktivitas pada masing-masing *grid*.

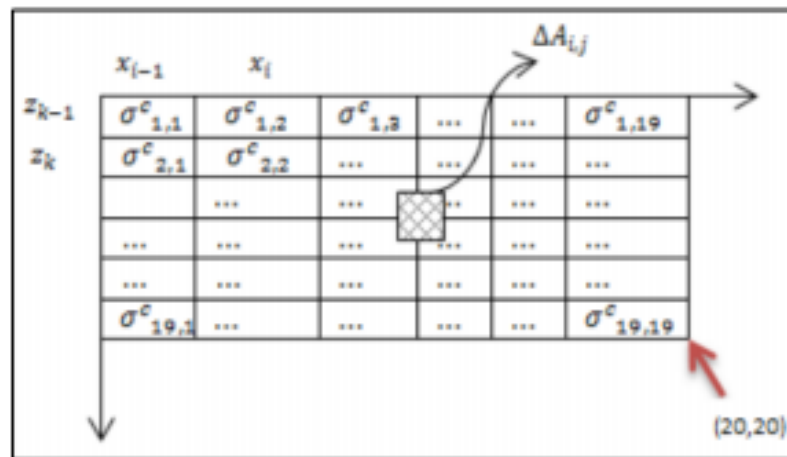
$$-\nabla \cdot (\sigma(x, z) \nabla V(x, z)) = I(x, z) \quad (2.26)$$

Persamaan 2.26 merupakan persamaan potensial listrik untuk kasus 2D yang merupakan persamaan diferensial poisson pada kasus homogen yang tidak mengalami perubahan potensial dengan asumsi bahwa potensial ke arah  $y$  adalah konstan. Dimana  $\sigma$  merupakan konduktivitas,  $V(x, z)$  adalah potensial dan  $I$

merupakan arus listrik. Sehingga untuk kasus 2D diberikan batas ( $\delta$ ) maka persamaan 2.26 berubah menjadi:

$$\sigma \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} \right) + \frac{\partial \sigma}{\partial x} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial \sigma}{\partial z} \frac{\partial V}{\partial z} = I \delta(x - x_s)(z - z_s) \quad (2.27)$$

Untuk dapat memperoleh nilai potensial yang akurat maka dilakukan diskritisasi pada persamaan 2.27. Pada Gambar 2.13 menunjukkan struktur 2D *grid* dengan jarak antara *grid* berbeda.



**Gambar 2.13** Model *grid* berukuran 20x20 *grid* beserta nilai konduktivitas tiap sel (Andriani et al., 2016)

Dimana  $\sigma_{i,k}^c$  merupakan konduktivitas sel (tiap kotak) yang nantinya akan berkontribusi pada perhitungan konduktivitas masing-masing *grid*. Persamaan differensial geolistrik yang telah diperoleh dari persamaan 2.27 dapat diperoleh solusinya dengan menggunakan metode beda hingga (*Finite difference method*). Metode ini mengubah persamaan diferensial potensial listrik menjadi persamaan linear:

$$A\vec{x} = \vec{B} \quad (2.28)$$

Dengan menggunakan ekspansi Deret Taylor pada turunan kedua dari potensial didapatkan persamaan:

$$\frac{\partial^2 V_{i,k}}{\partial x^2} = \frac{V_{(i+\Delta x,k)} + V_{(i-\Delta x,k)} - 2V_{(i,k)}}{\Delta x^2} \quad (2.29)$$

Dari hasil diskritisasi tersebut akan menghasilkan persamaan linear nilai potensial tiap *grid* sebagai berikut:

$$C1_{i,k}V_{i-1,k} + C2_{i,k}V_{i+1,k} + C3_{i,k}V_{i-1,k} + C4_{i,k}V_{i+1,k} - C0_{i,k} = -I \quad (2.30)$$

Untuk  $I$  merupakan sumber arus yang terdapat pada lokasi yang diinjeksikan saja. Dari gambar 2.13 diketahui  $C_1 =$  kiri,  $C_2 =$  kanan,  $C_3 =$  atas,  $C_4 =$  bawah, dan  $C_0$  berada pada posisi *grid* yang sedang ditinjau. Nilai  $C$  merupakan konduktivitas dalam *grid*.

Kemudian  $I$  dapat dituliskan menjadi:

$$I = I\delta(X - X_s)(Y - Y_s)(Z - Z_s)$$

Untuk kasus homogen dan jarak antar *grid* sama yaitu bernilai 1 maka nilai setiap konstanta menjadi:

$$C1_{i,k} = C2_{i,k} = C3_{i,k} = C4_{i,k} = \sigma_{i,k}$$

Sehingga persamaan diferensial geolistrik menjadi

$$\sigma(V_{(i+1,k)} + V_{(i-1,k)} + V_{(i,k+1)} + V_{(i,k-1)} - 4V_{(i,k)}) = I \quad (2.31)$$

Persamaan 2.31 merupakan bentuk lengkap dari persamaan diferensial geolistrik dengan bentuk lengkap matriks koefisien  $A$ , vektor posisi  $\vec{x}$ , dan vektor sumber  $\vec{B}$  yang dituliskan pada persamaan 2.28. Sehingga solusi potensial di tiap *grid* dapat diperoleh dengan menggunakan operasi matriks biasa yaitu:

$$\vec{x} = A^{-1} \vec{B} \quad (2.32)$$

Dari nilai konduktivitas dapat diperoleh nilai resistivitas tiap *grid* ( $\rho = 1/\sigma$ ) yang merupakan nilai resistivitas kalkulasi. Nilai ini selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai resistivitas observasi yang diperoleh dari data lapangan dengan melakukan inversi dan meminimalkan kuadrat kesalahan dan selisih antara data kalkulasi dengan data lapangan (Andriani et al., 2016).

Pada metode optimasi, sebuah model awal dibuat dengan metode iterasi beda hingga antara respon model dan hasil pengukuran dapat direduksi. Data yang terukur dapat ditulis dalam sebuah vektor kolom B:

$$B = col (B1, B2 \dots, Bm) \quad (2.33)$$

Dimana m merupakan banyaknya pengukuran. Respon model F dapat ditulis dengan cara yang sama dalam bentuk:

$$F = col (f1, f2 \dots, fm) \quad (2.34)$$

Pada nilai resistivitas, lebih mudah digunakan logaritma dari nilai *true resistivity* untuk hasil pengukuran respon model dan parameter model. Parameter model dapat direpresentasikan oleh vektor A berikut ini:

$$A = col (A1, A2 \dots, An) \quad (2.35)$$

dimana n merujuk pada banyaknya parameter model. Dan beda antara hasil pengukuran dan respon diberikan oleh persamaan:

$$g = B - F \quad (2.36)$$

dimana *g* merupakan selisih antara hasil pengukuran dan respon pengukuran.

Pada metode optimasi *least square*, model awal dimodifikasi hingga jumlah kuadrat kesalahan E dari selisih antara respon model hasil pengukuran dapat diperkecil dengan:

$$E = g^T g \quad (2.37)$$

Untuk dapat mengurangi kesalahan pada persamaan 2.36 maka persamaan Gauss Newton (persamaan 2.37) digunakan untuk menentukan perubahan dalam parameter model yang seharusnya dapat mengurangi jumlah kuadrat kesalahan.

$$J^T J \Delta A_j = J^T g; \Delta A = (J^T J)^{-1} J^T g \quad (2.38)$$

Dimana  $\Delta A$  adalah vektor perubahan parameter model dan  $J$  adalah turunan parsial dan matriks Jacobian. Elemen matriks Jacobian diberikan oleh persamaan:

$$J_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial A_j} \quad (2.39)$$

Pada persamaan 2.39 menjelaskan perubahan model pada respon model ke- $i$  (persamaan model) yang disebabkan oleh karena perubahan parameter model ke- $j$  (parameter model). Setelah melakukan perhitungan vektor perubahan parameter, maka didapatkan sebuah model baru yang diperoleh dari persamaan 2.35.

$$A_{j+1} = A_j + \Delta A_j \quad (2.40)$$

## **II.7 Metode *Standard Penetration Test* (SPT)**

Uji Penetrasi Standar (SPT) dikembangkan pada tahun 1927 ini merupakan sarana yang paling populer dan paling ekonomis untuk mendapatkan informasi dari lapisan bawah permukaan bumi. Pengujian ini secara luas juga dipakai di daerah geografis lain. Cara ini telah dibakukan sebagai ASTM D 1586 sejak tahun 1958 dengan revisi-revisi secara berkala sampai sekarang (Sopian, 2017).

*Standard Penetration Test* (SPT) merupakan suatu percobaan yang dilakukan secara langsung di lapangan untuk memperoleh daya dukung tanah dengan cara memasukkan tabung sampel (*split spoon*) (Wiyana et al., 2018).



Perhitungan daya dukung ataupun penurunan memerlukan pengetahuan mengenai sifat-sifat tanah (*soil properties*) yang akan memberikan gambaran mengenai karakteristik tanah. Uji penetrasi standar (SPT) bertujuan untuk memperoleh gambaran lapisan tanah serta sifatnya berdasarkan jenis dan warna tanah melalui pengamatan secara visual dan sifat-sifat tanah (Jusi, 2015).

Meyehorf mengestimasi bahwa tahanan penetrasi dari uji statis, uji dinamis maupun uji penetrasi standar menunjukkan perubahan yang sama sejalan dengan bertambahnya kedalaman. Nilai N berdasarkan jumlah tumbukan per kedalaman 15 cm dapat diperoleh setelah pengeboran yang dilakukan selesai.

Pada Tabel 2.2 dapat memberikan informasi mengenai klasifikasi tanah yang terdiri dari beberapa poin. Dari tabel memberikan penjelasan korelasi antara klasifikasi tanah berdasarkan nilai N-SPT dan nilai tahanan konus ( $q_c$ ) yang diperoleh setelah melakukan pengeboran. Kemudian dalam penentuan klasifikasi tanah berdasarkan N-SPT dapat diperoleh:

$$N_{value} = N_1, N_2, N_3$$

$$N_{koreksi} = N_2 + N_3 \quad (2.41)$$

Untuk nilai  $N_1$  tidak dijumlahkan karena masih merupakan bekas galian dari hasil pengeboran.

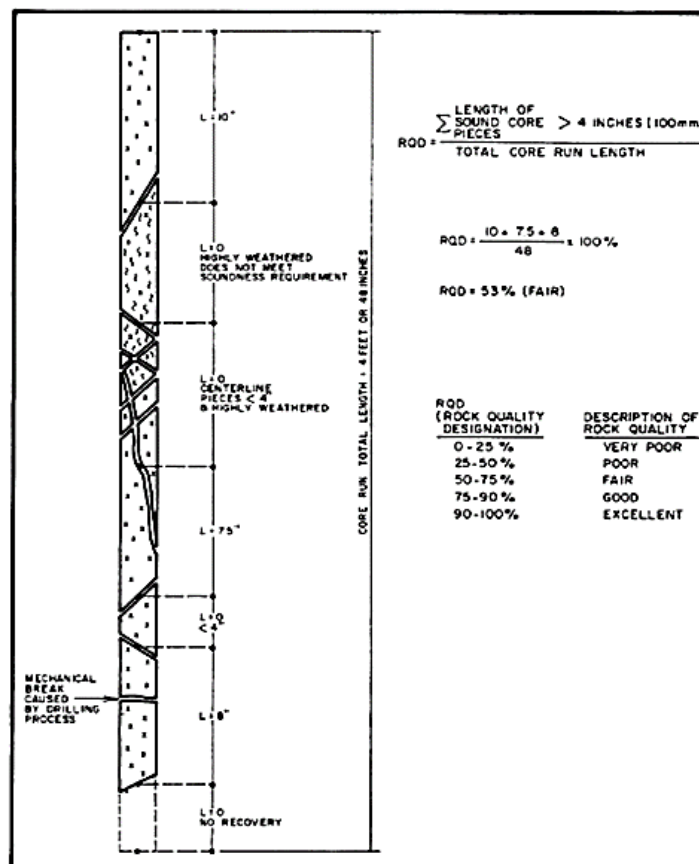
**Tabel 2.2** Hubungan antara Klasifikasi Tanah, N-SPT, dan Tahanan Konus (Meyerhof, 1976)

No.	N (SPT)	Klasifikasi Tanah	Tahanan Konus ( $q_c$ )(Kg/cm <sup>2</sup> )
1.	<4	Sangat Lepas	<20
2.	4-10	Lepas	20-40
3.	10-30	Agak Lepas	40-120
4.	30-50	Padat	120-200
5.	>50	Sangat Padat	>200

## II. 8 Rock Quality Designation (RQD)

*Rock Quality Designation* digagas pertama kali oleh Deere dan Deere pada tahun 1967. RQD merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk perhitungan *Rock Mass Rating* (RMR). Distribusi dan klasifikasi kualitas batuan akan sangat membantu dalam memberikan informasi kondisi batuan setempat (Patiung & Sibala, 2021).

Konsep dari klasifikasi RQD ini sederhana yaitu presentasi patahan batuan dari total panjang uji bor inti, semakin tinggi nilai RQD maka semakin baik kualitas batuan. Kelemahan dari RQD adalah pada saat *no recovery* (pengeboran yang tidak menghasilkan sampel inti) kesulitan dalam mendapatkan data pada batuan alluvium (batuan lunak). Hasil sampel ini akan terganggu saat ada isian diantara lapisan batuan dan hasil RQD yang hanya berdasar pada presentasi retakan tidak mempresentasikan parameter kekuatan serta jenis batumannya (Siswanto & Anggraini, 2018).



Gambar 2.14. Prosedur Pengukuran dan Perhitungan RQD (Deere & Deere, 2009)

RQD ini penting dilakukan dalam pembobotan massa batuan dan pembobotan massa lereng. Metode ini tidak memperhitungkan faktor orientasi bidang diskontinu, material pengisi dan lain sebagainya, sehingga metode ini kurang dapat menggambarkan keadaan massa batuan yang sebenarnya. Namun dalam penggunaannya, metode ini memiliki keunggulan berupa teknik mudah dan cepat serta dapat dijadikan bahan pertimbangan dalam desain awal *tunnel* pada saat informasi yang tersedia mengenai massa batuan, tegangan dan hidrologi sangat sedikit (Askari et al., 2017).

*Rock Quality Designation* (RQD) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$RQD = \frac{\sum \text{rock pieces} \geq 10 \text{ cm}}{\text{Core run total length}} \times 100 (\%) \quad (2.42)$$

Pada Tabel 2.3 memberikan informasi mengenai kualitas batuan berdasarkan persentase nilai *Rock Quality Designation* (RQD) yang ditunjukkan sebagai berikut.

**Tabel 2.3** Klasifikasi Kualitas Batuan (Deere & Deere, 2009)

<b>RQD (%)</b>	<b>Description Of Rock Quality</b>
0 – 25 %	Very Poor (Sangat Lemah)
25 – 50 %	Poor (Lemah)
50 -75 %	Fair (Sedang)
75 – 90 %	Good (Baik)
90 – 100 %	Excellent (Sangat Baik)