

## BAB II

### TEORI DASAR

#### **2.1. Metode Geolistrik**

Metode geolistrik merupakan salah satu metode survei geofisika aktif untuk menginvestigasi kondisi di bawah permukaan tanah berdasarkan prinsip bahwa setiap jenis batuan atau material mempunyai nilai tahanan jenis [4]. Tujuan dari survei geolistrik adalah untuk mengetahui kondisi di bawah permukaan berdasarkan distribusi nilai tahanan jenis dari setiap jenis batuan [4].

Pada metode geolistrik terdapat metode geolistrik resistivitas yang memiliki prinsip bahwa dengan menginjeksikan arus listrik ke bawah permukaan tanah menggunakan elektroda arus, kemudian dari elektroda potensial didapat nilai beda potensial. Dengan data arus yang diinjeksikan serta data beda potensial yang didapat tersebut sehingga dapat diketahui nilai tahanan jenis dari kondisi bawah permukaan [5].

Pada umumnya metode geolistrik resistivitas hanya baik untuk eksplorasi dangkal, sekitar 100 m, hal tersebut dikarenakan jika diinginkan kedalaman yang lebih harus diperpanjang juga pada bentangan lintasan, jika bentangan terlalu panjang maka kekuatan arus akan melemah sehingga data yang diperoleh kurang akurat, akibatnya metode ini jarang digunakan untuk eksplorasi dalam seperti eksplorasi minyak bumi, metode resistivitas lebih banyak digunakan untuk eksplorasi dangkal seperti penentuan kedalaman batuan dasar, pencarian reservoir air, pendektsian intrusi air laut, serta pencarian ladang *geothermal* [6].

Prinsip dasar metode resistivitas ini adalah dengan menginjeksikan arus ( $I$ ) menggunakan elektroda arus ( $C_1$  dan  $C_2$ ) dan mengukur nilai yang didapat dari elektroda potensial ( $P_1$  dan  $P_2$ ) berupa nilai beda potensial  $\Delta V$  [7].

$$R = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.1)$$

Keterangan:

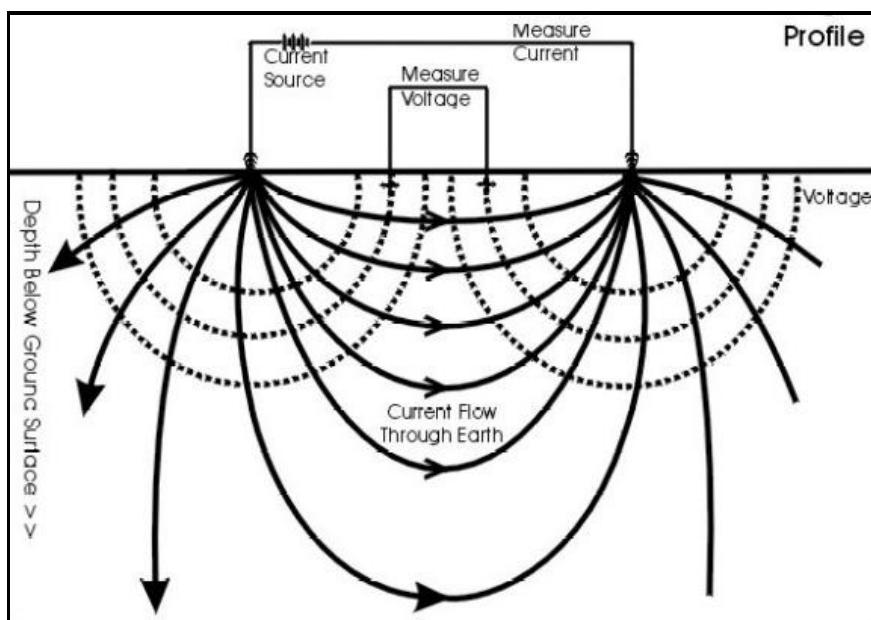
$R$  : Resistansi ( $\Omega$ )

$\Delta V$  : beda potensial (V)

$I$  : arus (A)

Berdasarkan hukum Ohm maka besar arus listrik ( $I$ ) yang mengalir melalui suatu objek yang dapat menghantarkan listrik (*konduktor*) akan selalu berbanding lurus dengan beda potensial ( $\Delta V$ ) yang diterapkan kepadanya dan berbanding terbalik dengan resistansinya.

Pada medium bumi, injeksi arus melalui elektroda akan menyebar secara radial ke segala arah, sehingga persebaran arus akan berbentuk setengah bola untuk asumsi permukaan tanah yang datar [7] seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Penjalaran arus dan beda potensial pada suatu medium [7].

### 2.1.1 Konsep Resistivitas Semu

Pada metode ini bumi diasumsikan memiliki sifat homogen isotropis. Dengan mengasumsikan bumi seperti itu, resistivitas yang terukur merupakan resistivitas sebenarnya dan tidak bergantung pada jarak antar elektroda. Namun kenyataannya, bumi terdiri dari beberapa lapisan yang tentunya memiliki nilai resistivitas bervariasi sehingga potensial yang terukur merupakan pengaruh dari lapisan-

lapisan tersebut. Maka nilai resistivitas yang terukur bukan merupakan nilai resistivitas untuk satu lapisan saja, terutama untuk kasus yang memiliki jarak antar elektroda yang cukup jauh [8]. Untuk resistivitas semu (*Rho Apparent*) dapat dituliskan :

$$\rho_a = \frac{K \Delta V}{I} \quad (2.2)$$

Keterangan:

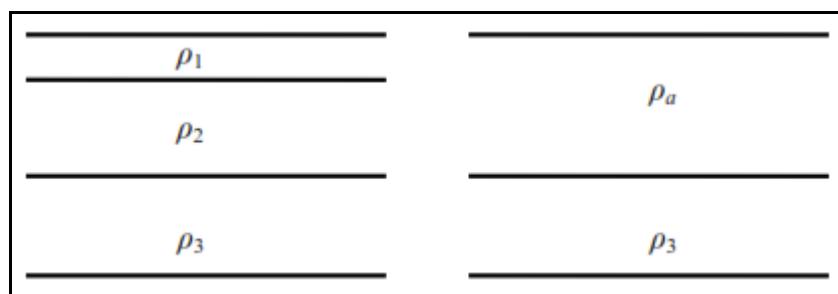
$\rho_a$  : resistivitas semu      ( $\Omega\text{m}$ )

$K$  : faktor geometri      (m)

$\Delta V$  : beda potensial      (V)

$I$  : arus      (A)

$\rho_a$  merupakan resistivitas semu yang bergantung pada spasi elektroda. Untuk kasus tak homogen, bumi diasumsikan berlapis-lapis dengan masing-masing lapisan mempunyai harga resistivitas yang berbeda. Resistivitas semu merupakan resistivitas dari suatu medium fiktif homogen yang ekuivalen dengan medium berlapis yang ditinjau. Sebagai contoh medium berlapis yang ditinjau misalnya terdiri dari dua lapis yang mempunyai resistivitas berbeda ( $\rho_1$  dan  $\rho_2$ ) dianggap sebagai medium satu lapis homogen yang mempunyai satu harga resistivitas yaitu resistivitas semu dengan konduktansi lapisan fiktif sama dengan jumlah konduktansi masing-masing lapisan  $\sigma_f = \sigma_1 + \sigma_2$  [6] dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.2.

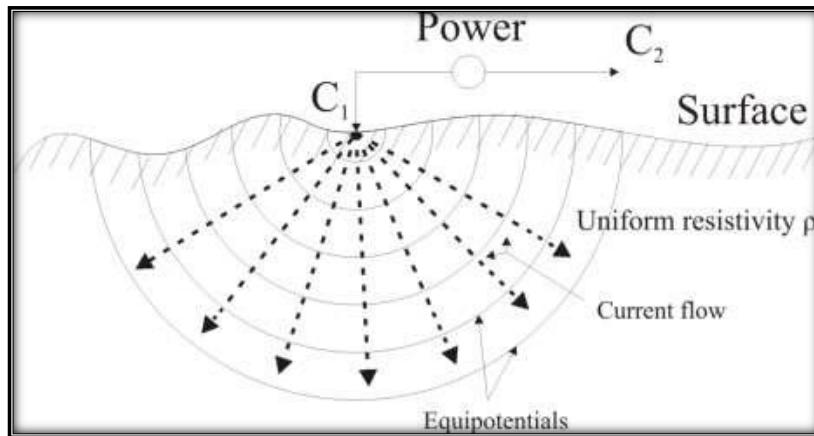


Gambar 2.2 Medium berlapis dengan variasi resistivitas [6].

## 2.1.2 Aliran Listrik di dalam Bumi

### A. Elektroda berarus tunggal di permukaan bumi

Jika titik elektroda arus terletak di permukaan medium homogen isotropis dengan adanya konduktivitas udara di atasnya yang memiliki nilai nol, maka aliran arus akan bergerak secara radial ke segala arah yang membentuk seperti setengah bola atau dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Titik sumber arus dari permukaan pada medium homogen [4].

Dari gambar terlihat arus yang mengalir membentuk setengah bola dengan kontur ekipotensial. Oleh karena itu, arus yang mengalir dengan arah perambatan setengah bola secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut

$$I = 2\pi r^2 J \quad (2.3)$$

dengan rapat arus listrik,

$$J = -\sigma \frac{dv}{dr} \quad (2.4)$$

dengan mensubstitusikan Persamaan (2.4) pada (2.3) menjadi

$$I = -2\pi r^2 \sigma \frac{dv}{dr} \quad (2.5)$$

dengan

$$\frac{dV}{dr} = \frac{A}{r^2} \quad (2.6)$$

maka Persamaan (2.5) dapat di substitusikan menjadi

$$I = -2\pi\sigma A \quad (2.7)$$

Persamaan (2.7) dapat ditulis menjadi

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

Konduktivitas berbanding terbalik dengan resistivitas

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.9)$$

Lalu substitusikan Persamaan (2.9) pada Persamaan (2.8) menjadi

$$A = -\frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.10)$$

Kemudian selesaikan Persamaan (2.5)

$$dV = \frac{A}{r^2} dr \quad (2.11)$$

sehingga

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

Dengan memasukkan Persamaan (2.10) didapat :

$$V = \frac{I\rho}{2\pi r} \quad (2.13)$$

Dengan demikian nilai resistivitas listrik yang diberikan oleh suatu medium adalah

$$\rho = 2\pi r \frac{V}{I} \quad (2.14)$$

Keterangan:

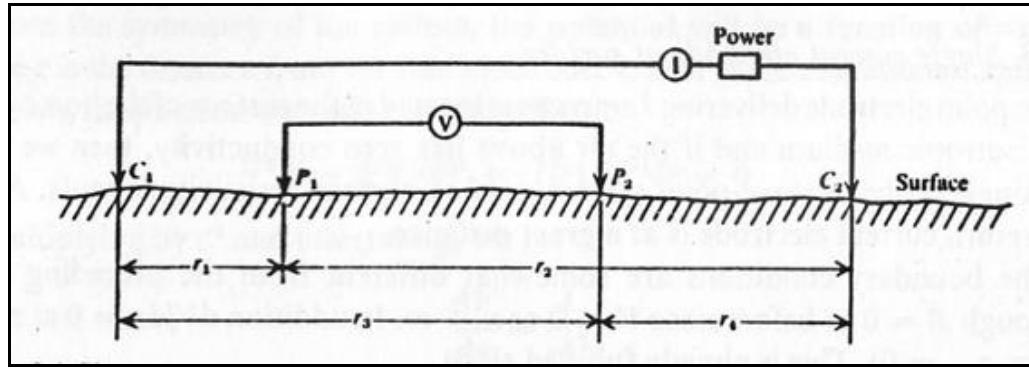
$V$  : Beda Potensial (V)

$I$  : Kuat arus yang mengalir pada suatu medium (A)

$r$  : Jarak antar elektroda (m)

## B. Dua titik arus di permukaan bumi

Arus listrik diinjeksikan menggunakan elektroda arus  $C_1$  dan  $C_2$  kemudian dengan target pengukuran beda potensial yang direkam menggunakan elektroda potensial  $P_1$  dan  $P_2$ . Jika elektroda-elektroda tersebut disusun berdekatan di permukaan bumi, potensial listrik yang terekam akan dipengaruhi oleh elektroda arus atau dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 elektroda arus dan elektroda potensial pada permukaan tanah homogen pada resistivitas  $\rho$  [4].

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa nilai potensial yang dekat dengan sumber arus akan dipengaruhi elektroda arus, berdasarkan persamaan (2.12) nilai potensial  $P_1$  ( $V_1$ ) yang dipengaruhi oleh arus  $C_1$  adalah

$$V_1 = - \frac{I\rho}{2\pi r_1} \quad (2.15)$$

dengan:

$$A_1 = - \frac{I\rho}{2\pi} \quad (2.16)$$

arah arus  $C_1$  berlawanan dengan arah arus  $C_2$ , sehingga nilai potensial  $P_2$  ( $V_2$ ) yang dipengaruhi oleh arus  $C_2$  adalah

$$V_2 = - \frac{I\rho}{2\pi r_2} \quad (2.17)$$

maka potensial total  $P_1$  ( $V_{P1}$ ) adalah

$$V_{P1} = V_1 + V_2 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (2.18)$$

untuk total nilai potensial pada  $P_2$  ( $V_{P2}$ ) dapat dituliskan:

$$V_{P2} = V_3 + V_4 = \frac{I\rho}{2\pi} \left( \frac{1}{r_3} - \frac{1}{r_4} \right) \quad (2.19)$$

sehingga untuk memperoleh beda potensial antara elektroda  $P_1$  dan  $P_2$  ( $\Delta V$ ) dapat dituliskan:

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

Keterangan:

$\Delta V$  = Beda Potensial  $P_1$  dan  $P_2$  (V)

$I$  = Kuat Arus (A)

$\rho$  = Nilai Resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )

$r_1$  = Jarak antara  $C_1$  dengan  $P_1$  (m)

$r_2$  = Jarak antara  $C_2$  dengan  $P_1$  (m)

$r_3$  = Jarak antara  $C_1$  dengan  $P_2$  (m)

$r_4$  = Jarak antara  $C_2$  dengan  $P_2$  (m)

Untuk nilai resistivitas dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.20), yaitu:

$$\rho = K \frac{\Delta V}{I} \quad (2.21)$$

dengan:

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

Sehingga dari Persamaan (2.22) nilai  $K$  akan berbeda-beda berdasarkan konfigurasi yang digunakan.

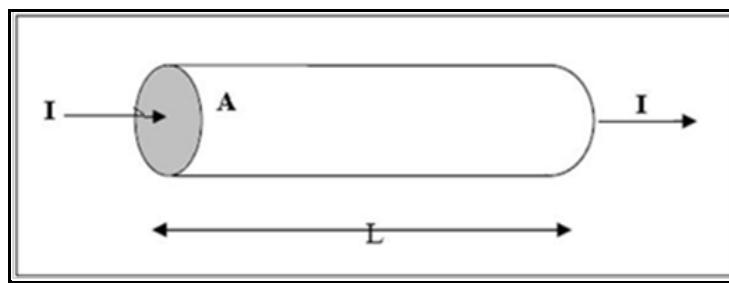
### 2.1.3 Sifat Listrik Batuan

Setiap lapisan atau jenis batuan memiliki nilai resistivitas yang bervariasi. Resistivitas merupakan kemampuan suatu medium atau batuan untuk menghambat arus listrik. Aliran arus listrik dalam batuan atau mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik dan konduksi secara dielektrik [4].

#### 1. Konduksi secara elektronik

Konduksi secara elektronik ini dapat terjadi pada batuan/mineral yang mempunyai banyak elektron bebas sehingga oleh elektron-elektron bebas tersebutlah arus listrik dapat mengalir dalam suatu batuan/mineral. Sifat atau karakteristik setiap batuan yang dilewatinya juga mempengaruhi aliran listrik tersebut. Salah satu sifat atau karakteristik batuan tersebut itu adalah resistivitas atau tahanan jenis, dimana

resistivitas merupakan karakteristik suatu medium yang menunjukkan kemampuan medium tersebut untuk menghambat arus listrik, semakin kecil nilai resistivitasnya maka medium tersebut dapat menghantarkan listrik dengan baik. Resistivitas mempunyai pengertian yang berbeda dengan resistansi (hambatan), dimana resistansi tidak tergantung pada faktor geometri atau bentuk bahan tersebut, sedangkan resistivitas bergantung pada faktor geometri atau dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Silinder Konduktor [3].

Secara matematis dapat dituliskan :

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.23)$$

Persamaan (2.1) dapat dituliskan menjadi

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.24)$$

Dari Persamaan (2.23) dan (2.24) diperoleh nilai resistivitas

$$\rho = \frac{VA}{IL} \quad (2.25)$$

Keterangan:

$R$  : Resistansi ( $\Omega$ )

$\rho$  : resistivitas ( $\Omega\text{m}$ )

$L$  : panjang silinder konduktor (m)

$A$  : luas penampang silinder konduktor ( $\text{m}^2$ )

$V$  : beda potensial (V)

$I$  : kuat arus (A)

## 2. Konduksi secara elektrolitik

Konduksi elektrolitik terjadi ketika batuan yang berpori tersebut terisi oleh fluida elektrolitik seperti air. Pada kondisi ini arus listrik akan dialirkan oleh ion-ion elektrolit yang ada pada fluida yang mengisi pori-pori tersebut. Konduktivitas dan resistivitas batuan porous bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin tinggi jika fluida yang mengisi pori-pori tersebut juga banyak dan sebaliknya resistivitas akan semakin kecil ketika banyak fluida elektrolit yang mengisi pori-pori batuan tersebut.

## 3. Konduksi secara dielektrik

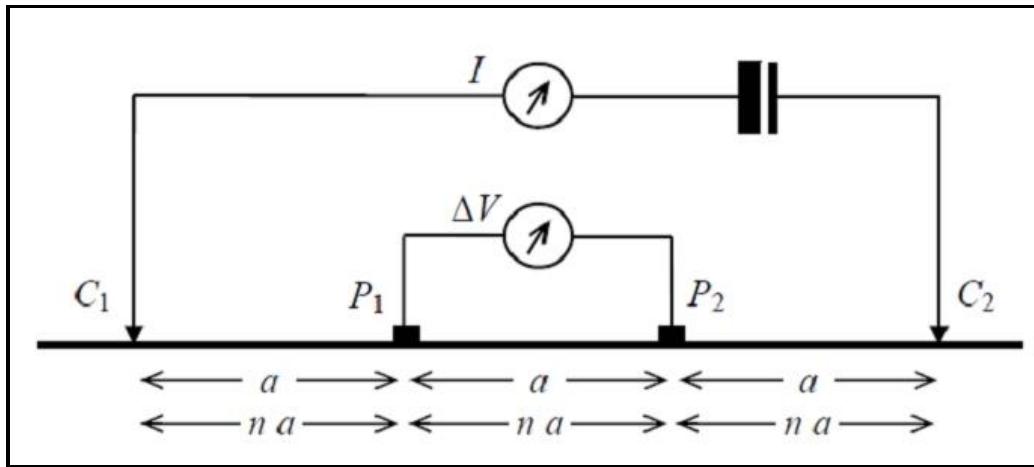
Konduksi dielektrik terjadi ketika arus listrik diinjeksikan pada batuan yang bersifat dielektrik, artinya batuan tersebut mempunyai elektron bebas sedikit atau bahkan tidak ada sama sekali. Tetapi karena adanya pengaruh medan listrik dari luar maka elektron dalam bahan berpindah dan berkumpul terpisah dari inti sehingga terjadi polarisasi.

Berdasarkan harga resistivitas listriknya, batuan/mineral digolongkan menjadi tiga, yaitu :

- a. Konduktor baik :  $10^{-8} < \rho < 1$  ohm meter;
- b. Konduktor pertengahan :  $1 < \rho < 10^7$  ohm meter; dan
- c. Isolator :  $\rho > 10^7$  ohm meter.

## 2.2. Metode Geolistrik Konfigurasi *Wenner*

Metode geolistrik konfigurasi *Wenner* merupakan salah satu metode geolistrik yang digunakan untuk mengetahui sifat aliran listrik di dalam bumi. Metode ini dilakukan dengan mengalirkan arus listrik searah ke dalam bumi melalui elektroda arus, selanjutnya distribusi medan potensial diukur dengan elektroda potensial. Variasi nilai tahanan jenis dihitung berdasarkan besar arus dan potensial yang terukur. Geolistrik konfigurasi *Wenner* adalah konfigurasi dengan sistem aturan spasi yang konstan dengan catatan faktor  $n$ , sedangkan pada konfigurasi *Wenner* ini adalah perbandingan jarak antara elektroda C1-P1-P2-C2 [2], seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Konfigurasi Wenner [4].

Tabel 2.1 Nilai resistivitas batuan sedimen [4].

Batuan	Resistivitas Batuan ( $\Omega\text{m}$ )
<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>Unconsolidated wet clay</i>	20
<i>Clays</i>	$1 - 100$
<i>Alluvium and sands</i>	$10 - 800$

Tabel 2.2 Nilai resistivitas batuan beku dan metamorf [4].

Batuan	Resistivitas Batuan ( $\Omega\text{m}$ )
<i>Granite</i>	$3 \times 10^2 - 10^6$
<i>Granite porphyry</i>	$4,5 \times 10^3$ (basah) – $1,3 \times 10^6$ (kering)
<i>Diorite</i>	$10^4 - 10^5$
<i>Diorite porphyry</i>	$1,9 \times 10^3$ (basah) – $2,8 \times 10^4$ (kering)
<i>Porphyry</i>	$10 - 5 \times 10^4$ (basah) – $3,3 \times 10^3$ (kering)
<i>Carbonatized porphyry</i>	$2,5 \times 10^3$ (basah) – $6 \times 10^4$ (kering)
<i>Quartz porphyry</i>	$3 \times 10^2 - 9 \times 10^5$
<i>Quartz diorite</i>	$2 \times 10^4 - 2 \times 10^6$ (basah) – $1,8 \times 10^5$ (kering)
<i>Dacite</i>	$2 \times 10^4$ (basah)
<i>Andesite</i>	$4,5 \times 10^4$ (basah) – $1,7 \times 10^5$ (kering)
<i>Diabase porphyry</i>	$10^3$ (basah) – $1,7 \times 10^5$ (kering)
<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>Peridote</i>	$3 \times 10^3$ (basah) – $6,5 \times 10^3$ (kering)
<i>Tuffs</i>	$2 \times 10^3$ (basah) – $10^5$ (kering)
<i>Quatzites (various)</i>	$10 - 2 \times 10^8$

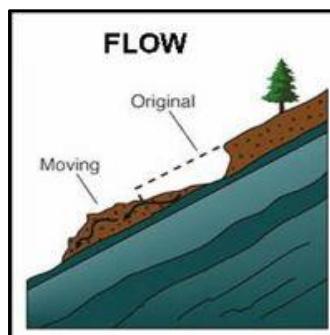
### 2.3. Tanah Longsor

Gerakan tanah adalah suatu peristiwa alam dimana massa tanah atau bebatuan bergerak menuruni kemiringan oleh sebab gaya gravitasi dalam istilah yang lebih umum sebagai tanah longsor (*landslide*) [9]. Gerakan tanah adalah perpindahan material pembentuk lereng, berupa batuan, bahan rombakan, tanah atau campuran dari material-material tersebut, ke arah bawah akibat terjadinya kegagalan fungsi lereng [10].

Gerakan tanah merupakan suatu fenomena geologi yang dapat terjadi Ketika stabilitas lereng dari kondisi stabil menjadi tidak stabil [10]. Sedangkan dari cara bergeraknya pun bermacam-macam, misalnya menggelincir/*sliding*, mendatar (*shumping*), roboh (*toppling*), runtuhan (*falling*), merayap (*Creeping*) atau mengalir (*flowing*). Demikian pula halnya dengan material yang terkait, dapat berupa massa tanah (*soil*), massa batuan (*rock*), atau bahan-bahan rombakan lainnya (*debris*) [9].

Jenis-jenis tanah longsor [11], yakni:

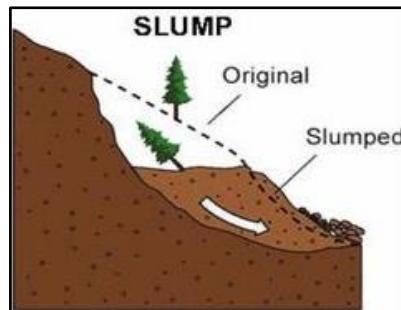
1. Longsor Translasi



Gambar 2.7 Longsoran Translasi [11].

Longsoran Translasi adalah bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk rata atau menggelombang landai [11].

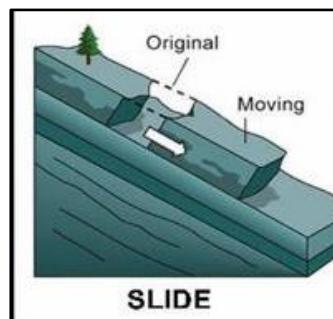
## 2. Longsoran Rotasi



Gambar 2.8 Longsoran Rotasi [11].

Longsoran Rotasi adalah bergeraknya massa tanah dan batuan pada bidang gelincir berbentuk cekung [11].

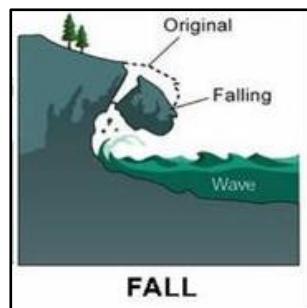
## 3. Pergerakan Blok



Gambar 2.9 Pergerakan Blok [11].

Pergerakan Blok adalah perpindahan batuan yang bergerak pada bidang gelincir berbentuk rata. Longsoran ini disebut juga longsoran translasi blok batu [11].

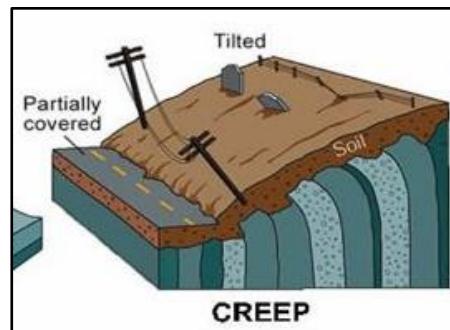
#### 4. Runtuhan Batu



Gambar 2.10 Runtuhan Batu [11].

Runtuhan Batu terjadi ketika sejumlah besar batuan atau material lain bergerak ke bawah dengan cara jatuh bebas. Umumnya terjadi pada lereng yang terjal hingga menggantung terutama di daerah pantai. Batu-batu besar yang jatuh dapat menyebabkan kerusakan yang parah [11].

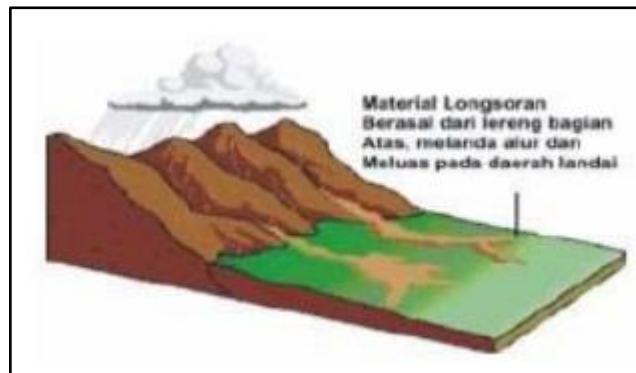
#### 5. Rayapan Tanah



Gambar 2.11 Rayapan Tanah [11].

Rayapan Tanah adalah jenis tanah longsor yang bergerak lambat. Jenis tanahnya berupa butiran kasar dan halus. Jenis tanah longsor ini hampir tidak dapat dikenali. Setelah waktu yang cukup lama longsor jenis rayapan [11].

## 6. Aliran Bahan Rombakan



Gambar 2.12 Aliran Tanah Rombakan [11].

Jenis tanah longsor ini terjadi ketika massa tanah bergerak didorong oleh air. Kecepatan aliran tergantung pada kemiringan lereng, volume dan tekanan air, dan jenis materialnya. Gerakannya terjadi di sepanjang lembah dan mampu mencapai ratusan meter jauhnya. Di beberapa tempat bisa sampai ribuan meter seperti di daerah aliran sungai di sekitar gunung api. Aliran tanah ini dapat menelan korban cukup banyak [11].

### 2.4. Faktor-Faktor Penyebab Tanah Longsor

Gaya gravitasi adalah penggerak utama tanah longsor, namun faktor-faktor penyebabnya adalah hubungan antara gaya pendorong dengan gaya penahannya, dimana longsor akan terjadi manakala gaya pendorong melampaui gaya penahannya [9]. Beban material adalah gaya pendorong gerakan tanah sedangkan kekuatan geser (*shear strength*) pada bidang gelincir, batuan, adalah gaya penahannya [9].

Salah satu faktor penyebab longsoran yang sangat berpengaruh adalah bidang gelincir (*slip surface*) atau bidang geser (*shear surface*), bidang gelincir berada diantara bidang yang stabil (*bedrock*) dan bidang yang bergerak (bidang yang tergelincir) [12].

Bentuk bidang gelincir ini sering mendekati busur lingkaran, dalam hal ini tanah longsor tersebut disebut *rotational slide* yang bersifat berputar. Ada juga tanah longsor yang terjadi pada bidang gelincir yang hampir lurus dan sejajar dengan muka tanah dalam hal ini tanah longsor disebut *translational slide* [6].

Menurut [8] faktor-faktor penyebab tanah longsor adalah:

1. Hujan

Ancaman tanah longsor biasanya dimulai pada bulan November karena 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 kebagian 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. Hujan lebat pada awal musim hujan dapat menimbulkan longsor, karena melalui tanah yang merekah air akan masuk dan terakumulasi di bagian dasar lereng, sehingga menimbulkan gerakan lateral.

2. Lereng terjal

Lereng atau tebing yang terjal akan memperbesar gaya pendorong. Lereng yang terjal terbentuk karena pengikisan air sungai, mata air, air laut, dan angin.

3. Tanah yang kurang padat dan tebal

Jenis tanah yang kurang padat adalah tanah lempung atau tanah liat dengan ketebalan lebih dari 2,5 m dan sudut lereng lebih dari 220. Tanah jenis ini memiliki potensi untuk terjadinya tanah longsor terutama bila terjadi hujan. Selain itu, tanah ini sangat rentan terhadap pergerakan tanah karena menjadi lembek terkena air dan pecah ketika hawa terlalu panas.

4. Batuan yang kurang kuat

Batuan endapan gunung api dan sedimen berukuran pasir dan campuran antara kerikil, pasir, dan lempung umumnya kurang kuat. Batuan tersebut akan mudah menjadi tanah apabila mengalami proses pelapukan dan umumnya rentan terhadap tanah longsor bila terdapat pada lereng yang terjal.

5. Jenis tata lahan

Tanah longsor banyak terjadi di daerah tata lahan persawahan, perladangan, dan adanya genangan air di lereng yang terjal. Pada lahan persawahan akarnya kurang

kuat untuk mengikat butir tanah dan membuat tanah menjadi lembek dan jenuh dengan air sehingga mudah menjadi longsor. Sedangkan untuk daerah perladangan penyebabnya adalah karena akar pohonnya tidak dapat menembus bidang longsoran yang dalam dan umumnya terjadi di daerah longsoran lama.

#### 6. Getaran

Getaran yang terjadi biasanya diakibatkan oleh gempabumi, ledakan, getaran mesin, dan getaran lalu lintas kendaraan. Akibat yang ditimbulkannya adalah tanah, badan jalan, lantai, dan dinding rumah menjadi retak.

#### 7. Susut muka air danau atau bendungan

Akibat susutnya muka air yang cepat di danau maka gaya penahan lereng menjadi hilang, dengan sudut kemiringan waduk 220 derajat mudah terjadi longsoran dan penurunan tanah yang biasanya diikuti oleh retakan.

#### 8. Adanya beban tambahan

Adanya beban tambahan seperti beban bangunan pada lereng dan kendaraan akan memperbesar gaya pendorong terjadinya longsor, terutama di sekitar tikungan jalan pada daerah lembah. Akibatnya adalah sering terjadinya penurunan tanah dan retakan yang arahnya ke arah lembah.

#### 9. Pengikisan atau erosi

Pengikisan banyak dilakukan oleh air sungai ke arah tebing. Selain itu, akibat penggundulan hutan di sekitar tikungan sungai, tebing akan menjadi terjal.

#### 10. Adanya material timbunan pada tebing

Dalam upaya mengembangkan dan memperluas lahan pemukiman umumnya dilakukan pemotongan tebing dan penimbunan lembah. Tanah timbunan pada lembah tersebut belum terpadatkan sempurna seperti tanah asli yang berada di bawahnya. Sehingga apabila hujan akan terjadi penurunan tanah yang kemudian diikuti dengan retakan tanah.

#### 11. Longsoran lama

Longsoran lama umumnya terjadi selama dan setelah terjadinya pengendapan material gunungapi pada lereng yang relatif terjal atau pada saat/sesudah terjadi patahan kulit bumi. Bekas longsoran lama memiliki ciri-ciri : adanya tebing terjal

yang panjang melengkung membentuk tapal kuda, umumnya dijumpai mata air, pepohonan yang relatif tebal karena tanahnya gembur dan subur.

### 12. Adanya bidang diskontinuitas

Bidang tidak sinambung ini memiliki ciri-ciri: bidang perlapisan batuan, bidang kontak antara tanah penutup dengan batuan dasar, bidang kontak antara batuan yang retak-retak dengan batuan yang kuat, bidang kontak antara batuan yang dapat melewatkannya dengan batuan yang tidak melewatkannya, serta bidang kontak antara tanah yang lembek dengan tanah yang padat. Bidang-bidang tersebut merupakan bidang-bidang lemah dan dapat berfungsi sebagai bidang luncuran tanah longsor.

### 13. Penggundulan hutan

Kejadian tanah longsor umumnya banyak terjadi di daerah yang relatif gundul, dimana pengikatan air tanah sangat kurang.

## 2.5. Zona Labil

Zona labil merupakan suatu wilayah yang menunjukkan daerah itu mempunyai kondisi tanah yang terus beraser, pergeseran tanah ini dapat terjadi karena longsor, peretakan tanah atau bisa juga daerah itu dilalui patahan bumi. Daerah yang rentan terhadap gerakan tanah adalah daerah dekat atau sepanjang patahan, kawasan pemukiman, bendungan dan jembatan, jaringan jalan raya dan kereta api, tanah pertanian, dan sistem alur sungai [6].

Berikut ini adalah beberapa pembagian zona kerentanan gerakan tanah [6]:

### 1. Zona kerentanan

Gerakan Tanah Sangat Rendah Pada zona ini sangat jarang atau hampir tidak pernah terjadi gerakan tanah, baik gerakan tanah lama maupun gerakan tanah baru, terkecuali pada daerah sekitar tebing dan lembah sungai. Merupakan daerah datar sampai landai dengan kemiringan lereng lebih kecil dari 15% ( $8,5^\circ$ ) dan lereng tidak dibentuk oleh endapan gerakan tanah, bahan timbunan atau lempung yang bersifat plastis atau mengembang.

## 2. Zona kerentanan gerakan tanah rendah

Pada zona ini jarang terjadi gerakan tanah jika mengalami gangguan pada lereng, dan jika lereng gerakan tanah lama telah mantap kembali, gerakan tanah berdimensi kecil mungkin dapat terjadi terutama pada tebing dan lembah sungai. Kisaran kemiringan lereng mulai dari landai (5-15%) sampai sangat terjal (50-70%), tergantung pada kondisi sifat fisik dan keteknikan batuan dan tanah pembentuk lereng. Pada lereng terjal umumnya dibentuk oleh tanah pelapukan yang tipis dan vegetasi penutup yang baik, umumnya berupa hutan atau perkebunan.

## 3. Zona kerentanan gerakan tanah menengah

Pada zona ini dapat terjadi gerakan tanah, terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai atau tebing jalan, gerakan tanah lama masih dapat aktif kembali terutama akibat curah hujan yang tinggi dan erosi yang kuat. Kisaran kemiringan lereng mulai dari landai (5 - 15%) sampai curam hingga hampir tegak (lebih besar dari 70%), tergantung pada kondisi sifat fisik dan keteknikan batuan dan tanah pelapukan pembentuk lereng. Kondisi vegetasi penutup umumnya kurang sampai jarang.

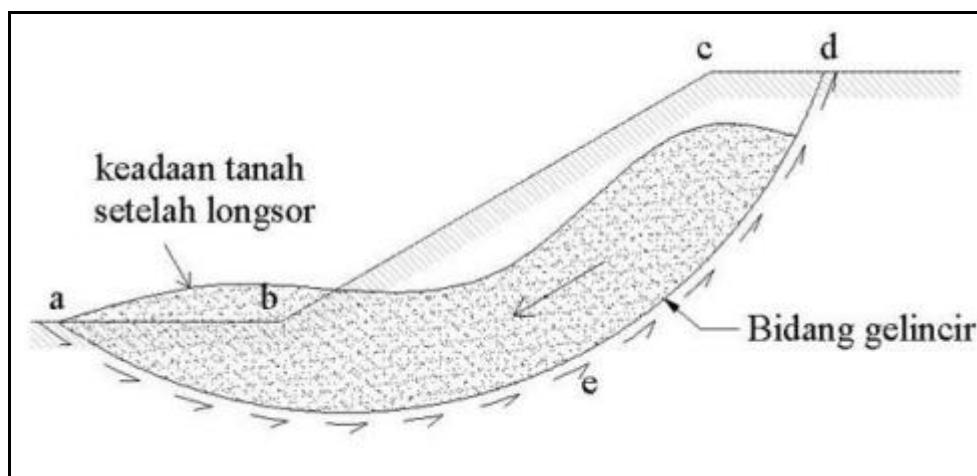
## 4. Zona kerentanan gerakan tanah tinggi

Pada zona ini sering terjadi gerakan tanah, sedangkan gerakan tanah lama dan gerakan tanah baru masih dapat aktif bergerak, terutama akibat curah hujan tinggi dan erosi kuat. Kisaran kemiringan lereng mulai dari terjal (30 - 50%) hingga hampir tegak (lebih besar dari 70%) tergantung pada kondisi sifat fisik dan keteknikan batuan dan tanah pelapukan pembentuk lereng. Kondisi vegetasi penutup umumnya sangat kurang. Potensi terjadinya gerakan tanah pada lereng tergantung pada kondisi batuan dan tanah penyusunnya, struktur geologi, curah hujan dan penggunaan lahan. Dari berbagai kejadian longsor dapat diidentifikasi 3 tipologi lereng yang rawan longsor, yaitu:

1. Lereng yang tersusun oleh tumpukan tanah gembur di alasi oleh batuan atau tanah yang lebih kompak,
2. Lereng yang tersusun oleh perlapisan batuan yang miring searah kemiringan lereng, dan
3. Lereng yang tersusun oleh blok-blok batuan [6].

## 2.6. Stabilitas Lereng

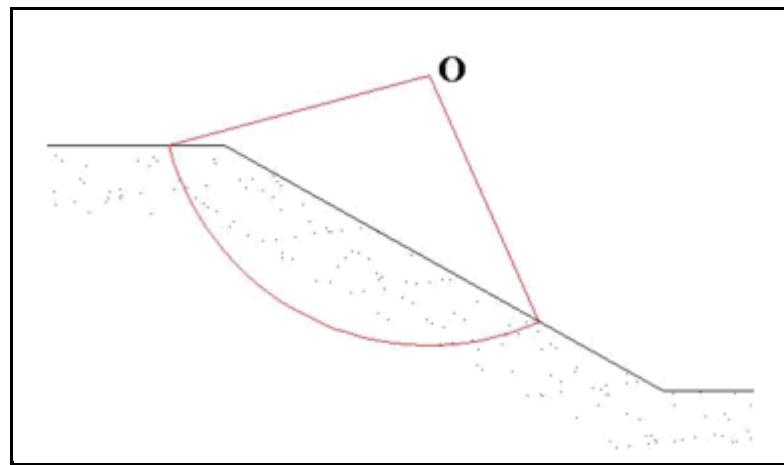
Suatu permukaan tanah yang miring yang membentuk sudut tertentu terhadap bidang horizontal disebut sebagai lereng (slope). Lereng dapat terjadi secara alamiah atau dibentuk oleh manusia dengan tujuan tertentu. Jika permukaan membentuk suatu kemiringan maka komponen massa tanah di atas bidang gelincir cenderung akan bergerak ke arah bawah akibat gravitasi. Jika komponen gaya berat yang terjadi cukup besar, dapat mengakibatkan longsor pada lereng tersebut. Kondisi ini dapat dicegah jika gaya dorong (driving force) tidak melampaui gaya perlawanan yang berasal dari kekuatan geser tanah sepanjang bidang longsor seperti yang diperlihatkan pada Gambar



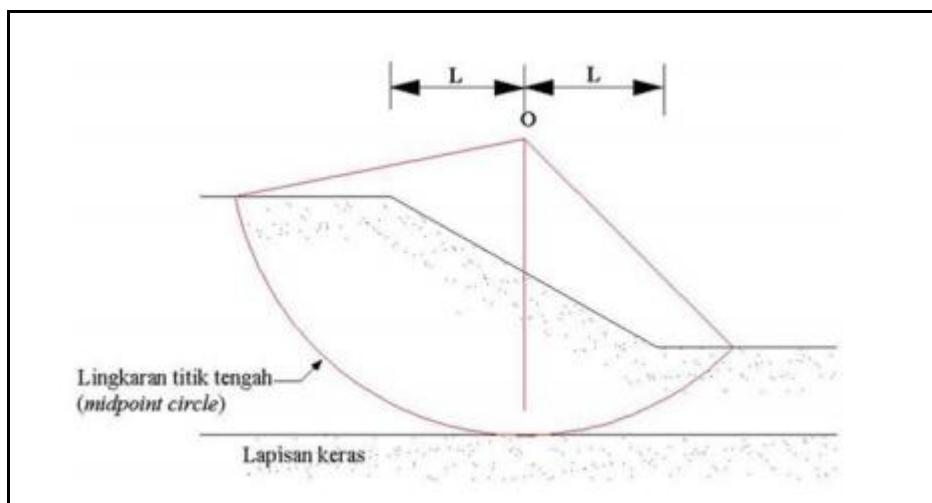
Gambar 2.13 Kelongsoran lereng [13].

Bidang gelincir dapat terbentuk dimana saja di daerah-daerah yang lemah. Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir memotong lereng pada dasar atau di atas ujung dasar dinamakan longsor lereng (slope failure). Lengkung kelongsoran disebut sebagai lingkaran ujung dasar (toe circle), jika bidang gelincir tadi melalui ujung dasar maka disebut lingkaran lereng (slope circle). Pada kondisi tertentu terjadi kelongsoran dangkal (shallow slope failure). Jika longsor terjadi dimana permukaan bidang gelincir berada agak jauh di bawah ujung dasar dinamakan longsor dasar (base failure). Lengkung kelongsorannya dinamakan lingkaran titik tengah (midpoint circle) [13]. Proses menghitung dan membandingkan tegangan geser yang terbentuk sepanjang permukaan longsor yang paling mungkin dengan

kekuatan geser dari tanah yang bersangkutan dinamakan dengan Analisis Stabilitas Lereng (Slope Stability Analysis).



Gambar 2.14 Kelongsoran lereng dangkal [13].



Gambar 2.15 Longsor dasar [13].