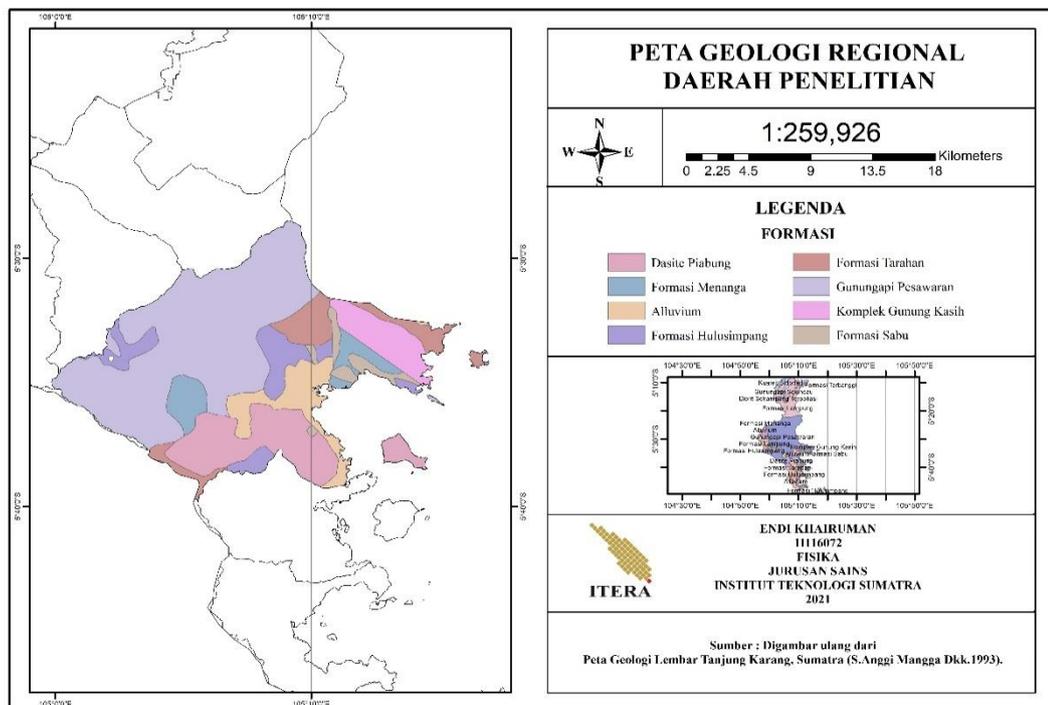


Kondisi topografi Kabupaten Pesawaran meliputi dataran rendah dan dataran tinggi, dengan ketinggian dimulai dari 0,0 mdpl hingga 1.682,0 mdpl. Tingkat kelerengan di Kabupaten Pesawaran dapat dibagi menjadi dua kategori, yaitu dengan kemiringan 0 - 8% dan > 40%. Kawasan yang cukup datar dengan kondisi lahan 0 - 8% terletak di kecamatan Negeri Katon dengan luas 6.155,76 hektar. Sedangkan kemiringan lereng >40% terletak di kecamatan Teluk Pandan seluas 35.394,05 hektar.

Secara geologi, Kabupaten Pesawaran terbentuk atas beberapa formasi dan sesar yang berasal dari proses pembentukan pada massa Kuartar dan Tersier [10].



Gambar 2.2 Peta Geologi Regional.

Formasi gunung api pesawaran merupakan formasi terbesar dan terpenting di Kabupaten Pesawaran yang persebarannya meliputi Kecamatan Way Lima dan Gedong Tataan. Adapun formasi batuan vulkanik yaitu batuan dasit, dan alluvial banyak terbentuk di Kecamatan Teluk Pandan hingga ke Kecamatan Kedondong. Formasi merupakan hasil dari suatu proses dan pembentukan alami yang diakibatkan oleh pergerakan lempeng, gempa bumi dan proses vulkanik gunung

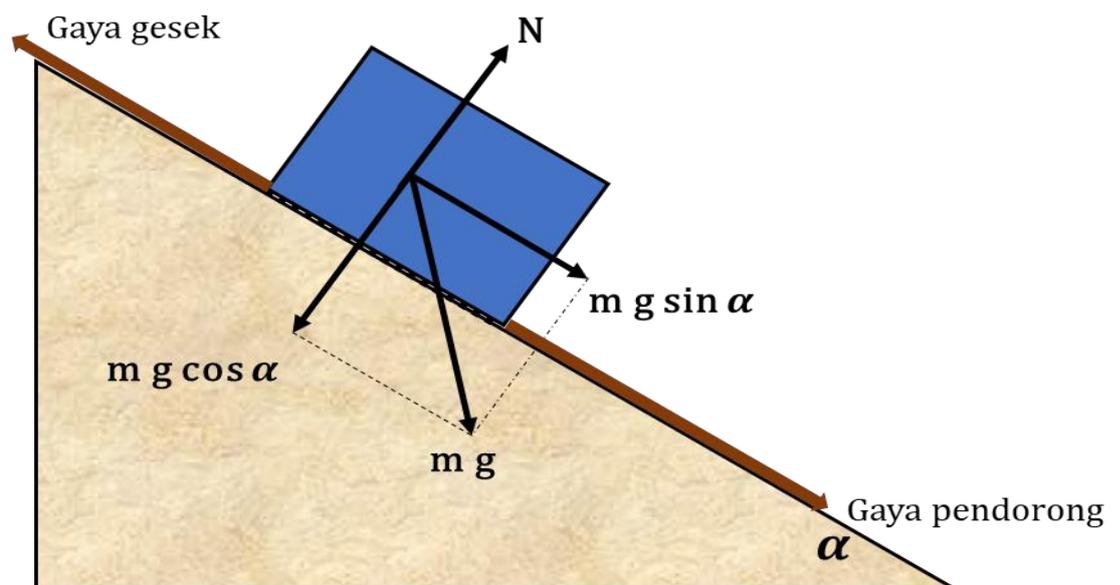
api, yang membentuk suatu susunan atau lapisan batuan dengan kesamaan sifat geologis baik tersusun atas satu jenis ataupun campuran dari berbagai jenis batuan di bawah permukaan bumi [10],[12].

2.2 Longsor (Gerakan Tanah)

2.2.1 Pengertian dan Mekanisme Longsor

Longsor dijelaskan sebagai pergerakan campuran massa pembentuk lereng yang meliputi campuran batu, puing-puing, tanah, atau material lainnya. Ketika keseimbangan terlampaui, material tersebut akan bergerak menuruni lereng, dimana kekuatan pendorong lebih besar dari gaya penahan [3],[4],[5]. Longsor juga diartikan sebagai gerakan tanah yang disebabkan oleh gaya gravitasi. [14],[5].

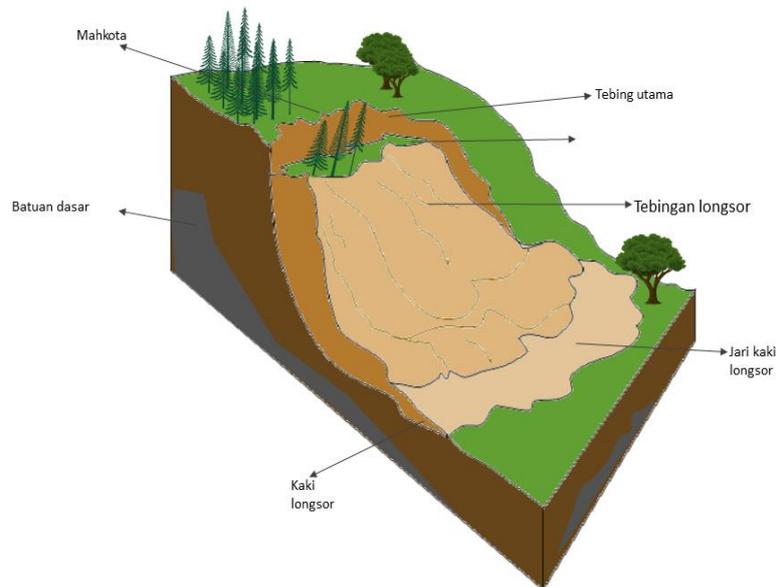
Pada prinsipnya, jika gaya dorong pada lereng lebih besar dari hambatannya, maka akan terjadi longsor. Hambatan itu merupakan gaya penahan yang bekerja pada lereng digambarkan sebagai kepadatan tanah serta batuan. Kemiringan lereng, beban dan massa jenis batuan berpengaruh besar sebagai gaya pendorong [15],[5],[4]. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Komponen gaya yang bekerja pada lereng (digambar ulang oleh penulis dari [5]).

Secara mekanisme longsor ditandai dengan adanya air yang masuk ke dalam tanah, sehingga membuat bobot tanah menjadi meningkat. Jika air yang masuk terlalu banyak dan sampai pada lapisan yang kedap air, maka tanah tersebut akan menjadi jenuh terhadap air, membuat ikatan antar partikel tanah menurun kekuatannya sehingga tanah yang berada pada lapisan kedap air akan menjadi licin menyebabkan tanah pelapukan berpindah sepanjang bidang gelincir menuju luar lereng [17],[18]. Proses Bergeraknya massa tanah pelapukan ini sangat dipengaruhi oleh beberapa hal membuat kondisi tanah menjadi sensitif dan cenderung bergerak diantaranya kemiringan lereng atau topografi, struktur batuan atau geologi regional, curah hujan serta alih fungsi lahan [16].

Adapun dari bagian-bagian longsor itu meliputi: mahkota, tebing minor, tebing utama, bidang gelincir, kaki longsor, jari kaki longsor, serta batuan dasar atau *bedrock* [5].



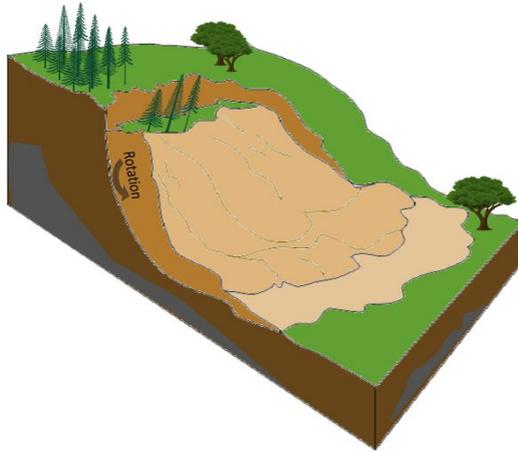
Gambar 2.4 Ilustrasi Longsor
(digambar ulang oleh penulis dari dari [5]).

2.2.2 Jenis-jenis Longsor (Gerakan Tanah)

Longsor memiliki beberapa jenis berdasarkan material penyusun, kemiringan lereng dan bentuk tebing atau lereng yaitu :

1. Rotasi

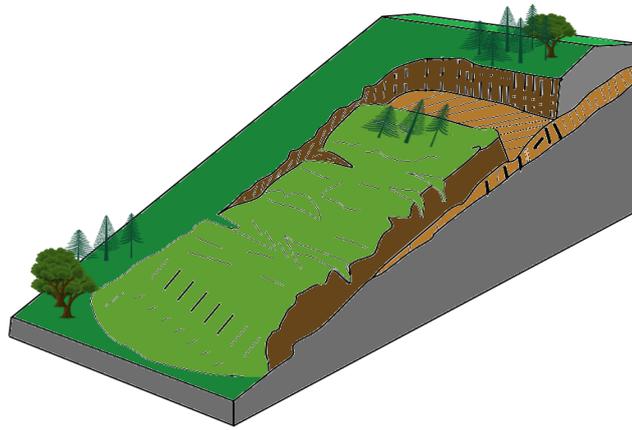
Jenis longsor rotasi adalah gerakan tanah yang terjadi pada bidang cekung, sehingga pola perputaran sering terjadi pada lereng jenis ini. Tanah longsor jenis ini banyak dijumpai di Indonesia.



Gambar 2.5 Ilustrasi Longsor Rotasi (digambar ulang oleh penulis dari [5]).

2. Translasi

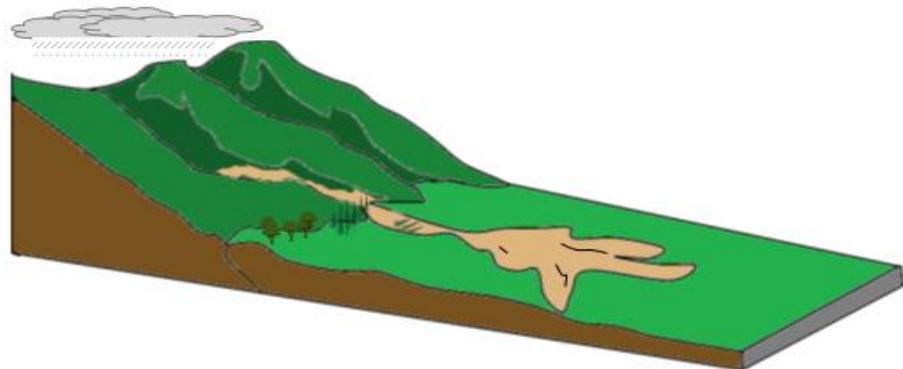
Translasi merupakan jenis longsor yang terjadi pada kondisi lereng yang tidak begitu curam atau terjal. Longsor ini terjadi hanya pada bagian lapisan terluar tanah yang banyak mengandung lempung dan batu pasir.



Gambar 2.6 Ilustrasi Longsor Translasi (digambar ulang oleh penulis dari [5]).

3. Aliran (*Flow*)

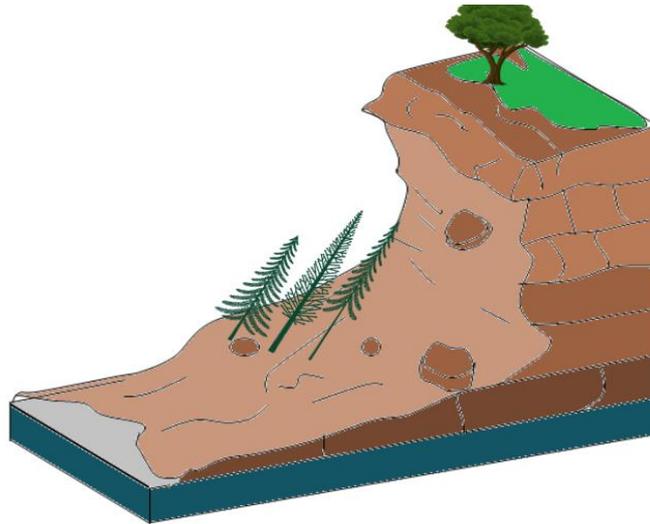
Flow atau aliran adalah kondisi longsor dimana partikel-partikel individu bergerak secara terpisah dalam massa yang bergerak. Mereka melibatkan bahan apapun yang tersedia bagi mereka (rombakan) dan karena itu dapat berupa batuan yang retak, puing klastik dalam matriks halus atau ukuran butiran sederhana. Aliran dalam pengertian fisiknya didefinisikan sebagai deformasi yang terus-menerus dan ireversibel dari suatu material yang terjadi sebagai respons terhadap tekanan yang diberikan.



Gambar 2.7 Ilustrasi Longsor Aliran (digambar ulang oleh penulis dari [5])

4. Runtuhan (*Falls*)

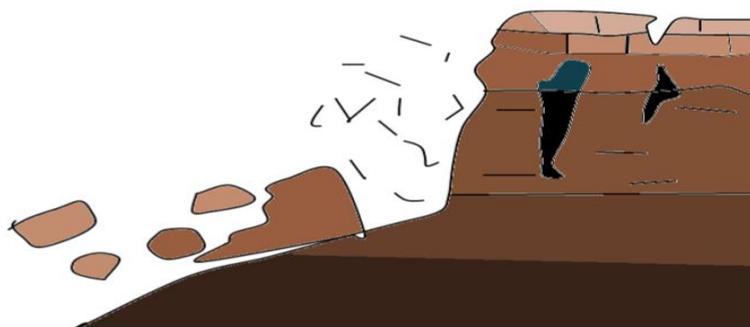
Falls atau runtuhan terjadi ketika adanya gerakan pecahan batuan yang terlepas dari batuan dasar sehingga terjadi jatuhnya dengan cepat. Kondisi ini banyak terjadi pada lereng yang terdapat batuan-batuan di permukaan seperti tebing lepas pantai.



Gambar 2.8 Ilustrasi Longsor Runtuhan (digambar ulang oleh penulis dari [5]).

5. Robohan (*Topple*)

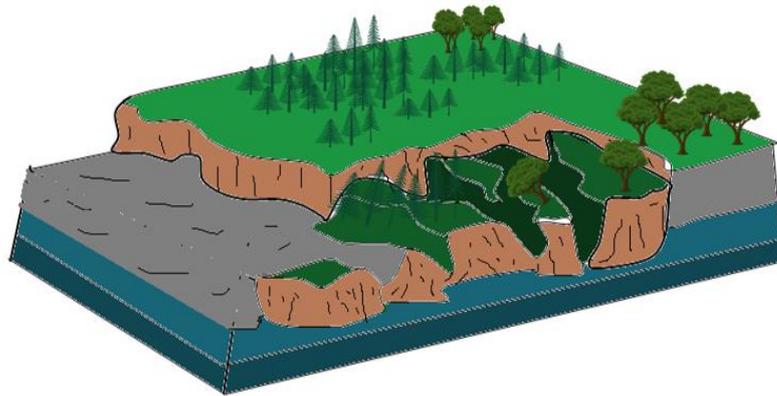
Runtuhan adalah salah satu jenis longsor, dan pola pergerakannya dicirikan oleh satuan batuan yang berputar ke depan akibat adanya gaya gravitasi dan tingginya massa air pada batuan tersebut sehingga retak dan runtuh. Gerakan ini bisa sangat lambat dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 2.9 Ilustrasi Longsor Robohan (digambar ulang oleh penulis dari [5]).

6. Menyebar Lateral

Longsor menyebar lateral banyak dipengaruhi oleh fenomena likuifaksi yang terjadi pada permukaan landai atau bergelombang.



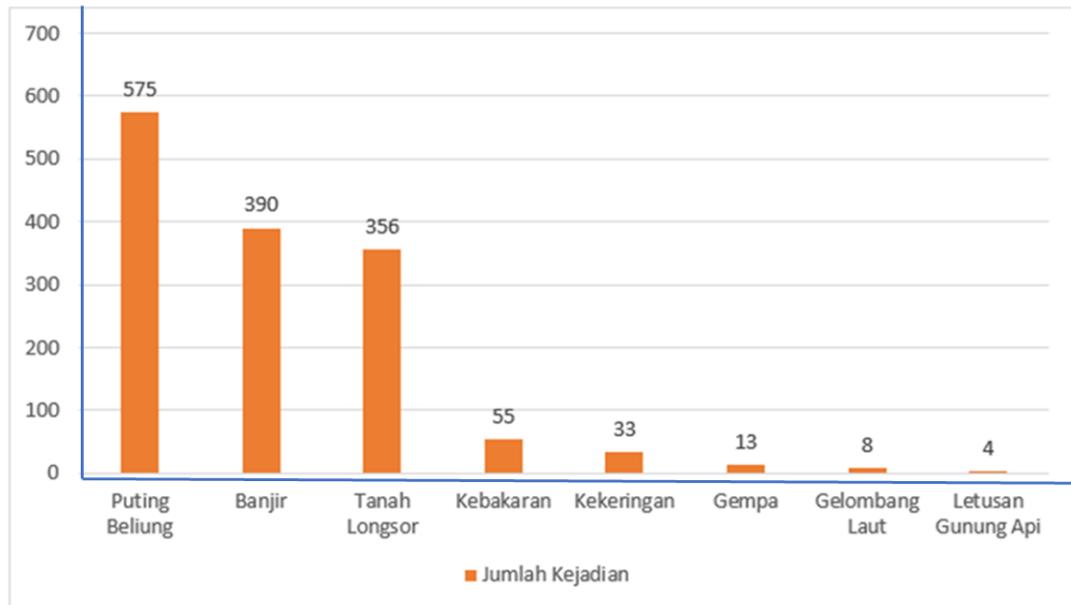
Gambar 2.10 Ilustrasi Longsor Menyebar lateral (digambar ulang oleh penulis dari [5]).

7. Kompleks

Kompleks adalah nama generik yang digunakan ketika longsor mengubah perilaku selama pergerakan, misalnya ketika batu longsor lempengan batu berubah menjadi aliran berbutir-butir. Hal ini terjadi karena adanya perubahan kohesi material. Atau biasa juga disebut jenis longsor campuran.

2.2.3 Longsor di Indonesia

Indonesia terbentuk dengan wilayah yang memiliki topografi pegunungan dan lereng yang tinggi, menyebabkan longsor berkembang menjadi bencana yang sering terjadi di Indonesia. Menurut data Tabel Bencana Alam Indonesia Tahun 2019. Menunjukkan bahwa bencana longsor berada pada urutan ketiga setelah bencana Banjir hal ini menunjukkan bahwa longsor termasuk ke dalam bencana yang sangat merusak. Terlihat selama rentan waktu tersebut longsor terjadi sebanyak 356 kali dalam periode tahun 2019 yang menimbulkan kerusakan besar baik pemukiman maupun fasilitas warga [9].



Gambar 2.11 Grafik Bencana Alam Di Indonesia Tahun 2019 (diolah kembali oleh penulis dari [9]).

2.2.4 Longsor di Lampung

Di tingkat regional, Provinsi Lampung menyajikan daerah pegunungan dengan proses erosi yang intensif. Proses-proses ini terjadi diakibatkan oleh kondisi geologi, topografi, litologi, dan iklim. Tingkat terjadinya longsor ini mengalami kenaikan di setiap tahunnya, sehingga, dalam pengelolaan serta pembangunan wilayah, identifikasi mengenai longsor sangat diperlukan di wilayah Provinsi Lampung.

Menurut data yang didapat dari lembaga Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) di tahun 2019, Kabupaten Lampung Barat merupakan daerah yang paling banyak terjadi longsor di Provinsi Lampung, yaitu sebanyak 15 kejadian longsor. Daerah Lampung Utara dan Tulang Bawang memiliki kejadian longsor paling sedikit, hanya satu. Dibandingkan dengan daerah lain, Kabupaten Lampung Barat memiliki jumlah korban longsor tertinggi yaitu sebanyak 8 orang meninggal dunia, 3 orang hilang, 1 orang luka-luka dan 120 orang mengungsi [9].

2.3 Indeks Properti Tanah

Indeks properti tanah bertujuan mengetahui sifat tanah, yang mengindikasikan mengenai keadaan tanah baik berupa jenis tanah kondisi dan kandungan dalam tanah, serta hubungannya dengan sifat mekanik seperti kekuatan dan retensi tanah. Menurut gradasinya tanah terbagi atas dua jenis yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Untuk tanah berbutir kasar, sifat dan kepadatan partikel adalah aspek yang paling penting. Pada tanah berbutir halus, aspek tersebut adalah konsistensi keras atau lunak. Untuk menentukan karakteristik dari sampel tanah, diperlukan serangkaian uji indeks properti. Uji indeks properti dilakukan pada sampel tanah penelitian yang dikumpulkan dari lapangan. Rangkaian uji ini meliputi:

1. Analisis saringan

Analisis saringan adalah serangkaian kegiatan analisis yang menggunakan ukuran saringan nomor 200 untuk menentukan distribusi ukuran partikel tanah. Tanah berbutir kasar memiliki ukuran partikel $\geq 75\mu\text{m}$ (tertahan dengan saringan No. 200), dan tanah berbutir halus memiliki ukuran partikel $< 75\mu\text{m}$ (melewati saringan nomor 200). Tujuannya yaitu sebagai klasifikasi dari ukuran butir tanah sehingga mendapatkan kelompok keseragaman gradasi tanah. Melalui klasifikasi tanah dapat ditentukan jenis tanahnya, sehingga dapat diperkirakan sifat-sifat teknis umum tanah tersebut.

2. Uji kadar air

Pengujian ini merupakan proses pemisahan antara sampel tanah dengan kandungan kadar air pada sampel tersebut, dengan cara mengukur massa sampel tanah basah dengan sampel tanah yang telah dikeringkan. Tujuannya yaitu untuk mengetahui sifat fisik dan klasifikasi tanah.

3. Uji berat volume

Pengujian berat volume dilakukan untuk mendapatkan massa tanah yang tidak terganggu baik oleh udara ataupun oleh air, sehingga konsentrasi dan unsur pembentuknya sesuai dengan kondisi di lapangan.

4. Uji Hidrometer

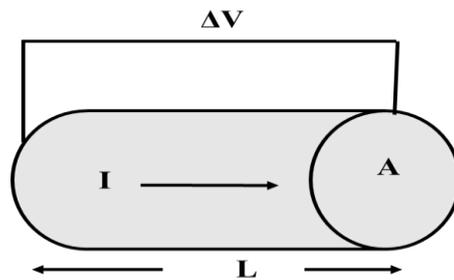
Pengujian hidrometer yaitu suatu proses untuk menganalisis distribusi ukuran partikel tanah sebagai fungsi dari sedimentasi tanah di dalam air. Tujuan dari pengujian hidrometer adalah untuk mendapatkan distribusi ukuran partikel tanah berbutir halus.

2.4 Metode Geolistrik Resistivitas

Metode geolistrik merupakan suatu konfigurasi atau cara yang dapat diterapkan pada konsep kelistrikan pada masalah kebumihan untuk memperkirakan sifat kelistrikan medium atau formasi lapisan bawah permukaan terutama sifat dan kemampuannya dalam menghantarkan atau menghambat arus listrik [20]. Metode ini banyak digunakan dalam eksplorasi panas bumi, penentuan ke dalaman batuan dasar, pencarian reservoir dan bidang teknik geologi lainnya. Salah satu metode geolistrik adalah metode resistivitas atau tahanan jenis. Metode resistivitas mempelajari perbedaan resistivitas batuan berdasarkan dengan perubahan resistivitas terhadap ke dalaman [21], [22], [8]. Nilai resistivitas batuan yang diukur di lokasi merupakan nilai resistivitas semu, yang harus diolah untuk mendapatkan nilai resistivitas yang sebenarnya [23].

2.4.1 Prinsip Dasar Metode Resistivitas

Seperti halnya pada metode pengukuran lain, metode gravity akan berhubungan dengan hukum newton, dan metode magnetic akan berhubungan dengan hukum coulumb, maka resistivity ini berdasarkan pada hukum Ohm. Hukum ohm jika diartikan sebagai suatu medium atau elektroda maka dapat dijelaskan sebagai arus listrik yang bergerak melalui konduktor antara elektroda positif dan negatif maka arus listrik akan berbanding lurus dengan tegangan atau dirumuskan dengan:



Gambar 2.12 Resistansi dan Resistivitas [20].

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

Atau

$$V = IR \quad (2.2)$$

Dengan

I = arus (ampere)

R = resistansi (ohm)

V = tegangan (volt)

Hukum Ohm sendiri berbunyi “Besarnya suatu arus listrik yang mengalir melalui sebuah penghantar atau Konduktor akan berbanding lurus dengan beda potensial atau tegangan yang dapat diterapkan kepadanya dan berbanding terbalik dengan suatu hambatannya” (George Ohm, 1825).

Resistansi (R) secara fisis selain dipengaruhi karakteristik material bahan juga dipengaruhi juga oleh luas penampang dan panjang penampang. Sedangkan resistivitas (ρ) merupakan resistansi yang dinormalisasikan terhadap bidang geometri atau dituliskan sebagai:

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (2.3)$$

Dengan

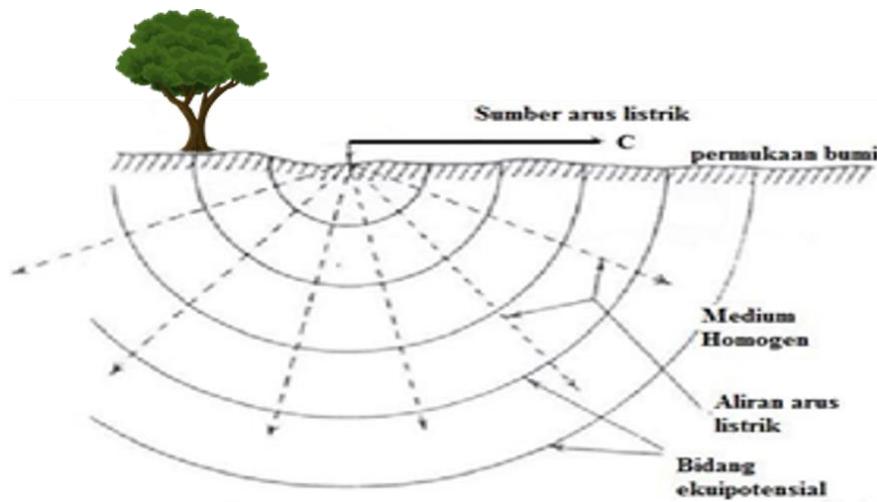
ρ = resistivitas (ohm meter)

R = resistansi (ohm)

A = luas penampang (m²)

l = panjang medium (m)

Hubungan hukum ohm terhadap metode geolistrik resistivitas terjadi ketika proses penginjeksian arus (*I*) ke bawah permukaan bumi yang diasumsikan bumi bersifat homogen dan isotropis melalui sebuah elektroda. Sehingga terjadi penjalaran arus (*I*) yang terjadi ke segala arah di bawah permukaan yang berbentuk setengah lingkaran atau permukaan ekuipotensial.



Gambar 2.13 Bidang ekuipotensial bumi [20].

Bidang ekuipotensial merupakan suatu bidang penjalaran arus listrik pada suatu bidang yang homogen [20]. Pada kasus ini berlaku aliran arus menyebar kesegala arah, namun jika bidang penjalarnya tidak homogen maka penjalarnya tidak demikian.

Beberapa kasus sumber arus berada pada permukaan bumi, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13. hal tersebut membentuk persebaran arus di bawah permukaan menjadi setengah bola sehingga dapat dituliskan.

$$V = \frac{\rho I}{2\pi r} \quad (2.4)$$

Dengan

V = potensial (volt)

ρ = resistivitas (ohm meter)

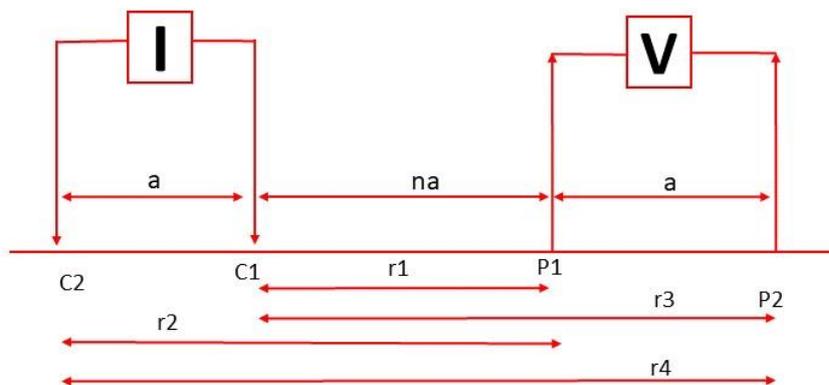
r = jarak (m)

I = arus (ampere)

Jika sumber arus yang diinjeksikan ke dalam bawah permukaan bumi menggunakan dua buah elektroda maka akan terbentuk dua bidang equipotensial. Sehingga penetrasi yang dilakukan akan mendapatkan ke dalaman yang sangat dalam [21].

2.4.2 Konfigurasi Dipole-Dipole

Dalam konfigurasi dipol-dipol ini terdapat elektroda C1 dan C2 yang merupakan elektroda arus dengan jarak (a), P1 dan P2 merupakan elektroda potensial yang memiliki jarak (a) kedua pasang elektroda ini dibatasi oleh jarak (na), r_1 , r_2 , r_3 dan r_4 merupakan jarak antar elektroda potensial terhadap elektroda arus.



Gambar 2.14 Elektroda Konfigurasi Dipole-Dipole [20].

Faktor geometri pada konfigurasi dipol-dipol yaitu:

$$K = 2\pi \left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right\}^{-1} \quad (2.5)$$

$$K = \frac{2\pi}{r_1 - r_2 - r_3 + r_4} \quad (2.6)$$

$$K = \frac{2\pi}{2a + na - na + a - na + a + na} \quad (2.7)$$

$$K = \frac{2\pi}{a(2+n) - a(n+1) - a(n+1) + a(n)} \quad (2.8)$$

$$K = \frac{2\pi}{\frac{1}{a} \left(\frac{1}{2+n} - \frac{1}{n+1} - \frac{1}{n+1} + \frac{1}{n} \right)} \quad (2.9)$$

$$K = \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{2+n} - \frac{2}{n+1} - \frac{1}{n} \right)} \quad (2.10)$$

$$K = \frac{2\pi a n (n+2)(n+1)}{2} \quad (2.11)$$

$$K = \pi a n (1+n)(2+n) \quad (2.12)$$

Konfigurasi ini didasarkan pada posisi potensial dan arus elektroda. Konfigurasi dipole-dipole, yaitu:

$$K = 2\pi a n (n+2)(n+1) \quad (2.13)$$

2.4.3 Resistivitas semu

Dalam sistem pengukuran menggunakan 2 elektroda arus dan 2 elektroda potensial akan menghasilkan nilai resistivitas. Nilai tersebut dapat terjadi jika bumi diasumsikan sebagai medium homogen sehingga nilai resistivitas di bawah permukaannya yaitu:

$$\rho = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.14)$$

Dimana

k = faktor koreksi elektroda atau faktor geometri

p = resistivitas atau tahanan jenis (ohm meter)

Δv = beda potensial (volt)

I = kuat arus (ampere)

Tetapi pada kondisi di lapangan, bumi tidak bersifat homogen sehingga resistivitas akan bervariasi baik secara lateral maupun secara horizontal atau diartikan sebagai resistivitas semu. Resistivitas semu atau *apparent resistivity* merupakan hasil pengukuran yang didapat dari medium bumi yang tidak bersifat homogen. Nilai atau hasil pengukuran ini didapat dari variasi resistivitas pada bawah permukaan bumi yang memiliki banyak pelapisan-pelapisan batuan yang nilai resistivitasnya berbeda [24]. Resistivitas semu dituliskan sebagai :

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (2.15)$$

Dimana

ρ_a = resistivitas semu (ohm)

I = kuat arus (ampere)

k = faktor geometri

Δv = beda potensial (volt)

2.4.4 Metode Sounding dan Mapping

Berdasarkan arah pengukurannya metode resistivitas dapat dibedakan ke dalam dua jenis yaitu sebagai fungsi posisi (*mapping*) dan sebagai fungsi spasi elektroda (*sounding*) [25].

Dalam pendekatan fungsi posisi (*mapping*) bertujuan untuk mendapatkan variasi resistivitas di bawah permukaan secara horizontal. Dalam pengukuran menggunakan metode (*mapping*) ini menggunakan jarak elektroda yang tetap, tetapi titik tengah antara C1 dan C2 maupun P1 dan P2 akan berubah.

Dalam pendekatan fungsi spasi elektroda (*sounding*) digunakan untuk mengetahui variasi resistivitas di bawah permukaan sebagai fungsi ke dalaman. Dalam pengukuran metode (*sounding*) ini menggunakan jarak elektroda yang berubah-ubah tetapi dengan jarak titik tengah C1 dan C2 maupun P1 dan P2 tetap. Sehingga yang didapat dalam metode ini yaitu jangkauan ke dalaman di bawah permukaan. Metode ini banyak digunakan dalam konfigurasi Schlumberger.

Perbedaan dari kedua metode ini ialah terletak pada tujuan pengukuran itu sendiri *sounding* bertujuan untuk memperoleh nilai resistivitas berdasarkan nilai posisi (XY) dengan ke dalaman (Z) yang tetap, sedangkan *mapping* bertujuan mengetahui harga resistivitas berdasarkan fungsi ke dalaman (Z) dengan posisi (XY) tetap.

2.4.5 Sifat kelistrikan Batuan

Sebagian besar batuan merupakan konduktor yang buruk atau isolator, sehingga hanya beberapa saja yang mampu mengalirkan arus listrik melalui matrik batuan. Arus listrik yang terjadi pada batuan disebabkan oleh pengaruh kandungan air yang banyak mengandung elektron-elektron yang berada pada pori batuan. Sehingga arus listrik mampu mengalir atau menjalar pada batuan melalui fluida elektrolit serta pada rekahan batuan. Masing-masing dari batuan memiliki sifat yang berbeda-beda. Hal tersebut dipengaruhi oleh porositas, susunan butir, proses geologi, kadar fluida serta kandungan lempung [25]. Batuan dapat dianggap dielektrik, seperti halnya kabel, sehingga memiliki hambatan (resistivitas) tertentu. Resistivitas merupakan

kemampuan penghantaran listrik pada suatu medium batuan atau formasi batuan di bawah permukaan [21].

Ada tiga jenis konduksi yang terjadi pada lapisan bawah permukaan yaitu:

1. Konduksi Secara Elektronik

Batuan dianggap sebagai medium yang tersusun oleh beberapa mineral yang di dalam mineral tersebut terdapat elektron-elektron bebas sehingga arus listrik mengalir pada elektron-elektron bebas itu.

2. Konduksi Secara Elektrolitik

Batuan yang memiliki porositas dan porositas tersebut diisi oleh fluida yang di dalamnya banyak mengandung elektron-elektron bebas, sehingga arus listrik dapat mengalir pada fluida yang berada di dalam pori-pori batuan. Jika kadar air dalam batuan meningkat maka daya hantar listrik akan semakin tinggi dan sebaliknya jika kadar air dalam batuan menurun maka resistivitas listrik akan semakin tinggi.

3. Konduksi Secara Dielektrik

Batuan ini merupakan konduktor listrik yang buruk, dikarenakan elektron-elektron yang berada pada batuan cenderung diam dan tidak aktif. Sehingga membuat arus listrik sulit untuk mengalir atau menjalar. Nilai resistivitas masing-masing batuan terlihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 2.1 Nilai Resistivitas Batuan. (diolah kembali oleh penulis dari [20])

Material	Resistivitas
Batuan Metamorf	
Granit	200-10000
Basal	200-100000
Kwarsa	500-800000
Kalsit	1×10^{12} - 1×10^{13}
Gamping	500-10000
Magnetit	0,01-1000
Andesit	$1,7 \times 10^2$ - 45×10^4
Pirit	0,01-100
Batuan Sedimen	
Aluvium	10-800
Lempung	1-100
Pasir	1-1000
Kerikil kering	600-10000
Kerikil	100-600
Batu tulis	20-2000
Batu pasir	200-8000
Air	
Air asin	0.2
Air tawar	0.5-300