

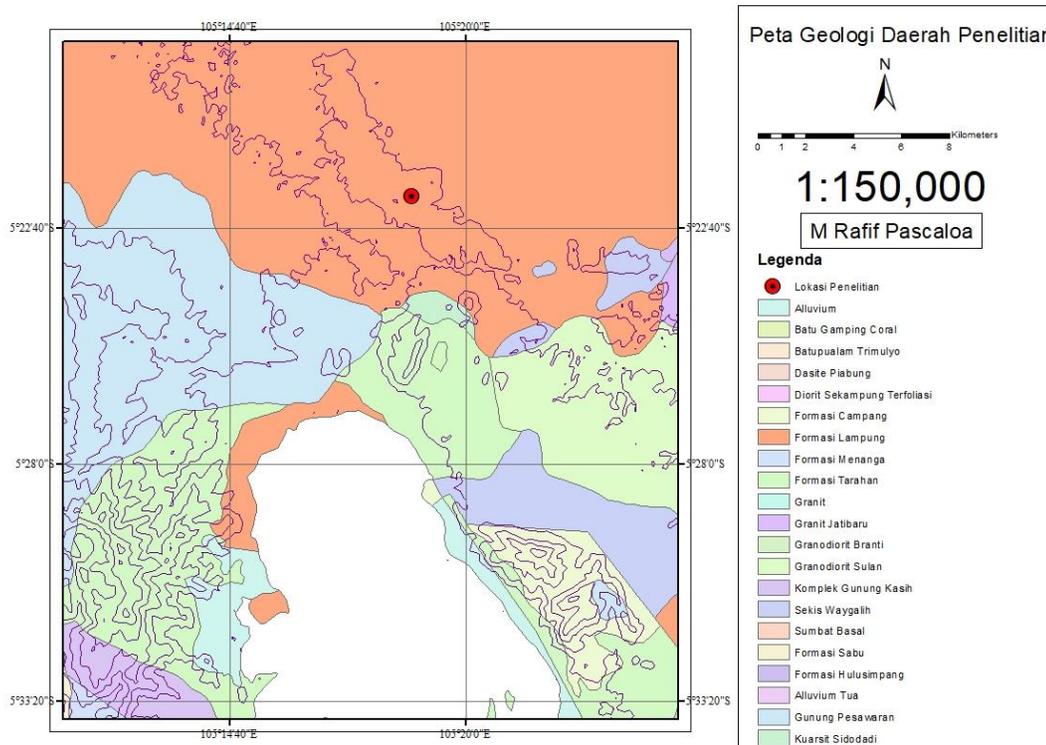
BAB II DASAR TEORI

2.1 Geologi Regional

Berdasarkan peta geologi (Mangga dkk, 1993) daerah penelitian tugas akhir yang dilakukan di kampus Institut Teknologi Sumatera (ITERA) merupakan bagian dari satuan Formasi Lampung (QTI). Batuan-batuan yang tersingkap di daerah penelitian ini terdiri dari satuan Formasi Lampung yang berumur Plio-Plistosen. Formasi Lampung ini terdiri dari endapan-endapan sedimen, yang dihasilkan oleh kegiatan aktifitas gunung api (batuan piroklastik), endapan tersebut berasal dari erupsi gunung api (laharik). Batuan yang berada pada lokasi penelitian ini merupakan batuan Tuff (tufa), batu tuff ini juga terdapat sisipan pasir. Tuff (tufa) adalah jenis batuan beku luar yang terbentuk dari produk erupsi eksplosif gunung berapi (ledakan). Erupsi akan mengeluarkan puing-puing batuan, debu, magma dan beberapa material lainnya dari dalam ventilasi vulkanik. Material-material yang keluar akibat erupsi ini biasa disebut dengan "ejecta". Dalam pembentukan batu tuff, ejecta akan terlempar ke udara dan jatuh kembali ke permukaan bumi di sekitar area gunung berapi tersebut. Jika ejecta ini mengalami kompaksi dan sementasi membentuk batuan, maka batuan tersebutlah yang disebut sebagai tuff (tufa). Tuff juga bervariasi berdasarkan ukuran partikelnya. Di dekat ventilasi vulkanik tuff akan tersusun atas blok material besar di dalam matriks abu vulkanik. Sedangkan semakin jauh dari situ materialnya akan semakin kecil. Di beberapa pinggiran unit batuan vulkanik, tuff biasanya hadir dalam bentuk yang sangat halus. Jenis tuff pada Formasi Lampung (QTI) ini berupa *welded tuff*. Deposit *welded tuff* biasanya berada dekat dengan ventilasi vulkanik.

Secara litologi, Formasi Lampung (QTI) yang memiliki satuan batuan tuff berbatu apung, tuff riolitik, tuff padu tuffit, batu lempung tuffaan, dan batu pasir tuffaan. Melalui pendekatan litologi ini, dapat diklasifikasikan bahwa batuan yang kita hadapi adalah batuan piroklastik yang memiliki kandungan/komposisi seperti batuan beku namun secara fisik seperti batuan sedimen. Secara umum, batuan piroklastik memiliki porositas.

Secara struktur diapit oleh suatu struktur kemenerusan di bagian Utara dengan arah kemenerusan Barat-Timur, serta bagian Timur dan Barat dengan arah kemenerusan Tenggara–Barat Daya. Struktur ini masih harus diidentifikasi lebih lanjut, namun terdapat manifestasi di permukaan yang mungkin menandakan adanya aktivitas struktur di bagian Barat daerah penelitian (Gerbang Barat Institut Teknologi Sumatera, Sukarame). Manifestasinya adalah jalan raya yang dibuat tidak memiliki daya tahan yang lama, sehingga terus mengalami kerusakan, hal ini dapat dijadikan sebuah pertimbangan dan indikasi adanya anomali di daerah tersebut, yang mungkin merupakan zona dampak (*damage zone*) dari struktur yang ada. Meskipun jarak area pembangunan dengan manifestasi tersebut berjarak 1.5 km – 2 km hal ini patut dipertimbangkan. Geologi regional daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Geologi regional pada daerah penelitian

2.2 Metode Geolistrik

Metode geolistrik adalah salah satu metode geofisika aktif yang menggunakan sumber buatan dengan menginjeksikan arus listrik melalui elektroda ke dalam bumi.

Metode geolistrik merupakan salah satu metode pengukuran geofisika yang menitikberatkan pada potensial listrik dari berbagai tahanan jenis batuan di bawah permukaan bumi. Metode ini berguna untuk mengetahui persebaran resistivitas bawah permukaan yang akan diinterpretasi untuk mengetahui informasi geologi bawah permukaan. Metode ini menggunakan konsep dasar Hukum Ohm yang menggambarkan hubungan antara tegangan V pada penghantar dan arus I . Dapat ditulis dalam rumus berikut:

$$V=IR$$

Keterangan :

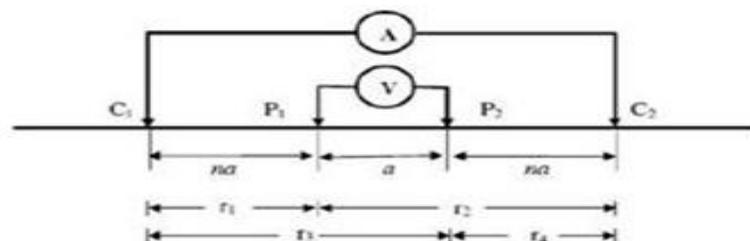
R = Resistansi (Ohm)

I = Kuat Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

Konfigurasi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu konfigurasi *Wenner-Schlumberger* merupakan gabungan antara konfigurasi *Wenner* dan *Schlumberger*. Dalam konfigurasi tersebut jarak antara elektroda P_1 - P_2 adalah a dan jarak spasi antar C_1 - P_1 = P_2 - C_2 yaitu na . Sehingga spasi jarak elektrodanya konstan. Dari konfigurasi ini memiliki kelebihan cakupan secara horizontal, penetrasi kedalaman yang baik. Pada **Gambar 2.2** dibawah menunjukkan bahwa pola sensitivitas meningkat seiring besarnya n sehingga sensitivitasnya menjadi positif, dan tertinggi pada P_1 - P_2 dan menyebar mendekati C_1 - C_2 . Sangat sensitif terhadap perubahan horizontal oleh sebab itu baik untuk survei kedalaman.

Skema konfigurasi *Wenner-Schlumberger* :



Gambar 2.2 Skema konfigurasi Wenner-Schlumberger

Batuan mempunyai sifat-sifat kelistrikan karena batuan merupakan suatu jenis materi. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan jika dialirkan arus listrik. Arus listrik ini dapat berasal dari alam itu sendiri akibat terjadinya ketidakseimbangan atau arus listrik yang sengaja dimasukkan ke dalamnya. Tiap-tiap medium (lapisan batuan) mempunyai sifat kelistrikan berbeda-beda, tergantung dari kandungan logam/nonlogam, komposisi mineral, kandungan air, permeabilitas, tekstur, suhu dan umur geologi batuan (Hendrajaya, 1990).

Menurut Telford, dkk. (1998), terkait dengan sifat resistivitas listrik, lapisan akuifer merupakan lapisan batuan yang memiliki rentang nilai tahanan jenis 1-108 Ωm . Faktor-faktor yang berpengaruh antara lain: komposisi litologi, kondisi batuan, komposisi mineral yang terkandung, kandungan benda cair. Air alam mengandung zat padat terlarut yang berasal dari mineral dan garam-garam yang terlarut ketika air mengalir di bawah permukaan tanah. Penelitian geolistrik resistivitas telah digunakan dalam penyelidikan hidrogeologi, pertambangan dan geoteknik. Berdasarkan pada tujuan penelitian metode geolistrik dibagi menjadi dua yaitu *mapping* dan *sounding*.

1. *Mapping*

Tujuan *mapping* adalah mengetahui variasi resistivitas secara lateral. Oleh karena itu teknik *mapping* dilakukan menggunakan konfigurasi elektroda tertentu dengan jarak elektroda tetap. Seluruh susunan elektroda dipindahkan mengikuti suatu lintasan.

2. *Sounding*

Istilah *sounding* diambil dari *Vertical Electrical Sounding* (VES) yaitu teknik pengukuran geolistrik yang bertujuan untuk memperkirakan variasi resistivitas sebagai fungsi dari kedalaman lapisan batuan yang terdeteksi. Konfigurasi elektroda yang digunakan umumnya adalah konfigurasi *Scumberger*. Metode resistivitas merupakan salah satu metode pengukuran geofisika yang menitikberatkan pada potensial listrik dari berbagai tahanan jenis batuan di bawah permukaan bumi.

2.2.1 Sifat Kelistrikan Batuan

Batuan tersusun dari berbagai mineral dan mempunyai sifat kelistrikan. Beberapa batuan tersusun dari satu jenis mineral saja, sebagian kecil lagi dibentuk oleh gabungan mineral, dan bahan organik serta bahan-bahan vulkanik. Sifat kelistrikan batuan adalah karakteristik dari batuan dalam menghantarkan arus listrik. Batuan dapat dianggap sebagai medium listrik seperti pada kawat penghantar listrik, sehingga mempunyai tahanan jenis (resistivitas). Resistivitas batuan adalah hambatan dari batuan terhadap aliran listrik. Resistivitas batuan dipengaruhi oleh porositas, kadar air, dan mineral. Nilai resistivitas dapat dilihat pada **Tabel 2.1**. Menurut Telford (1982) aliran arus listrik di dalam batuan dan mineral dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu konduksi secara elektronik, konduksi secara elektrolitik, dan konduksi secara dielektrik.

1. Konduksi Secara Elektronik (Ohmik)

Konduksi ini terjadi jika batuan atau mineral mempunyai banyak elektron bebas sehingga arus listrik dialirkan dalam batuan atau mineral oleh elektron-elektron bebas tersebut.

2. Konduksi Secara Elektrolitik

Sebagian besar batuan merupakan penghantar yang buruk dan memiliki resistivitas yang sangat tinggi. Batuan biasanya bersifat *porous* dan memiliki pori-pori yang terisi oleh fluida, terutama air. Batuan-batuan tersebut menjadi penghantar elektrolitik, di mana konduksi arus listrik dibawa oleh ion-ion elektrolitik dalam air. Konduktivitas dan resistivitas batuan *porous* bergantung pada volume dan susunan pori-porinya. Konduktivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan bertambah banyak, dan sebaliknya resistivitas akan semakin besar jika kandungan air dalam batuan berkurang.

3. Konduksi Secara Dielektrik

Konduksi pada batuan atau mineral bersifat dielektrik terhadap aliran listrik, artinya batuan atau mineral tersebut mempunyai elektron bebas sedikit, 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.

Tabel 2.1 Nilai resistivitas batuan (Telford, 1990)

Material	Resistivitas (Ωm)
Udara (Air)	~
Pirit (<i>Pyrite</i>)	0.01-100
Kwarsa (Quartz)	500-800000
Kalsit (<i>Calcite</i>)	1×10^{12} - 1×10^{13}
Garam Batu (<i>Rock salt</i>)	$10^{-1} \times 10^{13}$
Granit (<i>Granite</i>)	200-10000
Andesit (<i>Andesite</i>)	1.7×10^2 - 45×10^4
Basal (Basalt)	200-10.0000
Gamping (<i>Limestone</i>)	500-10000
Batu pasir (<i>Sandstone</i>)	200-8000
Batu tulis (<i>Shales</i>)	20-2000
Pasir (Sand)	1-1000
Lempung (<i>Clay</i>)	1-100
Tuff	20-200
Air tanah (<i>Ground water</i>)	0.5-300
Air asin (<i>Sea water</i>)	0.2
Magnetit (<i>Magnetite</i>)	0.01-1000
Kerikil kering (<i>Dry gravel</i>)	600-10000
Aluvium (Alluvium)	10-800

2.2.2 Teori Inversi 2-D

Inversi merupakan suatu metode perhitungan matematika dan statistika untuk mendapatkan informasi fisika berdasarkan observasi yang dilakukan terhadap suatu sistem. Inversi bertujuan memperoleh pemodelan hasil observasi yang pada dasarnya merupakan proses *try and error* dengan melakukan modifikasi pada parameter

pemodelan sehingga didapatkan kecocokan antara data perhitungan inversi dan data lapangan. Data lapangan yang didapat saat akuisisi merupakan respon keadaan geologi bawah permukaan akibat perbedaan sifat fisis seperti resistivitas, *chargeability*, susceptibilitas magnetik, densitas, dan lain-lain. Sehingga, model inversi diharapkan dapat merepresentasikan keadaan geologi bawah permukaan. Secara umum, pemodelan mencakup beberapa aspek berikut:

1. Representasi

Representasi menjelaskan sebuah pemodelan bawah permukaan sebenarnya yang melalui penyederhanaan keadaan bawah permukaan atau hubungan antara parameter hasil observasi suatu sistem, dengan parameter yang mengkarakterisasi sistem tersebut.

2. Pengukuran

Untuk mengetahui apakah parameter model sudah sesuai dengan kenyataan, pengukuran dilakukan secara langsung dan data yang didapatkan merupakan respon yang sebenarnya, maka harus dilakukan pengukuran data terlebih dahulu.

3. Estimasi

Proses inversi dapat memberikan lebih dari satu model. Untuk memperkirakan model yang didapat sudah cukup representatif terhadap keadaan bawah permukaan, parameter model dapat disesuaikan berdasarkan data pendukung yang ada seperti data geologi permukaan.

4. Validasi

Validasi dilakukan untuk mengkonfirmasi model hasil proses inversi dapat menjelaskan data hasil observasi. Jika belum ditemukan kesesuaian antara data observasi dan data prediksi (berdasarkan representasi fisika dan parameter model yang diperkirakan) maka perlu dilakukan modifikasi pada model parameter.

2.3 Geoteknik

Geoteknik adalah salah satu cabang dari ilmu geologi yang erat hubungannya dengan pembangunan berkelanjutan yang berwawasan lingkungan. Beberapa kajian geoteknik berhubungan dengan pembangunan infrastruktur seperti jalan tol, jalan kereta api, jembatan, menara, pondasi gedung, dan lain-lain.

Berikut ini merupakan pengujian yang dilakukan dalam geoteknik :

1. *Standard Penetration Test (SPT)*

Pengujian SPT adalah pengujian dengan tabung sendok pemisah (*Split Spoon Sampler*) yang dimasukkan ke dalam tanah dasar lubang bor (titik pengujian) dengan menggunakan beban penumbuk dengan berat 63 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 75 cm hingga kedalaman 30 cm. Pengujian tersebut sangat penting sebagai dasar penentuan dasar dimensi pondasi yang aman dan ekonomis.

Berikut hasil pengujian SPT dengan interval 2 meter (Sumber: PT Batu Raden Konsultan, 2017) :

1. Gedung Kuliah Umum kampus Institut Teknologi Sumatera

Bor titik 1 dengan data hasil pengujian hingga kedalaman 20 meter dari permukaan tanah adalah sebagai berikut :

Tabel 2.2 Hasil N-SPT Gedung Kuliah Umum

Kedalaman (m)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
N (spt)	28	39	50	>60	>60	>60	>60	>60	>60	>60

2. Bor Mesin

Pengujian dengan alat Bor Mesin dimaksudkan untuk mengetahui secara jelas kondisi lapisan tanah dari permukaan pengujian hingga kedalaman tanah keras yang ditentukan. Dari hasil pengujian bor mesin ini contoh tanah disusun berurutan dari titik awal pengujian diatas permukaan (kedalaman 0 meter) sampai tanah keras (akhir pengujian) dalam kotak sampel tanah (*core box*) dan masing-masing lapisan tanah dicatat kedalaman dan jenis klasifikasi tanahnya.

Berikut diperoleh hasil sampel tanah pada pengujian di GKU ITERA (Sumber: PT Batu Raden Konsultan, 2017) :

1. Pengujian pada titik bor 1

Gedung Kuliah Umum kampus Institut Teknologi Sumatera

Tabel 2.3 Hasil Bor Mesin Gedung Kuliah Umum

Kedalaman (meter)	Klasifikasi
0,00-0,40	Lempung berwarna coklat kemerahan
0,40-2,00	Lempung sedikit berkerikil berwarna merah kekuningan
2,40-4,00	Lempung berpasir berwarna putih keabu-abuan
4,00-6,00	Pasir membatu berwarna putih
6,00-8,00	Pasir membatu berwarna putih keabuan
8,00-10,00	Pasir membatu berwarna putih keabuan
10,00-12,00	Pasir membatu berwarna abu-abu keputihan
12,00-14,00	Pasir membatu berwarna abu-abu keputihan
14,00-16,00	Pasir membatu berwarna abu-abu keputihan
16,00-18,00	Pasir membatu berwarna abu-abu keputihan sedikit kekuningan
18,00-20,00	Pasir membatu berwarna abu-abu keputihan

2.4 Tanah Sebagai Pondasi Bangunan

Semua material yang membentuk bumi digolongkan ke dalam material geologis, yaitu batuan, tanah, air, minyak bumi, gas, es, dan sebagainya. Dalam geologi, semua material-geologis padat (tanah, batuan, es) dinamakan “batuan”. Namun dalam geologi-teknik terdapat perbedaan antara tanah dan batuan (keras). Tanah diartikan sebagai material yang akan pecah apabila terkena sedikit saja gaya mekanis (memungkinkan pemindahan tanah dengan cara sederhana) (Verhoef, 1994). Tanah selalu mempunyai peranan yang penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi. Tanah adalah pondasi pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi dari bangunan itu sendiri. Mengingat hampir semua bangunan itu dibuat di atas atau di bawah permukaan tanah, maka harus dibuatkan pondasi yang dapat memikul beban bangunan itu atau gaya yang bekerja melalui bangunan itu sendiri (Suyono Sosrodarsono dan Kazuto Nakazawa, 1984).

Tergantung dari situasi geologisnya, terdapat beberapa kemungkinan, kemungkinan berikut bagi pondasi:

- Batuan dapat berada langsung atau tidak jauh di bawah permukaan tanah, sehingga bangunan yang bersangkutan dapat didirikan di atasnya.
- Batuan dapat berada pada suatu kedalaman tertentu di bawah permukaan tanah, tetapi pada jarak yang sedemikian rupa sehingga beban bangunan dapat dialihkan pada batuan.
- Pondasi harus dipasang di atas tanah, karena permukaan batuan berada terlalu jauh di bawah permukaan tanah.

Apabila di dalam bawah tanah yang dangkal (hingga maksimum sekitar 75 m) terdapat suatu lapisan batuan (atau suatu bidang yang terdiri dari batuan keras), maka sering kali di situlah pondasi dipasang. Berbagai kesulitan yang umum terjadi pada batuan tentu saja bisa muncul.

Setiap bangunan akan menimbulkan beban terhadap bawah tanah. Sebagai akibat dari terjadinya tegangan di bawah tanah, maka akan timbul suatu deformasi (perubahan bentuk). Deformasi ini akan mengakibatkan suatu penurunan terhadap bangunan yang

bersangkutan. Besarnya penurunan maksimum yang dapat dialami oleh sebuah bangunan tergantung dari beban-pikul. Setiap jenis tanah atau batuan mempunyai sebuah beban-maksimum tertentu.

2.5 Batuan Dasar

Batuan dasar adalah batuan yang belum mengalami pelapukan dan relatif masih berada pada tempat aslinya. Batuan ini mendasari tipe batuan yang ada di atasnya. batuan dasar mempunyai sifat lebih masif dan mempunyai nilai resistivitas yang tinggi, selain itu juga mempunyai sifat impermeabel yaitu tidak menyerap air. Setiap daerah memiliki batuan dasar yang berbeda-beda tergantung dari sejarah geologis tempat tersebut, jadi bisa berupa batuan beku, batuan sedimen maupun batuan metamorf.

Setiap material memiliki karakteristik daya hantar listriknya masing-masing, batuan adalah material yang juga mempunyai daya hantar listrik dan harga tahanan jenis tertentu. Batuan yang sama belum tentu mempunyai tahanan jenis yang sama. Sebaliknya harga tahanan jenis yang sama bisa dimiliki oleh batuan-batuan berbeda, hal ini terjadi karena nilai resistivitas batuan memiliki rentang nilai yang bisa saling tumpang tindih. Adapun aspek-aspek yang mempengaruhi tahanan jenis batuan antara lain:

1. Batuan sedimen yang bersifat lepas (urai) mempunyai nilai tahanan jenis lebih rendah bila dibandingkan dengan batuan sedimen padu dan kompak,
2. Batuan beku dan batuan ubahan (batuan metamorf) mempunyai nilai tahanan jenis yang tergolong tinggi,
3. Batuan yang basah dan mengandung air, nilai tahanan jenisnya rendah, dan semakin rendah lagi bila air yang dikandungnya bersifat payau atau asin.

Para ahli geologi mengklasifikasikan batuan dalam tiga kelompok dasar: beku (*igneous*), sedimen (*sedimentary*), dan metamorf (*metamorphic*). Batuan merupakan campuran dari berbagai mineral dan senyawa, dan komposisinya sangat bervariasi.

2.6 Suseptibilitas Batuan

Nilai suseptibilitas (k) merupakan nilai yang menyatakan kemampuan suatu benda atau batuan untuk dapat termagnetisasi. Dapat di rumuskan :

$$k = \frac{M}{H}$$

Di mana:

M = Intensitas magnetik (T)

H = Kuat medan magnet (T)

Setiap batuan yang terdiri dari bermacam-macam mineral memiliki nilai suseptibilitas yang berbeda, dapat dilihat pada **Tabel 2.3**. Batuan ini dikelompokkan menjadi pada 5 bahan magnetik yaitu:

1. Diamagnetik

Bahan ini mempunyai suseptibilitas negatif dan nilainya kecil serta suseptibilitas tidak bergantung pada temperatur dan kuat medan magnet luar. Contoh: bismut, *gypsum*, marmer, dan lain-lain.

2. Paramagnetik

Bahan ini memiliki nilai suseptibilitas positif yang nilainya kecil. Momen magnetik pada bahan ini akan terorientasi secara acak tanpa adanya medan magnetik dari luar dan jika dipengaruhi oleh medan magnet luar arah momen magnetnya akan cenderung sejajar dengan medan magnetik luar. Nilai suseptibilitas pada bahan ini tergantung pada temperatur. Contoh: *pyroxene*, *fayalite*, *amphiboles* *biotite*, *garnet*.

3. Ferromagnetik

Bahan ini memiliki nilai suseptibilitas positif yang nilainya sangat besar, serta nilai suseptibilitasnya bergantung pada temperatur. Bahan ini memiliki keteraturan magnet yang menyebabkan adanya momen magnetik yang searah bahkan tanpa adanya medan magnet luar. Contoh: besi, nikel, dan kobalt.

4. Antiferromagnetik

Pada bahan antiferromagnetik menghasilkan momen magnetik yang saling berlawanan arah dan sama besar, sehingga momen magnetik tersebut akan saling menghilangkan ketika diberi pengaruh medan luar. Nilai suseptibilitasnya tergantung pada temperatur. Contoh : hematit (Fe_2O_3).

5. Ferrimagnetik

Pada bahan ferrimagnetik memiliki nilai suseptibilitas yang besar tetapi lebih kecil dari ferromagnetik dan nilai suseptibilitasnya bergantung pada temperatur. Bahan ini memiliki momen magnetik yang saling berlawanan arah dan tidak sama besar. contoh : magnetit (Fe_3O_4), ilmenit (FeTiO_3), pirhotit (FeS).

Tabel 2.3 Nilai suseptibilitas batuan dan mineral (Telford 1990).

Jenis Batuan/Mineral	Suseptibilitas (x 10 ⁻⁶ emu)	
	Interval	Rata-rata
Batuan Sedimen		
Batupasir	0-1660	30
Lempung	5-1480	50
Rata-rata Sedimen	0-4000	75
Batuan Beku		
Riolit	20-3000	
Rata-rata Beku Asam	3-6530	650
Rata-rata Beku Basa	44-9710	2600
Mineral		
Hematit	40-3000	550
Tanah liat		20
Magnetit	100000-1600000	500000