

**ANALISIS POLA SEBARAN NILAI SUSEPTIBILITAS
MATERIAL VULKANIK DI SEKITAR DANAU MANINJAU
KABUPATEN AGAM**



**SHANDIYANO PUTRA
NIM. 16034069/2016**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2020**

**ANALISIS POLA SEBARAN NILAI SUSEPTIBILITAS
MATERIAL VULKANIK DI SEKITAR DANAU MANINJAU
KABUPATEN AGAM**

SKRIPSI

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



**Oleh:
SHANDIYANO PUTRA
NIM. 16034069/2016**

**PROGRAM STUDI FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2020**

PERSETUJUAN SKRIPSI

ANALISIS POLA SEBARAN NILAI SUSEPTIBILITAS MATERIAL VULKANIK DI SEKITAR DANAU MANINJAU KABUPATEN AGAM

Nama : Shandiyano Putra
NIM : 16034069
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 19 November 2020

Mengetahui:
Ketua Jurusan Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si
NIP. 19690120 199303 2 002

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Dr. Hamdi, M.Si
NIP. 19651217 199203 1 003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRISI

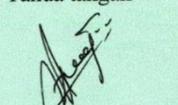
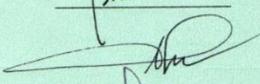
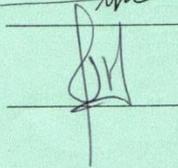
Nama : Shandiyano Putra
NIM : 16034069
Program Studi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ANALISIS POLA SEBARAN NILAI SUSEPTIBILITAS MATERIAL VULKANIK DI SEKITAR DANAU MANINJAU KABUPATEN AGAM

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

Padang, 23 November 2020

Tim Penguji

	Nama	Tanda tangan
Ketua	: Dr. Hamdi, M.Si.	
Anggota	: Drs. Akmam, M.Si.	
Anggota	: Syafriani, S.Si, M.Si., Ph.D.	

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis saya yang berjudul “Analisis Pola Sebaran Nilai Suseptibilitas Material Vulkanik Di Sekitar Danau Maninjau Kabupaten Agam” adalah karya saya sendiri.
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali pembimbing;
3. Karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah dituliskan atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas tercantum pada keputusan;
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila terdapat penyimpangan dalam penelitian ini, saya bersedia menerima sanksi akademik berupa gelar yang telah diperoleh karya tulis ini, serta sanksi lain sesuai dengan norma dan hukum yang berlaku.

Padang, 23 November 2020
Yang membuat pernyataan,



Snandiyano Putra
NIM. 16034069

Analisis Pola Sebaran Nilai Suseptibilitas *Material Vulkanik* Di Sekitar Danau Maninjau Kabupaten Agam

Shandiyano Putra

ABSTRAK

Kaldera Danau Maninjau terbentuk akibat letusan Gunung Maninjau yang terjadi ± 50.000 tahun yang lalu mengakibatkan adanya formasi aliran sungai keluar dari pusat kaldera pada bagian Barat Laut Danau. Letusan tersebut menghasilkan 220-250 km³ material vulkanik dan tersebar kesegala arah hingga 75 km dari pusat letusan yang mengendap pada suatu tempat tertentu. Dimana endapan tersebut mengandung mineral, salah satunya adalah mineral magnetik. Endapan itu menghasilkan suatu pola sebaran dan rekam jejak dari letusan tersebut. Namun, belum ada dokumen yang mencatat pola sebaran material vulkanik Gunung api Maninjau. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui pola sebaran yang dihasilkan oleh material vulkanik Danau Maninjau berdasarkan nilai suseptibilitas *low field*. Dalam mencapai tujuan tersebut digunakan metoda Kemagnetan batuan.

Metoda kemagnetan batuan adalah salah satu metoda Geofisika yang menyelidiki sifat magnetik dari suatu batuan. Metoda ini sangat efektif, murah, sensitif, cepat, dan tidak merusak. Dengan menggunakan metoda tersebut didapatkan nilai suseptibilitas magnetik *low field*. Selanjutnya, nilai suseptibilitas tersebut diplot dengan bantuan aplikasi *Surfer 17* untuk melihat pola sebaran garis konturnya.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa pola sebarannya berbentuk kipas aluvium dengan nilai suseptibilitas tertinggi (MT 12 dengan nilai $2816 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) berada sejauh 25,74 km dari pusat Danau kearah Barat Danau. Diikuti dengan sampel dengan kode MT 10 dengan nilai suseptibilitas $74 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ sejauh 13,5 km dari pusat Danau. Hal ini dikarenakan adanya faktor aliran sungai yang membawa mineral magnetik dari tempat yang tinggi menuju tempat yang rendah ataupun sebaran terjadi karena adanya bantuan angin.

Kata Kunci: Danau Maninjau, Suseptibilitas Magnetik, Material Vulkanik, Peta Kontur, Pola Sebaran Mineral Magnetik.

KATA PENGHANTAR



Puji dan syukur atas kehadiran Alloh SWT, yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Analisis Pola Sebaran Nilai Suseptibilitas Material Vulkanik Di Sekitar Danau Maninjau Kabupaten Agam”.

Skripsi ini merupakan bagian dari Hibah Penelitian Kerjasama Luar Negeri (HKLN) dan publikasi ilmiah atas nama Dr. Hamdi, M.Si., dengan judul *Fingerprinting Volcanic Eruption Activities From the Magnetic Properties of Sediments* dengan no kontrak 1409/UN35.13/LT/2020. Yang berkerja sama dengan Asst Prof. Caroline Bouvet de la Maisonneuve dari EOS-ASE *Nanyang Tecnological University of Singapore* dengan judul “*Quaternary Sediments of Sumatra*” dengan no kontrak NRF-NRFF2016-04. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika di Jurusan Fisika FMIPA UNP.

Selama menyelesaikan skripsi ini mendapatkan bantuan baik secara moril maupun materil dari berbagai pihak. Oleh karena itu diucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Hamdi, M.Si., sebagai pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran, saran, tenaga dan biaya sehingga skripsi ini terwujud dengan baik.

2. Bapak Zuhendri Kamus, S.Pd., M.Si. sebagai penasehat akademik pertama dan Ibu Fadhila Ulfa Jhora, S.Pd., M.Si. sebagai penasehat akademik kedua yang telah memberikan masukan, dan saran dalam masa perkuliahan.
3. Bapak Drs. Akmam, M.Si. dan Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D. sebagai dewan penguji yang telah memberikan masukan, kritikan dan saran dalam penyelesaian skripsi ini.
4. Ibu Dr. Hj. Ratnawulan, M.Si., sebagai Ketua Jurusan Fisika FMIPA UNP.
5. Ibu Dr. Fatni Mufit, S.Pd., M.Si. sebagai Sekretaris Jurusan Fisika FMIPA UNP.
6. Ibu Syafriani, M.Si., Ph.D., sebagai Ketua Program Studi Fisika FMIPA UNP.
7. Bapak dan Ibu staf pengajar, administrasi, laboran dan karyawan Jurusan Fisika FMIPA UNP.
8. Tim Sumatephra, Caroline Bouvet de la Maisonneuve, Marcus Phua, Steffen Eisele, Francesca Forni, Rizaldi Putra, Rizki Nurul Fajri, Rizaldi Putra, Pika Afriyeni, Nur Aisyah, Ella Destari Ningsih dan Muhammad Riyan Fadilah, yang selalu membantu dan memberikan masukan.
9. Rekan-rekan seperjuangan yang telah banyak membantu baik dalam penelitian maupun dalam penulisan laporan.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu dan telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Padang, Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGHANTAR.....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi Masalah.....	4
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	5
E. Tujuan Penelitian	5
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI.....	6
A. Kawasan Danau Maninjau	6
B. Geologi Danau Maninjau	10
C. Erupsi Gunung api.....	11
E. Batuan dan batuan vulkanik.....	14
F. Kemagnetan Batuan	16
1. Diamagnetik	17
2. Paramagnetik	20
3. Ferromagnetik.....	21
4. Antiferromagnetik	22

5. Ferrimagnetik	23
G. Mineral Magnetik.....	23
1. Kelompok Oksidasi Besi	24
2. Kelompok Sulfida Besi.....	26
3. Kelompok Hidroksida Besi	26
H. Suseptibilitas Magnetik.....	26
I. Bartington <i>Magnetic Susceptibility System B (MS2B)</i>	28
J. Peta Kontur.....	30
1. Sifat-sifat garis kontur	32
2. Penentuan besarnya kontur-kontur	32
3. Interval kontur	33
4. Rektifikasi.....	34
5. <i>Digitizing</i>	35
K. Surfer.....	35
L. Google Earth	36
M. Pola Sebaran.....	37
N. Koefisien Determinasi.....	38
O. Penelitian yang Relevan.....	39
P. Kerangka Berfikir.....	40
BAB III METODE PENELITIAN	42
A. Jenis Penelitian.....	42
B. Tempat dan Waktu Penelitian	42
C. Instrumentasi Penelitian.....	43

1. <i>Bartington Susceptibility Meter</i> dengan tipe sensor MS2B.	43
2. Neraca Digital (<i>Neraca Ohaus</i> SN EO271119030112).....	44
D. Prosedur Penelitian.....	45
1. Pengambilan Sampel	45
2. Preparasi sampel dan kalibrasi	46
4. Pengolahan Data Menjadi Peta kontur.	50
E. Teknik Pengolahan Data dan Interpretasi Data.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	55
A. Hasil Penelitian	55
B. Pembahasan.....	65
BAB V PENUTUP.....	69
A. Kesimpulan	69
B. Saran.....	69
DAFTAR PUSTAKA	70

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Suseptibilitas Magnetik Berbagai Mineral.....	28
2. Spesifikasi Susceptibility Meter MS2B	30
3. Interval dan Indeks Kontur.....	33
4. Daftar Koefisien Korelasi Determinasi.....	38
5. Nilai Suseptibilitas Magnetik Batuan Vulkanik.....	49
6. Kandungan Sifat Kemagnetan Suatu Bahan Dari Sampel Material Vulkanik.....	50
7. Nilai Suseptibilitas Magnetik Batuan Vulkanik.....	56
8. Sifat Kemagnetan dan Jenis Mineral dari Material Vulkanik.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera Barat (Sumber: Kastowo, 1996).....	7
2. Peta Batimetri Danau Maninjau (Sumber: Pusat Limnologi LIPI).....	11
3. Penampang Gunung Api (Sumber : Clyne, 2012)	12
4. Kuat Lemahnya Letusan Serta Tinggi Tiang Asap, (a) Tipe Pliniang (Sumber: Muryowihardjo, 1988); (b) Tipe Sub-plinian (Sumber: Cioni).....	13
5. Siklus Pembentukan Batuan (Sumber: Noor, 2009).	15
6. Bentuk Magnetisasi Bahan Diamagnetik (Sumber: Callister, 2009).	18
7. Suseptibilitas (χ) Tidak Tergantung Pada Temperatur (T) Untuk Bahan Diamagnetik (Sumber: Fitriawan, 2017).....	18
8. Momen Magnetik Paramagnetik (Sumber: Callister, 2009).	20
9. Suseptibilitas (χ) Tergantung Pada Temperatur (T) Untuk Bahan Paramagnetik (Sumber: Fitriawan, 2017).....	21
10. Momen Magnetik Antiferromagnetik (Sumber: Callister, 2009).	22
11. Suseptibilitas (χ) Tergantung Pada Temperatur (T) Untuk Bahan Antiferromagnetik	22
12. Bartington Magnetic Susceptibility (Sumber: Dearing, 1979).	29
13. Garis kontur Berdasarkan Variabel Ketinggian, (a) Garis kontur Sebuah Bukit; (b) Garis Kontur Daerah Datar; (c) Garis Kontur Daerah Sungai (Sumber: Solekhan, 2016).....	31

14. Kerapatan Garis Kontur Pada Daerah Curam Dan Landai (Sumber: Rivaldi, 2010)	32
15. (a). Peta Tiga Dimensi; (b). Peta Dua Dimensi (Sumber: Saleh, 2011).....	36
16. Jenis-jenis Pola Sebaran, (a). Pola Berkelompok; (b). Pola Acak; (c). Pola Seragam	38
17. Kerangka Berfikir Penelitian.....	41
18. Lokasi Penelitian Dan Posisi Pengambilan Sampel.....	43
19. Magnetic Susceptibility Meter Tipe MS2B.	44
20. Neraca Digital (Neraca Ohaus SN EO271119030112)	44
21. Pengambilan Sampel Yang Dilakukan Disekitar Danau Maninjau. (a) Posisi Pengambilan Sampel; (b) Sketsa Pengambilan Sampel Disekitar Danau Maninjau, Kabupaten Agam.	45
22. Sampel Yang Sudah Dipreparasi.	46
23. Proses Pengukuran Sampel	47
24. Posisi Pengukuran Sampel	47
25. Lembar Kerja Dalam Memasukan Data.....	50
26. Proses Gridding Data.	51
27. Peta Kontur Tanpa Warna.....	51
28. Peta Kontur Telah Diberikan Warna.....	52
29. Data Peta Kontur Berdasarkan: (a) Peta Kontur Berdasarkan Nilai Suseptibilitas low field; (b) Peta kontur Berdasarkan Variabel Ketinggian.	53
30. Peta kontur Nilai Suseptibilitas Magnetik Berdasarkan <i>Low Field</i> Yang Sudah Didempatkan Dengan Data Ketinggian.	53

31. Hasil Sebaran Dari Material Vulkanik Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magentik <i>Low Field</i> . (a). Peta Kontur Tampak Dari Bagian Timur, (b). Peta Kontur Tampak Dari bagian Barat Berdasarkan Nilai Suseptibilitas Magnetik Frekuensi Rendah.	59
32. Hubungan Nilai Suseptibilitas Magnetik Dengan Jarak Dari Pusat Kaldera Maninjau, (a). Batu Apung; (b) Abu Vulkanik; (c) Lava.	61
33. Sebaran Sampel Berdasarkan Jarak Dari Pusat Kaldera Maninjau.....	61
34. Garis Sebaran Endapan Material Vulkanik Disekitar Danau Maninjau.	62
35. Garis Sebaran Material Vulkanik Berdasarkan Nilai Suseptibilitas <i>Low Field</i> Yang Sudah Di Gabungkan Dengan Peta Danau Maninjau	63
36. Pola Sebaran Material Vulkanik Disekitar Danau Maninjau, Kabupaten Agam Berdasarkan Sebaran Nilai Suseptibilitas Magnetik Yang Telah Didempatkan Dengan Data Garis Kontur Yang Telah Didapatkan.	64

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi yang terletak di pesisir Barat bagian tengah Pulau Sumatera dengan Ibu kota Padang. Terletak pada 0°54' Lintang Utara dan 3°30' Lintang Selatan dan antara 98°36' - 101°53' Bujur Timur. Provinsi Sumatera Barat berbatasan langsung dengan Samudera Indonesia di sebelah Barat, Provinsi Jambi dan Provinsi Bengkulu di sebelah Selatan, Provinsi Riau di sebelah Timur dan Provinsi Sumatera Utara di sebelah Utara. Berdasarkan posisi geografisnya Sumatera Barat dilalui oleh lintasan Cincin Api Pasifik.

Lintasan Cincin Api Pasifik merupakan daerah yang sering mengalami gempa bumi dan letusan Gunung berapi yang mengelilingi cekungan Samudra Pasifik. Daerah ini berbentuk seperti tapal kuda dan mencakup wilayah sepanjang 40.000 km. (Prasetya, dkk., 2006). Mengakibatkan Sumatera Barat menjadi salah satu Provinsi yang terletak diantara pertemuan Lempeng Indo-Australia dan Lempeng Eurasia. Pertemuan lempeng tersebut menjadikan aktivitas Gunung api yang aktif. Aktivitas Gunung api tersebut berupa letusan atau erupsi.

Erupsi merupakan proses keluarnya material-material dari perut bumi atau inti bumi (Pribadi, 2007). Erupsi yang terjadi secara terus menerus mengakibatkan runtuhnya dinding Gunung api. Runtuhan ini membentuk sebuah kawah yang dikenal dengan istilah Kaldera (*caldera*). Salah satu Kaldera yang terdapat di Sumatera Barat

adalah Kaldera Maninjau. Kaldera Maninjau terbentuk akibat peristiwa letusan Gunung api purba yang diperkirakan meletus pada ± 50.000 tahun yang lalu.

Letusan Gunung api purba menghasilkan 220-250 km³ material vulkanik yang tersebar hingga 75 km dari pusat letusan (Pribadi, 2007). Material-material tersebut tersebar kesegala arah yang disebabkan oleh arah angin manapun dan mengendap pada suatu tempat tertentu. Endapan itu menghasilkan suatu pola persebaran atau rekam jejak dari suatu Gunung api. Akan tetapi belum adanya dokumen yang mencatat pola persebaran material vulkanik Gunung api Maninjau tersebut. Material vulkanik tersebut mengandung banyak mineral salah satunya adalah mineral magnetik.

Mineral magnetik terbagi menjadi tiga yaitu *Magnetite* (Fe_3O_4), *Hematite* ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan *Maghemite* ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Magnetit adalah mineral yang paling banyak mengandung sifat magnet (Harrison, 2002). Hematit adalah salah satu mineral yang paling melimpah di permukaan bumi maupun di kerak bumi yang dangkal. Mineral ini merupakan mineral pembentuk batuan yang umumnya ditemukan pada batuan sedimen, metamorf, dan batuan beku (Fadila, 2019). Maghemite terbentuk dengan pelapukan atau oksidasi suhu rendah spinel yang mengandung besi (II) seperti Magnetit atau Titanomagnetit. Tetapi belum diketahui kandungan mineral magnetik apa saja yang terdapat didalam material tersebut.

Keberadaan mineral magnetik tersebut dapat diungkap dengan menggunakan metoda Kemagnetan Batuan (*Rock Magnetism*). *Rock Magnetism* adalah salah satu metoda Geofisika yang menyelidiki sifat magnetik dari suatu batuan. Instrumen yang digunakan adalah *Susceptibility meter*. Menurut Dearing (1999), Uji sifat kemagnetan suatu bahan dinilai sangat efektif, murah, sensitif, cepat dan tidak merusak. Sifat

kemagnetan pada batuan dapat ditentukan dengan cara mengetahui karakteristik mineral magnetik seperti konsentrasi mineral magnetik, jenis mineral magnetik, domain magnetik, ukuran butir dan titik *Currie* dari mineral magnetik.

Ukuran butir material vulkanik berbanding terbalik dengan nilai suseptibilitas magnetik. Menurut (Xin Zhou, 2013) semakin kecil ukuran butir tersebut maka nilai suseptibilitasnya semakin besar, karena pengotor yang terkandung didalam material vulkanik tersebut sedikit. Butir material vulkanik tersebut terbawa oleh dua faktor yaitu faktor angin dan hujan. Butir dengan ukuran yang besar akan langsung jatuh disekitar Danau Maninjau, sedangkan butir dengan ukuran kecil akan mengalami proses transportasi jauh dari pusat letusan Gunung api. Butir tersebut menyimpan berbagai macam mineral salah satunya adalah mineral magnetik. Namun, mineral magnetik tersebut belum teridentifikasi.

Telah dilakukan penelitian mengenai penentuan suseptibilitas magnetik dan kandungan mineral magnetik yang dilakukan oleh (Fadila et al., 2020) di sekitar Kaldera Maninjau. Hasil dari penelitian ini adalah mineral magnetik yang berasal dari lokasi adalah *Maghemite* dan *Ilmenite*. Nilai suseptibilitas yang diperoleh berkisar antara $967.8 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ – $2187.0 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$. Penelitian tersebut menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter type MS2B*. Akan tetapi pada hasil penelitian tersebut belum terlihat bagaimana bentuk distribusinya ataupun pola distribusinya.

Oleh sebab itu, pada penelitian ini dilihat pola distribusi yang terjadi dengan memanfaatkan nilai suseptibilitas *low field* (χ_{lf}) dan data ketinggian. Nilai suseptibilitas *low field* tersebut merupakan dasar untuk melihat sebaran mineral

magnetik berupa kontur yang dibuat dengan bantuan aplikasi *Surfer 17*. Kemudian, dari nilai garis kontur ditentukan pola sebaran dari nilai suseptibilitas magnetik.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah diatas. Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Material vulkanik yang dikeluarkan menghasilkan 220-250 km³ dan tersebar sejauh 75 km dari pusat *caldera* Maninjau sehingga membentuk endapan material vulkanik.
2. Saat terjadinya letusan, material tersebut berpindah dari pusat Kaldera menuju daerah tertentu yang disebabkan oleh faktor angin yang datang dari manapun. Sehingga terbentuklah suatu pola persebaran yang diciptakan oleh Gunung api.
3. Terdapat banyak kandungan mineral magnetik yang tersimpan di dalam material vulkanik yang belum teridentifikasi.
4. Belum ada penelitian yang menganalisis pola sebaran material vulkanik yang dikeluarkan oleh letusan Gunung api purba terkhusus kepada Gunung api purba Maninjau.

C. Batasan Masalah

Mengingat luasnya cakupan penelitian, batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengamatan mulai dilakukan pada jarak 30 km dari pusat *caldera* Maninjau.
2. Jumlah sampel ada sebanyak 25 sampel yang dibedakan menjadi tiga golongan. Golongan pertama merupakan Batu apung. Golongan kedua merupakan Lava dan golongan ketiga merupakan *Ash*

3. Titik lokasi penelitian dibagi menjadi 4 *section*. Bagian Barat, Utara, Timur, dan Tenggara secara berturut-turut memiliki titik koordinat -0,34S – 99,959E; -0,177S-100,299E; -0,308S – 100,361E; -0,495S – 100,472E.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan diatas, maka dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini yaitu bagaimanakah bentuk pola sebaran *material* vulkanik disekitar Danau Maninjau berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik *low field*.

E. Tujuan Penelitian

Agar penelitian ini lebih terarah, maka adapun tujuan penelitian ini adalah Mengetahui pola sebaran dari hasil letusan Gunung api Maninjau dengan menggunakan data suseptibilitas magnetik *low field*.

F. Manfaat Penelitian

Beberapa hal yang diharapkan dalam penelitian yang dilakukan ini diantaranya:

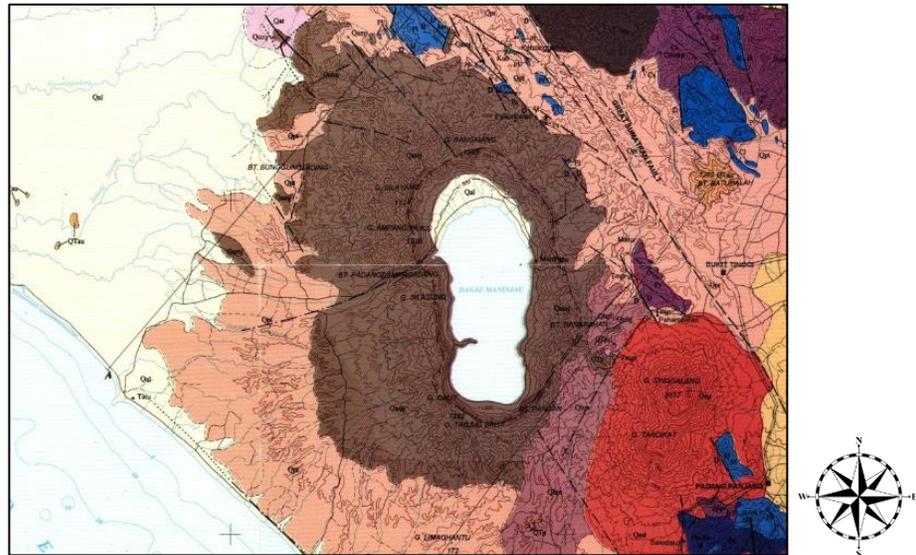
1. Memberikan informasi mengenai bentuk pola sebaran material vulkanik yang berada disekitar Danau Maninjau akibat letusan Gunung api purba yang tersebar sekitar radius 30 km.
2. Menambah pengetahuan dan wawasan dalam bidang kemagnetan batuan dan pengaplikasian materi *Rock Magnetism* selama perkuliahan.
3. Menjadi bahan rujukan serta pengembangan penilitian lanjutan disekitar Danau Maninjau.

BAB II KAJIAN TEORI

A. Kawasan Danau Maninjau

Maninjau merupakan salah satu nagari yang terdapat dalam Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Agam, Provinsi Sumatra Barat. Maninjau juga bertindak sebagai ibu kota kecamatan Tanjung Raya. Terletak 27 km dari Ibukota Kabupaten Agam, Lubuk Basung; 36 km dari Bukittinggi. Daerah Maninjau memiliki suatu Danau yang paling terkenal yaitu Danau Maninjau.

Danau Maninjau sendiri terletak di Kecamatan Tanjung Raya, Kabupaten Agam Sumatera Barat (Gambar 1) dan posisinya terletak pada 100°08'53,84" BT - 100°14'02,39" BT dan 0°14'52,50" - 0°24'12,17" LS. Berdasarkan peta iklim oleh Oldeman (1979) dan hidroklimat dasar, Kabupaten Agam dibagi atas 4 kelas curah hujan (Diskominfo Agam, 2017). Kabupaten Agam termasuk dalam daerah dengan curah hujan mencapai 2.500 – 3.500 mm/tahun dengan bulan kering selama 1 – 2 bulan berturut-turut. Dengan didasari pada pengamatan hujan 1983 – 2004, wilayah Danau Maninjau secara klimatologis berdasarkan Schmid dan Fergusson sangat basah dan berdasarkan klasifikasi Mohr termasuk wilayah basah. Kawasan Danau Maninjau, memanjang dari arah Utara ke Selatan dengan panjang 16,4 km dan lebar 7 km. Terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera Barat (Sumber: Kastowo, 1996).

Berdasarkan peta Geologi lembar padang, Sumatera Barat Danau Maninjau tersusun atas tuf Batu apung dan andesit (warna merah muda) dan batuan andesit dari Kaldera Maninjau (warna coklat) seluruh batuan tersebut berumur pleistosen atau 1,8 juta tahun yang lalu (Kastowo, dkk: 1996).

Danau Maninjau merupakan Danau tipe vulkano tektonik, yang diduga masih terdapat aktivitas vulkanik di daerah tersebut dengan ditandai munculnya belerang pada saat tertentu. Bentuk Kaldera yang memanjang menunjukkan masa erupsi yang lama pada waktu terjadi pergeseran lateral kanan pada jalur patahan utama Sumatera. Gunung Maninjau tidak memperlihatkan sebuah Gunung api sempurna, hanya berbentuk kerucut terpancung. Puncak-puncak Gunung yang tinggi hampir mengelilingi Kaldera Maninjau, terutama di Utara dengan ketinggian mencapai 1.500 meter Gunung Rangkian dan di Selatan dengan ketinggian mencapai 1.252 meter Gunung Tangjung Balit.

Daerah Danau Maninjau merupakan bagian dari sistem patahan besar Sumatera. Pada bagian tengah merupakan patahan utama yang aktif. Pergerakan-pergerakan pada patahan ini pada saat ini sudah diketahui di beberapa tempat seperti yang terakhir berasosiasi dengan gempa bumi tanggal 9 Maret 1997 di wilayah Pasaman, sekitar 75 km Utara Maninjau. Tubuh raksasa Gunung api Maninjau diperkirakan berasal dari Gunung api yang berbeda atau dari sebuah Gunung api kompleks yang tersusun dengan arah Utara – Selatan. Berdasarkan bukti-bukti Geomorfologi dan kemiripan fenomena, maka aktivitas Gunung api Maninjau berangsur-angsur bergeser dari Utara ke Selatan. Tahapan pembentukan Danau Maninjau adalah sebagai berikut:

1. Pra-aktivitas Gunung api

Tahap ini adalah suatu masa ketika tekanan tektonik yang meningkat di sepanjang kawasan bagian barat Sumatera dan diikuti oleh pembentukan patahan-patahan. Di bagian Barat sepanjang Zona Patahan Besar Sumatera muncul patahan-patahan yang merencong dan berarah vertikal, khususnya di daerah Maninjau.

2. Pra-pembentukan Kaldera

Naiknya magma telah melahirkan sejumlah Gunung api, salah satu diantaranya adalah Gunung Maninjau, yang dapat mencapai ketinggian 3.000. meter. Pipa kepundannya secara berangsur-angsur berpindah-pindah dari Utara ke Selatan, yang juga merupakan pusat-pusat letusan. Melalui cara-cara tersebut sebuah Gunung api kompleks terbentuk, dan Gunung api pertama terbentuk di Utara mempunyai kerucut tertinggi dan terbesar, sebagaimana dapat dilihat dari geomorfologinya. Dengan cara yang sama aktifitas vulkanik ke arah Selatan ini juga telah mengakibatkan lahirnya Gunung api kembar yaitu Gunung Singgalang dan Gunung Tandikat.

3. Endapan Tufa di Sumatera Barat

Endapan merupakan hasil erupsi celah sistem patahan besar Sumatera. Kaldera Maninjau merupakan hasil dari tiga letusan utama yang meledakkan sampai hancur inti Gunung api sentral tersebut dan mengubur daerah sekitarnya dengan tufa.

4. Pembentukan Kaldera Maninjau dan Ganesa Lembah Antokan

Setelah magma asam disembur, tubuh raksasa Gunung api Maninjau terbongkar dari penyangganya dan mulai tenggelam. Gunung api tersebut berlokasi dekat dengan dapur magmanya. Oleh karena itu, Kaldera Maninjau adalah juga sisa Gunung api Maninjau yang telah mengalami perubahan amat besar sebagai hasil amblasan dan runtuhannya. Bersamaan dengan terjadinya perubahan-perubahan bentuk-bentuk lain di kedalaman dan ditambah dengan rekahan-rekahan konsentris yakni kerusakan-kerusakan radial di bagian barat dari tunuh Gunung api tersebut, serta diikuti oleh pelengkungan dan perosotan bagian permukaan yang membentuk lobang terobosan Antokan, maka selanjutnya terjadi proses lembah Antokan. Fenomena tubo belerang dimana munculnya belerang yang di Danau Maninjau pada waktu yang lalu diperkirakan tidak lepas dari sisa-sisa kegiatan vulkanis pada masa lalu.

Abu vulkanik memiliki ukuran diameter kurang dari 2 mm (0,079 inci), dihasilkan selama letusan magma yang memproduksi piroklastik (bebatuan vulkanik) yang berbeda-beda, tergantung pada proses erupsi. Beberapa jenis mineral muncul pada abu vulkanik, bergantung pada kandungan kimia dari magma Gunung api yang meletus.

Unsur yang paling berlimpah dalam magma adalah *Silika* (SiO_2) dan Oksigen. Letusan erupsi rendah dari *Basalt* (batuan beku) memproduksi karakteristik abu

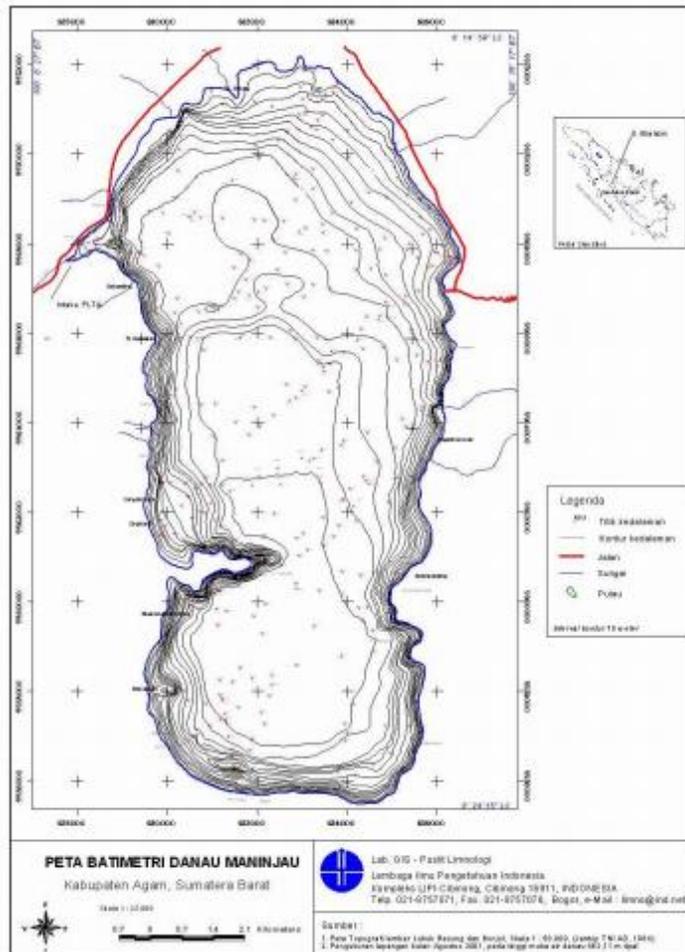
berwarna gelap yang mengandung 45-55 persen *Silika* yang kaya akan *Zat Besi* (Fe) dan *Magnesium* (Mg). Terdapat empat jenis mineral utama yang terkandung di dalam abu vulkanik, diantaranya: *Besi* (Fe), *Aluminium* (Al), *Magnesium* (Mg), *Silika* (Si). Gas-gas utama dilepaskan selama aktivitas Gunung api adalah air, *Karbon Dioksida*, *Sulfur Dioksida*, *Hidrogen*, Hidrogen Sulfida, Karbon Monoksida dan *Hidrogen Klorida*. Kandungan *Belerang* dan *Gas Halogen* serta logam ini dihapus dari atmosfer oleh proses reaksi kimia.

Batuan yang berukuran besar (bongkah kerikil) bahan biasanya jatuh di sekitar kawah sampai radius 5 hingga 7 km dari kawah. Sedangkan yang berukuran halus dapat jatuh dengan jarak mencapai ratusan bahkan ribuan kilometer dari kawah tergantung pada kecepatan angin (Suryani, 2014).

B. Geologi Danau Maninjau

Bentuk Danau Maninjau memanjang dari utara ke selatan dengan panjang maksimum xsekitar 17 km dan lebar sekitar 8 km. Danau ini memiliki satu pintu keluar (outlet) alami yaitu Batang Antokan, sungai yang mengalir ke arah barat menuju ke Samudra Hindia. Semakin kearah bagian selatan Danau, kedalaman semakin tinggi dengan lereng (*slope*) yang semakin curam. Titik terdalam Danau berada di cekungan bagian selatan sedalam 169 m. Kondisi hidrologi kawasan Danau secara umum dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu air permukaan dan air tanah (Nontji, 2016). Air permukaan di kawasan Danau sebagian besar mengalir melalui pola penyaluran yang telah terbentuk. Sumber air Danau Maninjau terutama berasal dari sungai-sungai yang mengalir sepanjang Daerah Tangkapan Air (Catchment Area) yang bermuara ke Danau selain juga dari air hujan (Nontji, 2016). Di kawasan Danau terdapat tujuh buah

sungai besar dan kecil yang mengalir terdiri dari Sungai Maransi, Karambiak, Sungai Asam, Sungai Kumayo, Balak, Limau Sundai, dan Sungai Muaro Pisang.



Gambar 2. Peta Batimetri Danau Maninjau (Sumber: Pusat Limnologi LIPI).

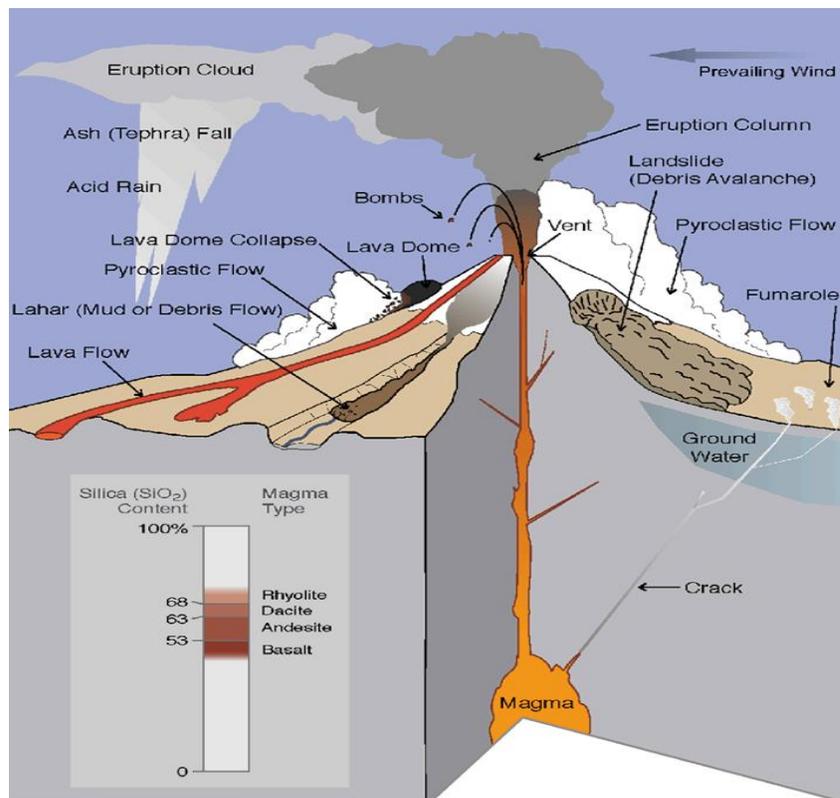
Berdasarkan Gambar 2 terlihat bahwa bagian Barat Laut dari Danau Maninjau terdapat rekahan yang menjadikan air Danau Maninjau keluar dari pusat Kaldera (Maisonneuve, 2019). Danau pada bagian Barat pada umumnya berpola bercabang (Nontji, 2016).

C. Erupsi Gunung api

Gunung api adalah lubang kepundan atau rekahan dalam kerak bumi tempat keluarnya cairan magma atau gas atau cairan lainnya ke permukaan bumi. Erupsi

Gunung api merupakan peristiwa yang dimana terjadi saat adanya pergerakan magma dari dalam perut bumi yang berusaha keluar ke permukaan bumi melalui pipa magma dari kawah Gunung api menuju mulur Gunung api. Gunungapi diklasifikasikan dalam beberapa sumber erupsi:

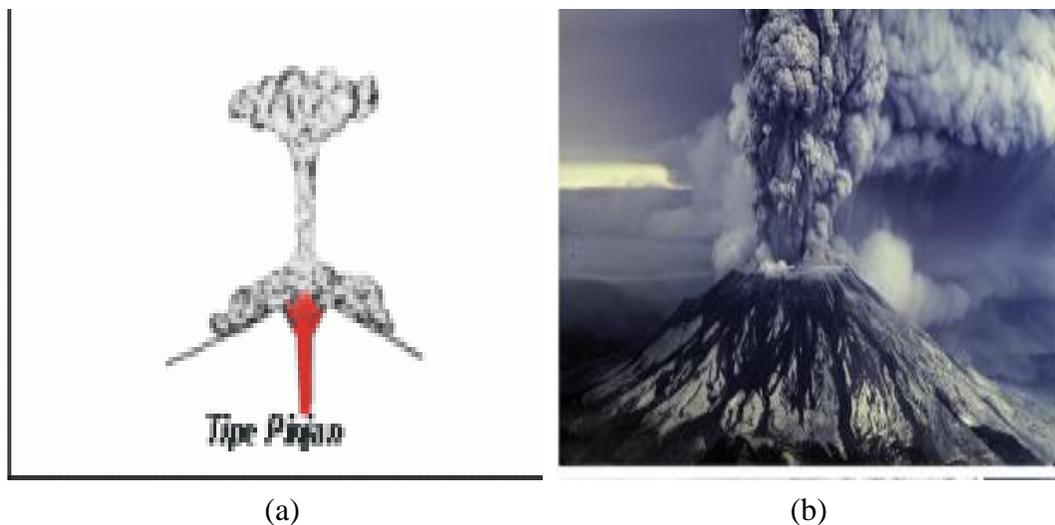
1. Erupsi pusat merupakan erupsi keluar melalui kawah utama
2. Erupsi samping merupakan erupsi yang keluar dari lereng tubuhnya.
3. Erupsi celah merupakan erupsi yang muncul pada retakan atau sesar dapat memanjang sampai beberapa kilometer.
4. Erupsi eksentrik merupakan erupsi samping tetapi magma yang keluar bukan dari kepundan pusat yang menyimpang ke samping melainkan langsung dari dapur magma melalui kepundan tersendiri.



Gambar 3. Penampang Gunung api (Sumber : Clynne, 2012)

Berdasarkan tinggi rendahnya derajat fragmentasi dan luasnya, juga kuat lemahnya letusan serta tinggi tiang asap, maka Gunungapi tipe erupsi : tipe Hawaian, Strombolian, Plinian, sub-Plinian, Ultra Plinian Vulkanian Surteseyan dan Freatoplinian. Namun, berdasarkan endapan dan sebaran material vulkaniknya Gunung api Maninjau termasuk kedalam tipe Plinian dan Sub-plinian (Gambar 3). Gunung api tersebut mengalami erupsi yang terjadi secara terus menerus (Pribadi, 2007) menyebabkan dinding Gunung api tersebut menjadi runtuh. Reruntuhan tersebut yang dinamakan dengan *Caldera*.

1. Tipe Plinian, merupakan erupsi yang sangat eksplorisif dari magma berviskositas tinggi atau magma asam, komposisi magma bersifat andesitik sampai riolitik. *Material* yang di erupsikan berupa batuanapung dalam jumlah besar.
2. Tipe Sub Plinian merupakan erupsi eksplorisif dari magma asam atau riolitik dari Gunungapi strato, tahap erupsi efusifnya menghasilkan kubah Lava riolitik. Erupsi subplinian dapat menghasilkan pembentukan ignimbrit.



Gambar 4. Kuat Lemahnya Letusan Serta Tinggi Tiang Asap, (a) Tipe Plinian (Sumber: Muryowihardjo, 1988); (b) Tipe Sub-plinian (Sumber: Cioni)

D. Singkapan Akibat Letusan Gunung Api

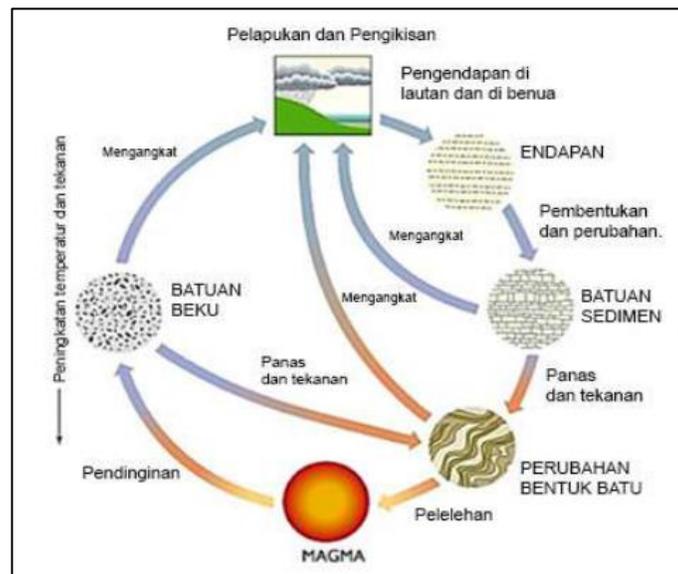
Sebuah singkapan merupakan bagian yang terlihat dari bukaan batuan dasar atau deposit superfisial purba pada permukaan Bumi (Howell, 1960). Singkapan tidak menutupi sebagian besar permukaan tanah di Bumi karena di sebagian besar tempat batuan dasar atau deposit superfisial tertutup oleh mantel dari tanah dan vegetasi sehingga tidak dapat dilihat atau diteliti dengan seksama. Namun, di tempat-tempat dimana tanah yang menutupi terhapus oleh erosi atau proses pengangkatan tektonik, bebatuan akan terbuka, atau tersingkap. Paparan tersebut sering kali terjadi di daerah di mana laju erosi lebih cepat dan melebihi laju pelapukan seperti pada lereng bukit yang curam, punggung dan puncak gunung, sungai, dan daerah yang aktif secara tektonik. Singkapan memungkinkan untuk dilakukannya penelitian secara langsung dan mengambil contoh in situ untuk analisis geologi dan pembuatan peta geologi. Singkapan juga bisa dijadikan bahan pembelajaran untuk melihat hasil letusan Gunung api yang tersimpan ribuan bahkan jutaan tahun yang lalu.

E. Batuan dan batuan vulkanik

Batuan adalah kumpulan dari mineral sejenis atau tak sejenis yang terikat secara gembur ataupun padat. Bedanya dengan mineral, batuan tidak memiliki susunan kimiawi yang tetap, biasanya tidak homogen. Lebih dari 700 tipe batuan beku telah berhasil dideskripsikan, sebagian besar terbentuk di bawah permukaan kerak bumi. Batuan mempunyai komposisi mineral, sifat-sifat fisik, dan umur yang beraneka ragam. Jarang sekali batuan yang terdiri dari satu mineral, namun umumnya merupakan gabungan dari dua mineral atau lebih. Batuan tidak perlu padat dan keras dan biasanya

merupakan agregat-agregat yang berukuran cukup besar, tetapi dapat pula dalam ukuran yang cukup kecil atau tersusun oleh benda gelas saja (Noor, 2009). Batuan dari segi asal dan keterdapatannya di lapangan dapat digolongkan menjadi 3 golongan besar, yaitu batuan beku, batuan sedimen, dan batuan metamorf. Perkembangan batuan mengikuti suatu siklus atau daur batuan.

Batuan beku vulkanik adalah batuan yang terbentuk sebagai hasil dari kegiatan Gunung api. Kegiatan Gunung api diartikan sebagai proses keluarnya magma dari dalam bumi ke permukaan. Batuan beku vulkanik dapat dikenal melalui dari tekstur, struktur dan komposisi mineral. Tekstur batuan vulkanik memberikan informasi mengenai proses pembekuan magma dan struktur batuan vulkanik mencirikan batuan tersebut intrusi atau ekstrusi, sedangkan komposisi mineral pada batuan beku vulkanik berkaitan dengan warna batuan dan asal magma batuan (Mulyaningsih, 2020). Siklus batuan dan pembentukan batuan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Siklus Pembentukan Batuan (Sumber: Noor, 2009).

Berdasarkan Gambar 5 merupakan Gambar siklus dari batuan, dalam siklus tersebut, batuan beku terbentuk sebagai akibat dari pendinginan dan pembekuan magma. Pendinginan magma yang berupa pelelehan silikat, akan diikuti oleh proses penghabluran (perubahan wujud zat, dari gas menjadi padat) yang dapat berlangsung dibawah atau diatas permukaan bumi melalui erupsi Gunung berapi. Kelompok batuan beku tersebut, apabila kemudian tersingkap dipermukaan, maka akan bersentuhan dengan atmosfer dan hidrosfir, yang menyebabkan berlangsungnya proses pelapukan (Noor, 2009). Melalui proses ini batuan akan mengalami penghancuran. Selanjutnya, batuan yang telah dihancurkan ini akan berpindah dari tempatnya terkumpul karena adanya gaya berat yang dibantu dengan adanya air yang mengalir diatas dan dibawah permukaan, angin yang bertiup, gelombang dipantai dan gletser dipegunungan-pegunungan yang tinggi. Media pengangkut tersebut juga dikenal sebagai alat pengikis, yang dalam prosesnya berupaya untuk meratakan permukaan bumi. Bahan-bahan yang diangkutnya baik itu berupa fragmen-fragmen atau bahan yang larut, kemudian akan diendapkan ditempat-tempat tertentu sebagai sedimen (Noor, 2009).

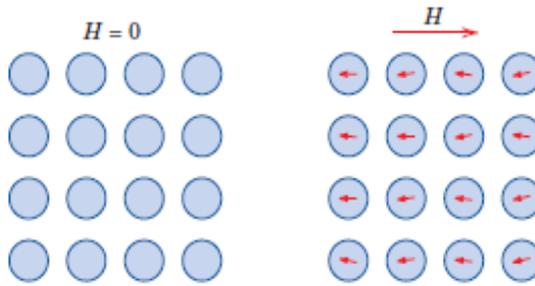
F. Kemagnetan Batuan

Rock Magnetism adalah salah satu ilmu yang digunakan untuk menyelidiki kondisi permukaan bumi dengan memanfaatkan sifat kemagnetan batuan yang diidentifikasi oleh kerentanan magnet batuan. Sifat kemagnetan pada suatu bahan dipengaruhi oleh pergerakan elektron dari atom. Setiap atom yang bergerak memiliki momen magnetik. Momen magnetik suatu atom merupakan penjumlahan secara vektor dari momen magnetik semua elektron dalam atom tersebut. Momen magnetik dari

elektron-elektron tersebut berlawanan sehingga momen magnetiknya saling menghilangkan, maka secara keseluruhan atom tersebut tidak memiliki momen magnetik. Momen magnetik tersebut jika hanya mengalami kehilangan momen magnetiknya sebagian, maka atom tersebut mempunyai momen magnetik. Kondisi tersebut menimbulkan perbedaan sifat magnetik pada suatu bahan. Sifat magnet pada batuan dipengaruhi oleh kandungan mineral pada batuan tersebut. Sifat magnetik pada mineral ini dikaji secara mendalam dalam bidang paleomagnetisme atau kemagnetan purba. Stabilitas magnetisasi pada suatu batuan sangat tergantung pada jenis mineral dan ukurannya. Sifat magnetik pada batuan ini juga berperan dalam metode geomagnetik untuk eksplorasi.

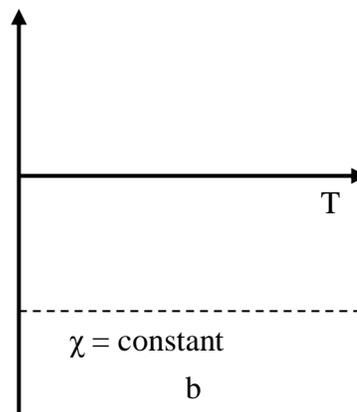
1. Diamagnetik

Diamagnetik merupakan mineral alam yang tidak mempunyai momen magnetik, sehingga kemagnetannya sangat lemah. Atom-atom bahan Diamagnetik mempunyai kulit elektron terisi penuh. Setiap elektron berpasangan dan mempunyai spin yang berlawanan dalam tiap pasangan, sehingga tidak mempunyai momen magnetik. Jika ada medan magnet dari luar yang menginduksi bahan itu, maka elektron tersebut akan berputar dan menghasilkan medan magnet lemah yang melawan medan penginduksinya seperti yang disebutkan dalam Hukum Lenz. Oleh karena itu, bahan Diamagnetik mempunyai susceptibilitas negatif dan tidak bergantung pada medan H . Perhatikan Gambar 5 untuk melihat bentuk magnetisasi bahan Diamagnetik.



Gambar 6. Bentuk Magnetisasi Bahan Diamagnetik (Sumber: Callister, 2009).

Gambar 6 menunjukkan bahwa sebelum bahan magnetik dikenakan medan luar ($H = 0$), arah momen magnetiknya bersifat acak. Jika bahan magnetik tersebut diberikan medan luar ($H \neq 0$), yang ditandai dengan tanda panah berwarna hitam maka arah momen magnetiknya (panah putih) melawan arah medan luar yang diberikan. Tetapi setelah medan luar dihilangkan maka momen magnetiknya akan kembali acak. Perhatikan Gambar 7 untuk melihat grafik magnetisasi (M) terhadap medan magnet (H) yang diberikan.



Gambar 7. Suseptibilitas (χ) Tidak Tergantung Pada Temperatur (T) Untuk Bahan Diamagnetik (Sumber: Fitriawan, 2017).

Berdasarkan Gambar 7 menunjukkan nilai suseptibilitas pada bahan Diamagnetik kecil dan bernilai negatif, yaitu sekitar -1×10^{-5} dalam satuan

internasional (SI) (Jiles, 1991). Temperatur konstan dan medan magnet yang lemah, nilai suseptibilitas akan bernilai konstan. Kondisi ini disebut keadaan linear, yaitu H berbanding lurus terhadap M . Bahan Diamagnetik seperti Bismuth, Gypsum, Marmer, Kuarsa dan Garam.

Suatu *material* dapat bersifat magnet apabila susunan atom dalam bahan tersebut mempunyai spin elektron yang tidak berpasangan. Dalam *material* Diamagnetik hampir semua spin elektron berpasangan, sehingga resultan medan magnet atomik dari masing-masing atom atau molekul adalah nol. Permeabilitas bahan ini adalah $\mu < \mu_0$ dengan suseptibilitas magnetik bahan $\chi_m < 0$ (orde 10^{-5}) (Halliday *et al.* 2010).

Suseptibilitas magnetik adalah salah satu parameter magnetik yang merupakan ukuran mudah tidaknya suatu bahan untuk termagnetisasi jika bahan tersebut dikenakan medan magnetik luar. Jika magnetisasi (\vec{M}) yang diperoleh suatu bahan sejajar dan sebanding dengan medan magnet luar (\vec{H}), konstanta kesebandingannya merupakan suseptibilitas magnetik persatuan massa (χ) dan dihubungkan melalui persamaan berikut:

$$\vec{M} = \chi \vec{H} \quad (1)$$

Dalam satuan internasional (SI), \vec{M} dan \vec{H} mempunyai satuan A/m sehingga χ merupakan besaran yang tidak berdimensi. Persamaan (1) menunjukkan bahwa untuk \vec{M} dan \vec{H} yang sejajar dan sebanding, suseptibilitas magnetik merupakan suatu besaran skalar (Dearing, 1997). Magnetisasi adalah sebuah proses ketika sebuah materi yang ditempatkan dalam suatu bidang magnetik akan menjadi magnet (Sadhily, 19,86).

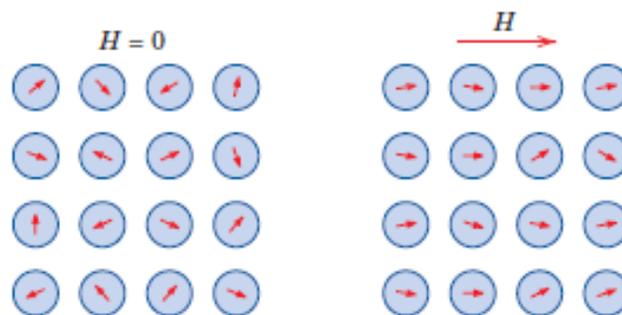
Proses ini ditentukan oleh jenis bahan yang disesuaikan dengan kekuatan medan magnet sesuai dengan persamaan 2.

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (2)$$

Dimana μ merupakan permeabilitas suatu bahan (Tm/At), B merupakan kerapatan fluks per meter persegi (*Tesla*) dan H merupakan kuat medan magnet dalam satuan amper-turn per meter (At/m).

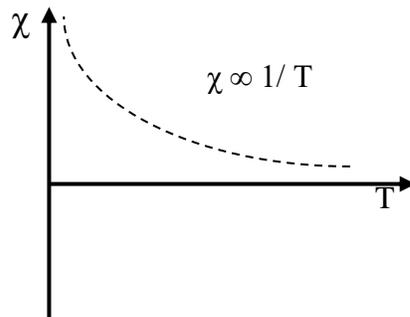
2. Paramagnetik

Bahan Paramagnetik merupakan bahan yang memiliki sifat kemagnetan yang sedang, jika tidak ada medan luar ($H = 0$), setiap atom memiliki momen magnetik dan arahnya bersifat acak sehingga resultannya tersebut menunjukkan bahan Paramagnetik memiliki momen magnetik yang lemah dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Momen Magnetik Paramagnetik (Sumber: Callister, 2009).

Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahan Paramagnetik menghasilkan induksi magnetik yang searah dengan medan magnet (H) yang digunakan (Butler, 1998). Momen magnetiknya akan kembali acak apabila medan luar di hilangkan.



Gambar 9. Suseptibilitas (χ) Tergantung Pada Temperatur (T) Untuk Bahan Paramagnetik (Sumber: Fitriawan, 2017).

Berdasarkan Gambar 9 Paramagnetik mempunyai suseptibilitas magnetik (χ) tergantung pada temperatur. Paramagnetik memiliki suseptibilitas magnetik (χ) kecil dan positif ($\chi \approx 10^{-3}$ sampai 10^{-5}). Paramagnetik mempunyai suseptibilitas magnetik (χ) tergantung pada temperatur (Butler, 1998) dan pada medan induksi yang rendah, sehingga pada temperatur tertentu dan di dalam medan magnet yang rendah, M berbanding lurus terhadap H (Jiles, 1991). Jenis bahan Paramagnetik adalah *Piroksen*, *Olovin*, *Garnet*, *Amfibolit* dan *Biotit*, *Aluminium*, *Platina* dan *Mangan*.

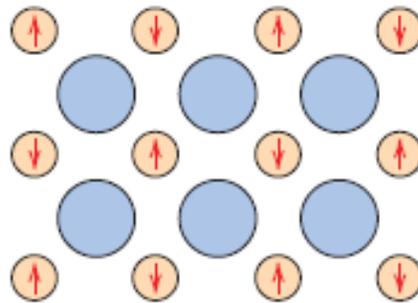
3. Ferromagnetik

Bahan logam tertentu memiliki momen magnet permanen tanpa adanya medan luar, dan mempunyai magnetisasi yang sangat besar dan permanen. Karakteristik ferromagnetisme, ditunjukkan pada transisi logam besi (seperti *Ferrite*), *Kobalt*, *Nikel*, dan beberapa logam tanah (Callister, 2009).

Bahan Ferromagnetik termagnetisasi dengan baik, sehingga bahan Ferromagnetik menjadi sangat kuat. Bahan Ferromagnetik memiliki nilai Suseptibilitas magnetik (χ) positif dan besar ($\chi \approx 50$ sampai 10^4), merupakan kelompok bahan yang termagnetisasi secara spontan meskipun tidak diberikan medan magnetik. Bahan

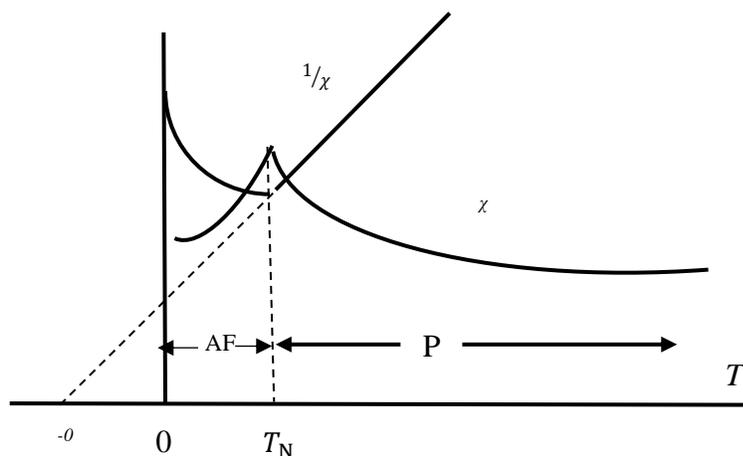
Ferromagnetik akan kehilangan sifat menjadi Paramagnetik apabila dipanaskan di atas suhu *currie* (Buttler, 1998). Bahan Ferromagnetik masih menyimpan remanen magnetik, meskipun medan magnetnya dihilangkan (Dunlop dan Ozdemir, 1997). Karakteristik seperti inilah yang membuat bahan Ferromagnetik mampu merekam medan magnet purba.

4. Antiferromagnetik



Gambar 10. Momen Magnetik Antiferromagnetik (Sumber: Callister, 2009).

Berdasarkan Gambar 10, Bahan antiferromagnetik memiliki sub-domain paralel dan antiparalel, namun momen magnetiknya identik dengan nilai magnetisasi spontan nol (Thompson dan Oldfield, 1986).



Gambar 11. Suseptibilitas (χ) Tergantung Pada Temperatur (T) Untuk Bahan Antiferromagnetik (Sumber: Cullity, 2011).

Bahan antiferromagnetik, yaitu bahan yang mempunyai susceptibilitas positif yang kecil pada segala suhu dengan perubahan susceptibilitas bergantung suhu karena keadaan khusus. Pada umumnya keteraturan antiferromagnetik berada pada suhu yang cukup rendah kemudian menghilang diatas suhu tertentu. Suhu Neel adalah suhu yang menandai perubahan sifat magnet dari Antiferromagnetik ke Paramagnetik.

5. Ferrimagnetik

Ferrimagnetik sangat mirip dengan Ferromagnetik dan sangat sulit membedakan antara kedua sifat tersebut bahkan dengan menggunakan teknik pengukuran magnetik. Bahan ferrimagnetik membawa remanen magnetik di bawah suhu kritis, yang disebut suhu *Curie* atau *Neel*, akan bersifat Paramagnetik di atas suhu ini (Thompson dan Oldfield, 1986). Bahan ferrimagnetik memiliki nilai susceptibilitas tinggi tetapi lebih rendah dari bahan feromagnetik. Beberapa contoh dari bahan feromagnetik yaitu *ferriete* dan *Magnetite*.

G. Mineral Magnetik

Mineral merupakan senyawa alam yang terbentuk melalui berbagai proses geologis, merupakan bahan padatan organik yang terbentuk dari reaksi-reaksi kimia secara alamiah. Sifat kemagnetan suatu mineral magnetik ada yang mempunyai sifat kemagnetan yang lemah (Diamagnetik), Sedang (Paramagnetik) dan Kuat (Ferromagnetik). Berdasarkan ketiga sifat bahan magnetik hanya untuk mineral tergolong Ferromagnetik yang disebut sebagai mineral magnetik

Beberapa mineral magnetik seperti *Magnetite* (Fe_3O_4), *Hematite* ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$) dan *Maghemite* ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$) tergolong kedalam mineral oksida titanium besi. *Greigite* (Fe_3S_4)

dan *Pyrrhotite* (Fe_7S_8) merupakan kelompok mineral magnetik dari keluarga sulfida besi, sedangkan *Goethite* (αFeOOH) tergolong kedalam mineral hidroksida besi. Keluarga Oksida Titanium merupakan mineral magnetik bumi yang penting karena dianggap sebagai mineral magnetik yang paling dominan..

1. Kelompok Oksidasi Besi

Ada beberapa mineral magnetik yang merupakan kelompok oksida besi, diantaranya yaitu:

a. *Magnetite* (Fe_3O_4)

Magnetite merupakan salah satu mineral yang dapat ditemukan pada batuan beku, sedimen dan metamorf. *Magnetite* dapat merekam magnetisasi remanen alami yang stabil dan merupakan mineral magnetik yang kuat (Buttler, 1998). *Magnetite* memiliki bentuk kubus, berwarna hitam gelap dengan permukaan kebiru-biruan. Batuannya sangat berat dan keras, tidak terbelah, tidak tembus cahaya dan menunjukkan kilauan logam. *Magnetite* bersifat ferimagnetik dengan temperatur *Curie* 575-585 °C dan memiliki magnetisasi 90 Am^2/kg sampai 92 Am^2/kg (Hunt, 1995).

b. *Hematite* ($\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$)

Hematite tersebar luas di sekitar alam terutama pada tanah dan sedimen. *Hematite* memiliki sifat tidak tembus cahaya, lapisannya berwarna merah gelap dan akan meleleh apabila dipanaskan dalam larutan asam hidrolis. Pada umumnya *Hematite* bersifat masif, massanya berisi butir-butiran, permukaannya berwarna-warni dan warna batuan merah kecoklatan (Evan dan Heller, 2003). Mineral *Hematite*

bersifat Ferromagnetik dengan magnetisasi sebesar $0.4 \text{ Am}^2/\text{kg}$ dan temperatur *Curie* $675 \text{ }^\circ\text{C}$ (Hunt, 1995).

c. *Maghemite* ($\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$)

Mineral *maghemite* diidentikan memiliki rumus kimia yang sama dengan *Hematite* karena kedua jenis mineral ini mirip dan terletak di posisi yang sama pada diagram *ternary*, tidak memiliki bentuk magnetik atau susunan kristal yang sama. *Maghemite* teroksidasi penuh dari *magnetite*, mempunyai struktur kristal kubus dan banyak ditemukan pada tanah (Evans dan Heller, 2003). Temperatur *Curie* sekitar $\sim 600^\circ\text{C}$ dan magnetisasi saturasi sebesar $70\text{-}80 \text{ Am}^2/\text{kg}$ (Hunt, 1995).

d. *Ilmenite* (FeTiO_3)

Ilmenit adalah mineral yang mempunyai rumus kimia FeTiO_3 . Mineral ini dapat digunakan sebagai bahan baku untuk membuat pigmen TiO_2 , logam besi dan senyawa senyawa kimia yang mengandung besi. Di Industri, TiO_2 banyak digunakan sebagai pigmen untuk Cat, bahan aditif pada proses pembuatan kertas, bahan baku keramik, bahan baku industri Farmasi dan akhir akhir ini TiO_2 juga banyak digunakan untuk bahan fotokatalis yaitu sebagai katalis yang dapat menguraikan bahan pewarna organik dengan bantuan sinar ultra violet (Tsuchida, et. al, 1982; Subagja, 2016).

Mineral ini bersifat antiferromagnetik dengan suhu currie sekitar 233°C . (Hunt, 1995). *Ilmenite* merupakan mineral magnetik yang bersifat anisotropi memiliki sifat fisik yang berbeda-beda jika dilihat pada semua keadaan. *Ilmenite* pada umumnya tersebar pada batuan dan pasir dan memiliki bentuk kristal yang berbentuk heksagonal.

2. Kelompok Sulfida Besi

a. *Greigite*

Salah satu mineral yang termasuk kedalam kelompok sulfida besi adalah *Greigite* (Fe_3S_4). *Greigite* merupakan mineral Sulfida besi yang ekuivalen dengan *magnetite*. Mineral ini memiliki struktur mineral kubus dan bersifat Ferrimagnetik. *Greigite* umumnya ditemukan dalam sedimen *lacustrine* dan *marine* (Evans dan Heller, 2003). *Greigite* mempunyai magnetisasi Saturasi sebesar $\sim 25 \text{ Am}^2/\text{kg}$ dan suhu currie 333°C (Hunt, 1995).

b. *Pyrrhotite*

Pyrrhotite (Fe_7S_8) merupakan mineral yang bersifat ferrimagnetik memiliki temperatur currie sebesar 320°C dan memiliki magnetisasi saturasi sebesar 20°C (Hunt, 1995). Mineral ini merupakan perubahan komposisi dari *Greigite*.

3. Kelompok Hidroksida Besi

Salah satu mineral yang termasuk kedalam kelompok hidroksida besi adalah mineral *Goethite* (αFeOOH). Mineral *Goethite* memiliki struktur mineral heksagonal dan bersifat antiferromagnetik. Mineral *Goethite* pada umumnya banyak ditemukan pada tanah dan sedimen (Evans dan Heller, 2003). *Goethite* atau *Iron Oxyhydroxide* memiliki magnetisasi saturasi sebesar $< 1 \text{ Am}^2/\text{kg}$ dan temperatur *Curie* $\sim 120^\circ\text{C}$ (Hunt, 1995).

H. Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik adalah salah satu parameter magnetik yang merupakan ukuran mudah tidaknya suatu bahan untuk termagnetisasi jika bahan tersebut

dikenakan medan magnetik luar. Jika magnetisasi (\vec{M}) yang diperoleh pada suatu bahan sejajar dan searah dengan medan magnet luar (\vec{H}), konstanta kesebandingannya merupakan suseptibilitas magnetik persatuan massa (χ).

Nilai χ merupakan parameter dasar yang digunakan pada metode kemagnetan batuan. Nilai suseptibilitas magnetik pada batuan semakin besar, jika pada batuan tersebut ditemukan banyak mineral magnetik. Karakteristik dan kandungan mineral batuan adalah faktor yang mempengaruhi harga suseptibilitas suatu bahan (Telford et al, 1990). Suseptibilitas magnetik pada dasarnya bergantung dari konsentrasi mineral magnetik, komposisi mineral magnetik, ukuran dan bentuk bulir (*grain*), serta domain (Dearing, 1997). Nilai suseptibilitas magnetik dapat menentukan sifat kemagnetan dan jenis mineral magnetik yang terkandung di dalam bahan. Dalam satuan internasional (SI), \vec{M} dan \vec{H} mempunyai satuan A/m sehingga χ merupakan besaran yang tidak berdimensi.

Pengukuran suseptibilitas magnetik dapat dilakukan hampir pada semua bahan. Suseptibilitas magnetik yang diukur pada suatu rentang medan magnetik tertentu akan memberikan hubungan magnetisasi dengan medan tersebut. Hubungan ini dapat memberikan hubungan yang linear atau tidak linear bergantung pada besar medan magnetik yang digunakan. Suseptibilitas magnetik yang diukur menggunakan *susceptibility meter* merupakan suseptibilitas magnetik ekstrinsik atau suseptibilitas magnetik semu (*Apparent Magnetic Susceptibility*) dan bukan suseptibilitas intrinsik. Perbedaan antara suseptibilitas magnetik ekstrinsik dan intrinsik disebabkan oleh

adanya pengaruh *self-demagnetization* pada bahan. Kandungan mineral pada suatu bahan mempengaruhi nilai suseptibilitasnya.

Hubungan nilai suseptibilitas magnetik dengan sifat kemagnetan dan jenis mineral magnetik dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Suseptibilitas Magnetik Berbagai Mineral.

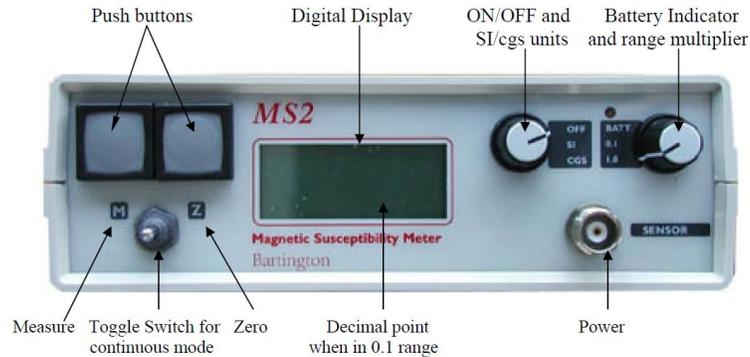
Mineral Magnetik			
Tipe Mineral	Sifat Kemagnetan	Suseptibilitas Magnetik	
		Volume (x 10 ⁻⁶ SI)	Massa (x 10 ⁻⁸ m ³ /kg)
<i>Magnetite</i> (Fe ₃ O ₄)	Ferrimagnetik	1.000.000 - 5.700.000	20.000 - 110.000
<i>Hematite</i> (αFe ₂ O ₃)	Antiferromagnetik	500 - 40.000	0 - 760
<i>Maghemite</i> (γFe ₂ O ₃)	Ferrimagnetik	2.000.000 - 2.500.000	40.000 - 50.000
<i>Ilmenite</i> (FeTiO ₃)	Antiferromagnetik	2.200 - 3.800.000	46 - 80.000
<i>Pyrite</i> (FeS ₂)	Ferrimagnetik	35 - 5.000	1 - 100
<i>Pyrrhotite</i> (Fe ₇ S ₈)	Ferrimagnetik	3.200.000	69.000
<i>Goethite</i> (αFeOOH)	Antiferromagnetik	1.100 - 12.000	26 - 280
Mineral Non Magnetik			
Kuarsa (SiO ₂)	Diamagnetik	13 - 17	0,5 - 0,6
Kalsit (CaCO ₃)	Diamagnetik	7,5 - 39	0,3 - 1,4
<i>Halite</i> (NaCl)	Diamagnetik	10 - 16	0,48 - 0,75
<i>Galena</i> (PbS)	Diamagnetik	33	0,44

(Sumber: Hunt, 1995).

I. Bartington Magnetic Susceptibility System B (MS2B)

Prinsip kerja dari alat ini merupakan sirkuit elektromagnetik yang berfungsi mendeteksi perubahan induktansi ketika sampel ditempatkan di dalam kumparan tersebut. Instrumen ini terdiri dari sensor MS2B dengan diameter internal 35 mm dan terhubung dengan MS2 meter yang bekerja berdasarkan perubahan induktansi *coil* akibat adanya sampel yang dimasukkan. Instrumen ini menggunakan medan magnet

lemah 80 A/m rms dan dapat mengukur pada frekuensi rendah 470 Hz dan frekuensi tinggi 4700 Hz (Dearing, 1997).



Gambar 12. Bartington *Magnetic Susceptibility* (Sumber: Dearing, 1979).

Gambar 12 merupakan bentuk alat dari *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* dengan *MS2 System*. Peralatan sensor ini bekerja karena adanya tegangan yang diberikan pada rangkaian *Oscillator* sehingga menimbulkan medan magnetik bolak balik yang berintensitas rendah pada ruang sampel. Selanjutnya pada ruang ini diletakan sampel yang mengakibatkan perubahan frekuensi *Oscillator*. Nilai suseptibilitas sampel diperoleh dengan membandingkan frekuensi *Oscillator* sebelum dan sesudah sampel diletakan. Instrumen ini dapat mengukur harga suseptibilitas dari 1×10^{-6} sampai 9999×10^{-6} dalam satuan SI (m^3/kg) atau $1,26 \times 10^{-5}$ sampai $1,26 \times 10^{-1}$ dalam satuan SI (m^3/kg). Nilai suseptibilitas magnetik dapat dihitung persatuan volume atau persatuan massa.

Bartington Magnetic Susceptibility Meter tipe sensor *MS2B* (dual frekuensi), menggunakan sensor yang memiliki diameter internal dan keakuratan tinggi pada sensor diperoleh jika bentuk sampel yang akan digunakan berupa butiran kecil atau sampel cair, sesuai dengan ketentuan di atas (Dearing, 1997). Penggunaan frekuensi

rendah apabila digunakan untuk mengukur suseptibilitas magnetik pada bahan secara keseluruhan, sedangkan jika menggunakan frekuensi tinggi maka pada bagian dalam bahan tidak akan terdeteksi karena daya tembus yang rendah (Dearing, 1997). Spesifikasi *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* tipe *MS2B* (Tabel 2).

Tabel 2. Spesifikasi Susceptibility Meter MS2B

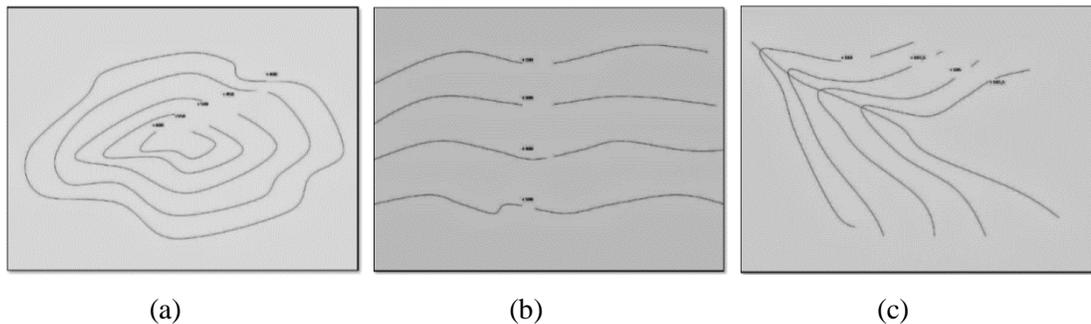
No.	Spesifikasi	Keterangan
1.	Resolusi	2×10^{-8} SI (2×10^{-7} cgs (m^3/g)) pada kisaran 0,1
2.	Akurasi kalibrasi	1 % (10 ml sampel kalibrasi yang tersedia)
3.	Periode pengukuran	1,2 detik pada kisaran x1,12 detik pada kisaran x 0,1
4.	Frekuensi operasi	0,465 kHz dan 4,65 kHz
5.	Bahan pelindung	ABS
6.	Bobot	0,8 kg
7.	Ukuran	200 x 110 x 110 mm

Bartington Magnetic Susceptibility Meter tipe sensor *MS2B* tersebut dapat melakukan dua jenis pengukuran yaitu pengukuran suseptibilitas magnetik massa dan suseptibilitas magnetik volume serta dapat menentukan *susceptibility low-field* dan *susceptibility high-field*.

J. Peta Kontur

Peta adalah Gambaran bumi yang diproyeksikan pada bidang datar dan dilengkapi dengan skala. Peta (*map*) berasal dari bahasa Yunani “mappa” yang artinya taplak atau kain penutup meja. Peta merupakan wahana bagi penyimpanan dan penyajian data kondisi lingkungan, merupakan sumber informasi bagi para perencana dan pengambilan keputusan pada tahapan pada tingkatan pembangunan. Pada peta kontur dilengkapi dengan garis kontur yang juga diberi label ketinggian garis serta interval kontur setiap kelipatan lima. Garis kontur adalah garis khayal dilapangan yang menghubungkan titik dengan nilai yang sama pada suatu lintasan tertentu.

Peta kontur tidak hanya memproyeksikan bidang ketinggian yang sama, akan tetapi dapat juga memproyeksikan suatu nilai yang sama pada suatu lintasan tertentu. Misalnya, pada nilai suseptibilitas yang sama dinamakan *Isosusceptibility*, atau pada nilai gravitasi yang sama disebut dengan *Isogravity*, atau pada nilai yang sama disebut dengan *Isovalue*. Garis kontur ini merupakan ciri khas yang membedakan peta topografi dengan peta lainnya dan digunakan untuk *penggambaran* relief atau tinggi rendahnya permukaan bumi yang dipetakan. Berikut Gambar peta kontur berdasarkan variabel ketinggian:



Gambar 13. Garis Kontur Berdasarkan Variabel ketinggian, (a) Garis Kontur Sebuah Bukit; (b) Garis Kontur Daerah Datar; (c) Garis Kontur Daerah Sungai (Sumber: Solekhan, 2016).

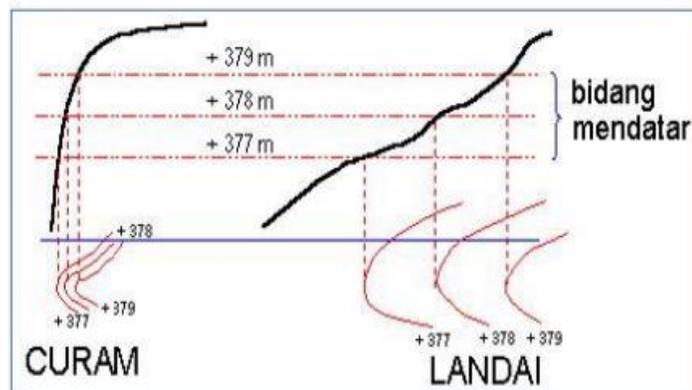
Nama lain dari garis kontur adalah garis *tranches*, garis tinggi dan garis tinggi horizontal. Garis tinggi 25 m, artinya garis kontur ini menghubungkan titik-titik yang mempunyai ketinggian yang sama +25m terhadap tinggi tertentu. Garis kontur disajikan diatas peta untuk memperlihatkan naik turunnya keadaan permukaan tanah. Garis-garis kontur merupakan cara yang banyak dilakukan untuk melukiskan bentuk permukaan tanah dan ketinggian pada peta, karena memberikan ketelitian yang lebih baik. Cara lain untuk melukiskan bentuk permukaan tanah yaitu dengan cara *hachures* dan *shadding*. Bidang pembanding ini dipakai umumnya adalah tinggi muka air laut

rata-rata, dan ini diambil dan disepakati sebagai titik ketinggian nol. Indeks kontur adalah garis kontur yang dicetak besar dalam peta, yang merupakan kelipatan sepuluh dari interval kontur.

1. Sifat-sifat garis kontur

Garis kontur pada prinsipnya adalah suatu perwujudan dari perpotongan antara suatu benda dengan suatu bidang datar, yang dilihat dari atas. Maka Garis kontur mempunyai sifat sebagai berikut :

- Garis kontur tidak pernah saling berpotongan, kecuali dalam keadaan ekstrim seperti tebing yang menggantung.
- Garis kontur akan merenggang kalau topografi landau dan merapat kalau curam.
- Garis kontur tidak akan bertemu atau menyambung dengan garis kontur yang bernilai lain.
- Pada lembah garis kontur akan meruncing kearah hulu.



Gambar 14. Kerapatan Garis Kontur Pada Daerah Curam dan Landai (Sumber: Rivaldi, 2010)

2. Penentuan besarnya kontur-kontur

Besarnya interval kontur ditentukan oleh :

- Skala peta, makin besar skala peta, interval konturnya makin kecil.

- b. Variasi relief, makin besar variasi relief, makin kecil intervalnya.

Interval kontur semakin kecil mengakibatkan makin banyak detail yang diperlihatkan. Dalam pemilihan besarnya interval kontur harus disesuaikan dengan kebutuhan data yang dikeluarkan. Interval kontur biasanya diambil sebesar 1/2000 dari skala peta. Misalnya peta yang berskala 1 : 25.000 akan mempunyai interval kontur sebesar 12,5 m.

3. Interval kontur

Dalam penarikan antara kontur yang satu dengan kontur yang lain didasarkan pada besarnya perbedaan ketinggian antara kedua buah kontur yang berdekatan dan perbedaan ketinggian tersebut disebut dengan, "Interval Kontur" (*Contour interval*). Interval kontur adalah jarak tegak antara dua garis kontur yang berdekatan. Jadi juga merupakan jarak antara dua bidang mendatar yang berdekatan. Pada suatu peta topografi interval kontur dibuat sama, berbanding terbalik dengan skala peta. Semakin besar skala peta, jadi semakin banyak informasi yang tersajikan, interval kontur semakin kecil (Solekhan, 2016). Rumus untuk menentukan interval kontur pada suatu peta kontur adalah:

$$\text{Interval kontur} = \frac{1}{2000} \times \text{skala peta} \quad (3)$$

Tabel 3. Interval dan indeks kontur.

Skala Peta	Interval Kontur	Indeks Kontur
1 : 10.000	5 meter	25 meter
1 : 25.000	12,5 meter	50 meter
1 : 50.000	25 meter	100 meter
1 : 100.000	50 meter	200 meter
1 : 250.000	100 meter	500 meter

(Sumber: Solekhan, 2016)

Kontur digambarkan dengan interval vertikal yang reguler. Interval kontur adalah jarak vertikal antara 2 garis ketinggian yang ditentukan berdasarkan skalanya. Besarnya interval kontur sesuai dengan skala peta dan keadaan di muka bumi. Interval kontur selalu dinyatakan secara jelas di bagian bawah tengah di atas skala grafis. Dengan demikian kontur yang dibuat antara kontur yang satu dengan yang lain yang berdekatan selisihnya 2,5 m.

Penarikan kontur dilakukan dengan cara perkiraan (interpolasi) antara besarnya nilai titik-titik ketinggian yang ada dengan besarnya nilai kontur yang ditarik, artinya antara dua titik ketinggian dapat dilewati beberapa kontur, tetapi dapat juga tidak ada kontur yang melewati dua titik ketinggian atau lebih. Semakin besar perbedaan angka ketinggian antara dua buah titik tersebut, maka semakin banyak dan rapat kontur yang memalau titik tersebut, yang berarti daerah tersebut memiliki daerah yang lerengnya terjal, sebaliknya semakin kecil perbedaan angka ketinggian antara dua buah titik tersebut, maka semakin sedikit dan jarang kontur yang ada maka daerah tersebut lerengnya landai atau datar.

4. Rektifikasi

Data raster biasanya didapatkan dari hasil *scanning* peta, foto udara dan citra satelit, tetapi tidak menghasilkan data yang akurat (Nugroho, 2010) maka dibutuhkan suatu proses untuk transformasi data dari data yang belum mempunyai koordinat geografis menjadi data yang mempunyai koordinat geografis yang disebut dengan rektifikasi atau *georeferencing* atau *addressing*.

5. Digitizing

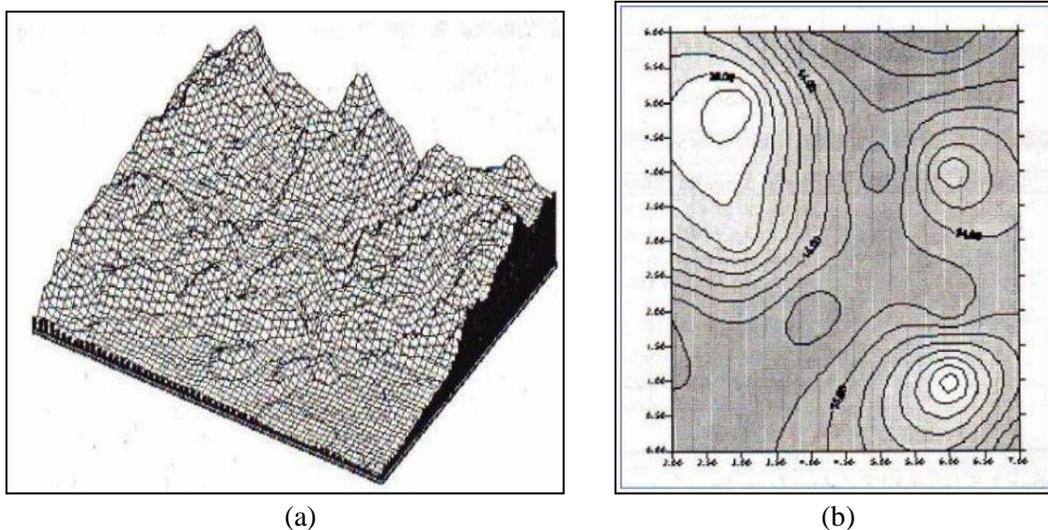
Digitizing adalah proses menggambar ulang fitur geografi pada peta *analog* menjadi *format* digital dengan *digitizing tablet* atau *mouse* yang dihubungkan dengan komputer (Pelatihan ArcGIS tingkat dasar, 2007) hasil dari proses digitasi ini kemudian disimpan dalam bentuk data spasial. Metode digitasi secara umum dapat dilakukan dengan 2 cara yaitu dengan menggunakan *digitizer* yang menggunakan meja digitasi dan yang langsung onscreen di layar monitor. Digitasi onscreen paling sering digunakan karena lebih mudah dilakukan, tidak memerlukan tambahan alat lainnya dan lebih mudah dikoreksi apabila terjadi kesalahan.

K. Surfer

Surfer adalah salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk pembuatan peta kontur dan pemodelan tiga dimensi yang berdasarkan pada grid. Perangkat lunak ini melakukan plotting data tabular xyz tak beraturan menjadi lembar titik-titik segi empat (grid) yang beraturan. Grid adalah serangkaian garis vertikal dan horizontal yang dalam surfer berbentuk segi empat dan digunakan sebagai dasar pembentuk kontur dan surface tiga dimensi. Garis vertikal dan horizontal ini memiliki titik-titik perpotongan. Pada titik perpotongan ini disimpan nilai z yang berupa titik ketinggian atau kedalaman. Gridding merupakan proses pembentukan rangkaian nilai z yang teratur dari sebuah data xyz. Hasil dari proses gridding ini adalah file grid yang tersimpan pada file .grd (Saleh, 2011).

Lembar kerja surfer terdiri dari tiga bagian, yaitu surface plot, worksheet, editor. Surface plot adalah lembar kerja yang digunakan untuk membuat peta atau *file*

grid. Pada saat awal dibuka, lembar kerja ini berada pada kondisi yang masih kosong. Pada lembar plot ini peta dibentuk dan diolah untuk selanjutnya disajikan. Lembar plot digunakan untuk mengolah dan membentuk peta dalam dua dimensional, seperti peta kontur, dan peta tiga dimensional seperti bentukan muka tiga dimensi. Lembar plot ini menyerupai lembar layout dimana pengguna melakukan pengaturan ukuran, teks, posisi obyek, garis, dan berbagai properti lain. Pada lembar ini pula diatur ukuran kertas kerja yang nanti akan digunakan sebagai media pencetakan peta (Saleh, 2011).



Gambar 15. (a). Peta Tiga Dimensi; (b). Peta Dua Dimensi (Sumber: Saleh, 2011).

L. Google Earth

Beberapa definisi google earth menurut situs resmi nya adalah sebagai berikut:

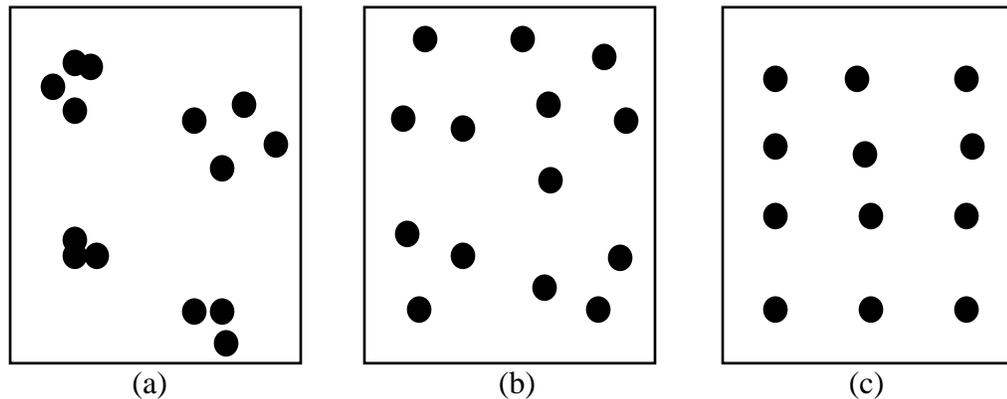
- a. Google Earth adalah aplikasi pemetaan interaktif yang memudahkan melihat dunia.
- b. Google Earth mengamati Gambar dari satelit yang menampakkan sketsa dari jalan, bangunan, keadaan geografis, dan data spesifik mengenai lokasi atau tempat tertentu.

Google Earth merupakan sebuah program Globe Virtual yang sebenarnya disebut Earth Viewer dan dibuat oleh Keyhole, Inc. Program ini memetakan bumi dari superimposisi Gambar yang dikumpulkan dari pemetaan satelit, fotografi udara dan globe GIS 3D. (Ardyodyantoro, 2014). Global virtual ini memperlihatkan rumah, warna mobil, dan bahkan bayangan orang dan rambu jalan. Resolusi yang tersedia tergantung pada tempat yang dituju, tetapi kebanyakan daerah (kecuali beberapa pulau) dicakup dalam resolusi 15 meter.

M. Pola Sebaran

Pola sebaran adalah suatu rangkaian yang sudah menetap mengenai suatu gejala itu sendiri. Pola sebaran sebagai suatu bentuk atau rangkaian yang dapat menggambarkan atau mendeskripsikan mengenai proses sebaran suatu bidang tertentu. (Bintarto dan Hadisumarno, 1979). Bintarto dan Hadisumarno (1978) menyebutkan bahwa ada tiga macam variasi pola persebaran, yaitu:

1. Pola persebaran seragam, apabila jarak antara satu titik dengan titik lainnya relatif sama.
2. Pola persebaran berkelompok, apabila jarak antara titik satu dengan titik lainnya berdekatan dan cenderung berkelompok pada tempat-tempat tertentu,
3. Pola persebaran acak apabila jarak antara titik satu dengan titik yang lainnya tidak teratur.



Gambar 16. Jenis-jenis Pola Sebaran, (a). Pola Berkelompok; (b). Pola Acak; (c). Pola Seragam

N. Koefisien Determinasi

Menurut Ghozali (2016), uji koefisien determinasi bertujuan untuk mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerangkan variasi variabel dependen. Nilai koefisien determinasi adalah antara nol dan satu. Nilai R^2 yang kecil menunjukkan bahwa kemampuan variabel-variabel independen dalam menjelaskan variabel dependen amat terbatas. Klasifikasi koefisien korelasi terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Daftar Koefisien Korelasi Determinasi

No	Nilai Koefisien Korelasi Determinasi	Keterangan
1.	0	Tidak ada korelasi
2.	0 – 0,49	Korelasi lemah
3.	0,50	Korelasi moderat
4.	0,51 – 0,99	Korelasi Kuat
5.	1,00	Korelasi Sempurna

(Sumber : Ghozali, 2016)

Kelemahan dari koefisien determinasi adalah bias terhadap jumlah variabel independen yang dimasukkan ke dalam model. Setiap ada penambahan variabel independen maka R^2 pasti akan meningkat tanpa mempedulikan apakah variabel tersebut berpengaruh secara signifikan terhadap variabel dependen. Oleh karena itu, digunakanlah model

adjusted R^2 . Model adjusted R^2 dapat naik atau turun apabila ada suatu variabel independen yang ditambahkan kedalam model (Ghozali, 2016).

O. Penelitian yang Relevan

Nurpadillah, sifa (2019) Kajian Sebaran Mineral Magnetik Sedimen Sungai Menggunakan Metoda Kemagnetan Batuan. Penelitian dilakukan di daerah Kabupaten Garut, Jawa Barat. Penulis berasumsi bahwa semakin tinggi persentase kadar Fe yang terdapat di dalam sedimen Danau maka semakin tinggi daerah tersebut tercemar. Analisis data yang dilakukan oleh penulis menggunakan alat *susceptibility meter*, XRD, dan analisis kimia suspensi cair.

Trianto, Yuli (2018) Pemetaan Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Lapisan Atas Di Kodya Surakarta Menggunakan *Bartington* MS2 sebagai indikator pendekatan sebaran logam. Metode yang digunakan selama ini untuk mengidentifikasi adanya polutan adalah Metode Kimia, Biokimia dan Geokimia. Namun metode-metode ini mahal dan membutuhkan waktu yang lama. Sementara itu metode Geofisika yang dikembangkan belum efektif untuk mengidentifikasi adanya suatu sebaran logam. Salah satu cara yaitu dengan menggunakan metoda magnetik batuan.

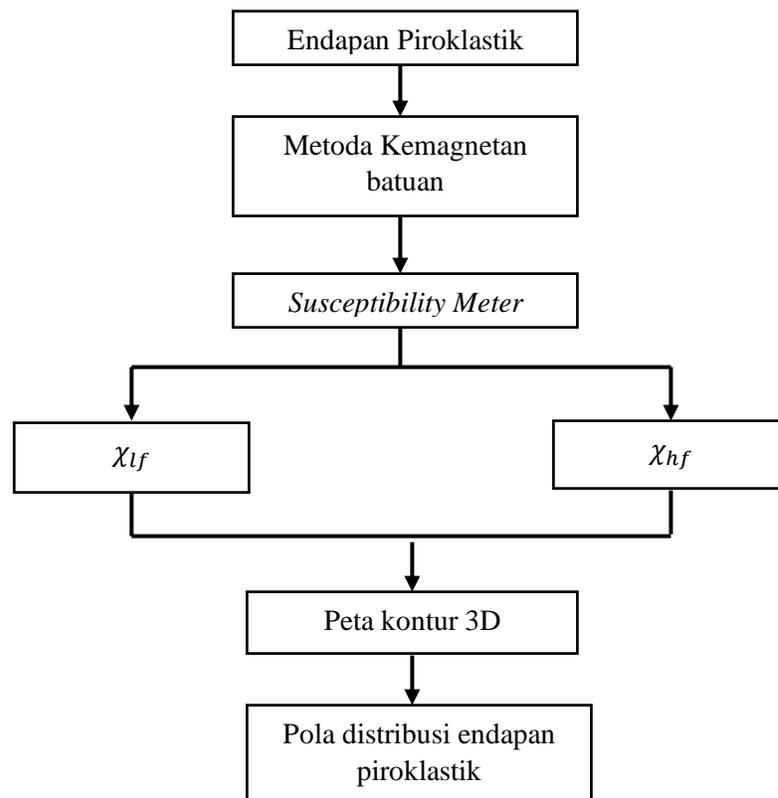
Li Z (2019), aplikasi dari metoda suseptibilitas magnetik dalam penentuan batuan beku, dengan hasil bahwa batuan beku dengan kerentanan magnetik yang tinggi rentan terhadap perubahan cuaca, sedangkan pada magnet yang rendah sulit untuk dipengaruhi oleh cuaca lingkungan sekitar. Nilai suseptibilitas magnetik yang didapatkan berkisar antara $15 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$ – $2330 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{kg}$. Nilai kerentanan magnetik yang didapatkan berkisar $29 \times 10^{-6} \text{ SI}$ hingga $3506 \times 10^{-6} \text{ SI}$, dengan nilai rata-rata $684 \times 10^{-6} \text{ SI}$ yang dipengaruhi oleh mineral Paramagnetik. Beberapa

pendekatan sudah dilakukan tetapi sebaran dari hasil letusan Gunung berapi belum pernah dilakukan sebelumnya. Karakteristik mineral magnetik sangat bermanfaat sebagai data awal untuk mengetahui rekam jejak proses vulkanik dan tektonik yang terjadi di masa lampau.

MR. Fadila, Hamdi, R (2019) menganalisis mineral magnetik pada batuan vulkanik kawasan Danau Maninjau Sumatera Barat menggunakan *Bartington Magnetic Susceptibility Meter*. Penelitian dilakukan dikawasan Danau Maninjau Kabupaten Agam. Sampel yang diteliti sebanyak 6 sampel yang tersebar di kawasan tersebut. Peneliti mendapatkan hasil bahwa nilai suseptibilitas magnetik yang diperoleh berkisar antara $967.8 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ – $2187.0 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ yang diduga mineral terbanyak yang dapat diteliti yaitu *Maghemite* dan *Ilmenite*.

P. Kerangka Berfikir

Letusan Gunung api purba yang diperkirakan ~50.000 tahun yang lalu dan menghasilkan 220-250 km³ *material* vulkanik yang tersebar hingga 75 km dari pusat letusan (Pribadi, 2006). Letusan tersebut mengeluarkan material-material vulkanik yang diduga memiliki mineral magnetik yang tersimpan di dalam hasil letusan tersebut. Hasil letusan tersebut dikeluarkan dari perut bumi hingga tersebar kesegala arah. Untuk mengetahui persebaran dari material vulkanik tersebut dilakukan uji nilai suseptibilitas magnetik. Nilai tersebut merupakan data awal untuk membuat suatu peta kontur berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik *low field*. Kerangka berpikir dalam penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Kerangka Berfikir Penelitian

BAB V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pola dari sebaran material vulkanik berdasarkan nilai suseptibilitas magnetik seperti kipas aluvium yang dimana semakin lama semakin besar menuju kearah Barat Danau Maninjau. Hasil tersebut pola sebarannya berbentuk kipas aluvium dengan nilai suseptibilitas tertinggi (MT 12 dengan nilai $2816 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$) berada sejauh 25,74 km dari pusat Danau kearah Barat Danau. Diikuti dengan sampel dengan kode MT 10 dengan nilai suseptibilitas $74 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ sejauh 13,5 km dari pusat Danau. Hal ini dikarenakan adanya faktor aliran sungai yang membawa mineral magnetik dari tempat yang tinggi menuju tempat yang rendah ataupun sebaran terjadi karena adanya bantuan angin.

B. Saran

Material hasil letusan Gunung api merupakan objek yang menarik untuk diteliti. Banyak manfaat yang dapat kita amati dari hasil letusan Gunung api salah satunya adalah rekaman masa lalu hasil letusan Gunung api yang berlum terdapat didalam dokumen penelitian. Selanjutnya, disarankan untuk meneruskan penelitian ini, yang berguna untuk melihat rekaman jejak masa lalu yang dikeluarkan oleh Danau Maninjau. Dapat berupa hasil erupsi Gunung tersebut bahkan unsur pembentuk mineral yang dapat dilihat. Unsur tersebut dapat dilihat menggunakan SEM (*Scanning Elektron Microscope*) sehingga dapat melihat unsur dari pembentuk mineral Gunung api Maninjau.

DAFTAR PUSTAKA

- Butler, R. F. 1998. *Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Boston: Blackwell Scientific Publication.
- Callister, W. D and D.G. Rethwisch. 2009. *Material Science and engineering. An Introduction Eighth Edition*. New York: Oxford University Press Inc.
- Clynne, michael A, Joel E. Robinson, Manuel Nathenson, L.J. Patrick Muffler. 2012. *Volcano Hazards Assessment for the Lassen Region, Northern California*. USGS: Departement of the Interior.
- Cullity, B. D., & Graham, C. D. 2011. *Introduction to magnetic materials*. John Wiley & Sons.
- David, J. 1997. *Rock Magnetism Method Fundamentals and frontiers*. Cambridge University Press.
- Dearing, J. A. 1997. *Environmental Magnetic Susceptibility Using The Bartington MS2 System*. England: Chi Publishing.
- Diskominfo Kabupaten Agam. 2017. *Profil Daerah Maninjau Secara Geografis*. <https://www.agamkab.go.id/Agamkab/profil>. 13 Februari.
- Dunlop, D.J and Ozdemir, O. 1997. *Rock Magnetism: Fundamental and Frontiers*. Cambridge University Press.
- Evans, M and Heller, F. 2003. *Environmental Magnetism Principle and Application of Ennvironmagnetiks*. California: Academic Press.
- Fadila, M. R., Rifai, H., Ningsih, E. D., Putra, R., de Maisonneuve, C. B., Forni, F., and Phua, M. 2017. *Magnetic Susceptibility of pre-and post caldera Lavas from Maninjau, West Sumatra*.
- Fajri, Rizki Nurul, R Putra, C B de Maisonneuve, A Fauzi, Yohandri, H. R. (2019). *Analysis of magnetic properties rocks and soils around the Danau Analysis of magnetic properties rocks and soils around the Danau Diatas , West Sumatra*. Journal of Physics: Conference Series PAPER.
- Fitriawan, M. (2017). *Sintesis Pigmen Jarosit Berbahan Dasar Pasir Besi Dengan Metode Sol-Gel*. Universitas Negeri Semarang: Semarang.
- Halliday, D., dan Resnick, R., 2010. *Fundamentals of Physics*, Ninth Edition, John Wiley and Sons, Inc., United States of America Hei, S., Jin, Y., and Zhang, F. 2014. *Fabrication of γ -Fe₂O₃ nanoparticles by solid-state thermolysis of a metal-organic framework, MIL-100 (Fe), for heavy metal ions removal*. Journal of Chemistry.

- Harrison, R. J.; Dunin-Borkowski, RE; Putnis, A (2002). *Direct imaging of nanoscale magnetic interactions in minerals*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 99 (26): 16556–16561.
- Hunt, C.P., Moskowitz, B.M., Banerjee, S.K., 1995. *Magnetic Properties of Rocks and Minerals*. American Geophysical Union.
- Ikhsan, M., Puryanti, D., and Budiman, A. 2017. *Pengaruh Penambahan Polyethylene Glycol (PEG) Terhadap Sifat Magnetik (γ - Fe_2O_3) Yang Disintesis Dari Magnetit Batuan Besi (Fe_3O_4)*. Jurnal Ilmu Fisika Universitas Andalas, 9(2), 103-109.
- Jiles, 1991. *Introduction to Magnetism and Magnetite Material*, New York, USA: Springer.
- Kanu, M.O., Meludu, O.C., and Oniku, S.A, 2013, *A Preliminary Assesment of Soil Pollutionin Some Parts of Jalingo, Metropolis, Nigeria Using Magnetic Susceptibility Method*. Jordan Journal of Earth and Environmental Sciences, 5 (2); 53-61.
- Kastowo., G.W. Leo, S. Gafoer, dan T.C. Amin. 1996. *Peta Geologi Lembar Padang, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Kusumadinata, K., 1979. *Data Dasar Gunungapi Indonesia*. Direktorat Vulkanologi. 819 h.
- Li, Z., and Fu, G. 2019. *Application of Magnetic Susceptibility Parameters in Research of Igneous Rock in Chepaizi*. In *Journal of Physics: Conference Series (Vol. 1176, No. 4, p. 042068)*. IOP Publishing.
- Maisonneuve, C Bouvet. 2019. *Bathymetric survey of lakes Maninjau and Diatas (West Sumatra), and lake Kerinci (Jambi)*. J. Phys.: Conf. Ser. 1185 012001
- Mulyaningsih, S., & Shaban, G. (2020). *Geochemistry of Basaltic Merbabu Volcanic Rocks, Central Java, Indonesia*. Indonesian Journal on Geoscience, 7(2), 161-178.
- Muryowihardjo, soekardi. 1988. *Jenis Erupsi Gunung api Yang Menghasilkan Batuan Vulkanik Di Daerah Gunung Baturagung Kabupaten Gunung Kidul-Yogyakarta*. Universitas Gadjah Mada: Yogyakarta.
- Nichols, G. 2009. *Sedimentology and Stratigraphy Second Edition*. Wiley-Blackwell. 419 pp.
- Nontji, Anugerah. 2016. *Danau-danau Alami Nusantara*. Jakarta

- Nilam sari, Hamdi Rifai, F. Mu. (2013). *Penentuan Ukuran dan Jenis Domain Magnetik Guano dari Gua Rantai dan Gua Solek di Kecamatan Lareh Sago Halaban Kabupaten 50 Kota dengan Metode Anhysteretic Remanent Magnetization (ARM)*. Pillar Of Physics, Vol. 2. Oktober 2013, 18-25.
- Nurzam, Fildzah Rudyah Putri, Ramli, Ratnawulan. 2019. Pengaruh komposisi CoFe_2O_4 terhadap sifat listrik Nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{PANI}$ yang disintesis dengan Metoda sol-gel. Pillar of Physics, Vol. 12 No. 1, 38 – 45.
- Noor, D.2009. *Pengantar Geologi*. Bogor: CV Graha Ilmu.
- Nugroho, A., & Susilo, Y. S. B. 2010. *Pembuatan Peta Digital Topografi Pulau Panjang, Banten, Menggunakan Arcgis 9.2 Dan Surfer 8*. Jurnal Pengembangan Energi Nuklir, 12(1).
- Nurpadillah, Sifa. 2019. *Kajian Sebaran Mineral Magnetik Sedimen Sungai Menggunakan Metoda Kemagnetan Batuan*. Jurnal Pendidikan Fisika Vol. 7 No. 1.
- Oldeman, L. R., Las, I., and Darwis, S. N. 1979. *An agroclimatic map of Sumatra Indonesia. Contributions Central Research Institute for Agriculture Bogor (Indonesia)*.
- Ortega, D., and Pankhurst, Q. A. 2013. *Magnetic hyperthermia*. *Nanoscience*, 1(60), e88.
- Pribadi, A., Mulyadi, E., Pratomo, I. 2007. *Mekanisme Erupsi Ignimbrit Kaldera Maninjau, Sumatera Barat*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 2 No. 1 Maret 2007: 31-41. Bandung: Pusat Survei Geologi.
- Rahma Andini Pratiwi, Agum Gumelar Prakoso, Riski Darmasetiawan, Eleonora Agustine, Kartika Hajar Kirana, D. F. (2016). *Identifikasi Sifat Magnetik Tanah Longsor di Daerah Tanah Longsor*. Prosiding Seminar Nasional Fisika.
- Rivaldi. 2010. Pembuatan Peta Kontor Menggunakan Surfer. <http://academia.edu>. Diakses pada hari Minggu, 15 November 2020 pada pukul 12.00 WIB.
- Rongkonusa, M., Tamuntuan, G., and Pasau, G. 2017. *Analisis Anisotropi Suseptibilitas Magnetik Batuan Beku Lengan Utara Sulawesi*. Jurnal MIPA, 6(1), 8-12.
- Saleh, Salmani. 2011. Pengenalan Surfer. <http://digilib.its.ac.id>. Diakses pada hari Minggu, 15 November 2020 pukul 12.00 WIB.

- Salomo, S. A. P., & Syech, R. (2018). *Vulkanik Erupsi Gunung Sinabung Kabupaten Karo Menggunakan Probe Pasco 2162*. Jurnal Komunikasi Fisika Indonesia.
- Solekhan. 2016. *Pembuatan Garis Kontur Digital Menggunakan Perangkat Lunak ArcGis 10.2*. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.
- Subagja, R. (2016). *Ekstraksi Titanium dari Ilmenit Bangka melalui Tahap Dekomposisi dengan Koh dan Pelarutan dengan Asam Sulfat*. Prosiding Semnastek.
- Suryani, A. S. (2014). *Dampak Negatif Abu Vulkanik Terhadap Lingkungan dan Kesehatan*. Online). ([http://berkas.dpr.go.id/pengkajian/files/info_singkat/Info % 20Singkat-VI-4-II-P3DI-Februari-2014-67. pdf](http://berkas.dpr.go.id/pengkajian/files/info_singkat/Info%20Singkat-VI-4-II-P3DI-Februari-2014-67.pdf)), Diakses, 12 September 2020.
- Telford, W.M. Geldart, L.P, Sheriff R.E and Keys, D.A. 1990. *Applied Geophysics*. USA: Cambridge University Press.
- Thompson, R and Oldfield, F. 1986. *Environmental Magnetism*. London: Allen dan Unwin Ltd.
- Tiwow, V., Rampe, M J., Arsyad, M. 2018. *Kajian Suseptibilitas Magnetik Bergantung Frekuensi terhadap Pasir Besi Kabupaten Takalar*. Jurnal Sainsmat, September 2018, Hal: 136-146 Vol. VII, No. 2. Sulawesi: Universitas Negeri Makassar.
- Trianto, Yuli. 2018. *Pemetaan Nilai Suseptibilitas Magnetik Tanah Lapisan Atas Di Kodya Surakarta Menggunakan Bartington MS2 Sebagai Indikator Pendekatan Sebaran Logam*. M 0203053 Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Tsuchida, H., Narita, E., Takeuchi, H., Adachi, M., & Okabe, T. (1982). *Manufacture of high pure titanium (IV) oxide by the chloride process. I. Kinetic study on leaching of Ilmenite ore in concentrated hydrochloric acid solution*. Bulletin of the Chemical Society of Japan, 55(6), 1934-1938.
- Xin Zhou, Liguang Sun, dkk. 2013. *Relationship between Magnetic Susceptibility and Grain Size of Sediments in the China Seas and its Implications*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csr.2013.07.011>