

LAPORAN AKHIR TAHUN
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



**ANALISIS KARAKTERISTIK MAGNETIK, MINERALOGI,
DAN GRANULOMETRI ENDAPAN PIROKLASTIK
UNTUK MENENTUKAN PROSES PALEOVULKANIK**

Tahun ke- 1 dari rencana 2 tahun

Tim Pengusul

Ketua	: Dr. Gerald Hendrik Tamuntuan, S.Si., M.Si.	NIDN: 0006057102
Anggota I	: Dr. Hanny Frans Sangian, S.Pd., M.Si.	NIDN: 0022106902
Anggota II	: Guntur Pasau, S.Si., M.Si.	NIDN: 0020017006

UNIVERSITAS SAM RATULANGI

NOVEMBER 2018

Dibiayai Oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kemenristekdikti
Sesuai dengan Kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2018

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Analisis Karakteristik Magnetik, Mineralogi, dan Granulometri Endapan Piroklastik untuk Menentukan Proses Paleovulkanik

Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : Dr GERALD HENDRIK TAMUNTUAN, S.Si, M.Si
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi
NIDN : 0006057102
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Fisika
Nomor HP : 08124450886
Alamat surel (e-mail) : gtamuntuan@gmail.com

Anggota (1)

Nama Lengkap : Dr HANNY FRANS SANGIAN S.Pd, M.Si
NIDN : 0022106902
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi


Anggota (2)

Nama Lengkap : GUNTUR PASAU S.Si, M.Si
NIDN : 0020017006
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi

Institusi Mitra (jika ada)

Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 87,850,000
Biaya Keseluruhan : Rp 221,700,000


Mengetahui,
Dekan FMIPA Univ. Sam Ratulangi


(Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc.)
NIP/NIK.196606041995121001

Kota Manado, 12 - 11 - 2018
Ketua,


(Dr GERALD HENDRIK TAMUNTUAN,
S.Si, M.Si)
NIP/NIK 197105062000031001

Menyetujui,
Ketua LPPM Univ. Sam Ratulangi


(Prof. Dr. Ir. Charles L. Kaunang, MS)
NIP/NIK 195910181986031002

RINGKASAN

Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah vulkanik aktif yang berada pada jalur cincin api (*ring of fire*). Di daerah ini banyak terdapat endapan piroklastik yaitu endapan material hasil letusan gunung api yang terbentuk dari jatuhnya ataupun aliran material setengah padat berkonsentrasi tinggi di atas permukaan tanah. Sifat fisis, mineralogi, ukuran bulir, dan morfologi dari material piroklastik sangat ditentukan oleh sumber serta proses/mekanisme erupsi. Dalam survey awal pada beberapa lokasi, ditemukan endapan piroklastik terstratifikasi yang dapat digunakan untuk mengungkap proses vulkanisme daerah ini dimasa lalu (paleovulkanik). Hingga saat ini, hampir tidak ditemukan kajian tentang proses dan mekanisme paleovulkanik di Sulawesi Utara dengan memanfaatkan endapan piroklastik. Oleh karena itu telah dilakukan kajian terhadap endapan piroklastik dengan menggunakan metode magnetik, spektroskopi sinar X serta analisis granulometri. Kajian dilakukan pada situs endapan piroklastik di daerah Tanjung Merah (TM), Sulawesi Utara yang memiliki 10 lapisan endapan. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa endapan pada setiap lapisan didominasi oleh bulir-bulir yang relatif besar (*coarse*). Suseptibilitas magnetik endapan piroklastik TM memiliki nilai bervariasi antara $247,44 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ – $1615,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Suseptibilitas magnetik bergantung frekwensi menunjukkan bahwa 50% sampel mengandung bulir-bulir superparamagnetik. Bulir-bulir mineral magnetik pada sampel secara umum memiliki *domain state* pseudosingle-domain (PSD). Hasil analisis data XRF menunjukkan endapan piroklastik di daerah TM bersumber dari batuan andesite dengan kadar K dari rendah ke sedang. Salah satu hal penting yang menjadi temuan dalam penelitian ini adalah indikator ukuran bulir relatif berdasarkan hubungan trigonal oksida-oksida utama. Berdasarkan hasil-hasil yang telah diperoleh, maka saat ini sedang dilakukan penyusunan artikel untuk publikasi internasional di jurnal Geosciences MDPI.

Kata kunci: Sifat magnetik, endapan piroklastik, granulometri, Sulawesi Utara

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas kemurahanNya sehingga penelitian kami sepanjang tahun 2018 boleh berjalan dengan baik. Penelitian ini telah menghasilkan informasi tentang distribusi ukuran bulir serta sifat magnetik dan mineralogi pada endapan piroklastik di daerah Tanjung Merah, Sulawesi Utara. Kami berterima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Dikti yang telah membiayai penelitian ini dengan skim Riset Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) tahun 2018. Masukan yang konstruktif akan diterima dengan senang hati untuk penyempurnaan hasil-hasil yang kami peroleh. Akhir kata, kiranya hasil penelitian ini boleh melengkapi wawasan tentang proses atau mekanisme paleovulkanik termasuk kegempaan vulkanik disuatu daerah. Pemahaman yang baik tentang paleovulkanism akan berimplikasi pada pengenalan pola dan karakteristik erupsi gunung api yang dapat memicu bencana pada suatu daerah.

Manado, November 2018

Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
RINGKASAN	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	
DAFTAR GAMBAR	
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
II.1. Proses Vulkanik dan Endapan Piroklastik	3
II.2. Metode Kemagnetan Batuan dalam Kajian Material Interior Bumi dan Peta Jalan Penelitian	4
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT	8
BAB IV METODE PENELITIAN	10
BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	12
V.1. Fraksi Ukuran Bulir	12
V.2. Suseptibilitas Magnetik	12
V.3. Magnetisasi Remanen Isothermal	14
V.3. Pengukuran Histeresis Magnetik	14
V.4. Pengukuran XRF	16
V.5. Luaran Yang Telah Dicapai	18
BAB VI RENCANA TAHAP BERIKUTNYA	19
BAB VII KESIMPULAN	20
DAFTAR PUSTAKA	21

DAFTAR TABEL

Tabel 1	Persentase berat untuk empat kategori ukuran bulir	12
---------	--	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1	Situs endapan piroklastik yang terdapat di daerah Tanjung Merah Sulawesi Utara.	4
Gambar 2	Peta jalan penelitian hingga tahun 2025.	7
Gambar 3	Variasi nilai suseptibilitas pada 10 lapisan endapan piroklastik di daerah Tanjum Merah.	13
Gambar 4	Perbandingan nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekwensi dengan nilai suseptibilitas magnetik.	13
Gambar 5	Akusisi IRM sampel-sampel dari TM, CL, dan LS menunjukkan medan DC yang tersaturasi di bawah 300 mT	14
Gambar 6	Kurva histeresis magnetik sampel TM-1.	15
Gambar 7	Diagram Day sampel-sampel TM.	15
Gambar 8	Pengkategorian sumber dari setiap lapisan endapan piroklastik. Kotak berwarna biru adalah sampel-sampel TM sedangkan yang lain adalah sampel pembanding. Dari hasil tersebut terlihat bahwa sumber endapan piroklastik di lokasi TM adalah batuan vulkanik andesite.	16
Gambar 9	Perbandingan K_2O terhadap SiO_2 .	17
Gambar 10	Hubungan antara suseptibilitas magnetik dengan beberapa oksida utama dalam endapan piroklastik	17

BAB I. PENDAHULUAN

Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah dengan masalah geodinamika yang kompleks. Selain memiliki beberapa persesaran, dikelilingi oleh zona subduksi di Laut Sulawesi dan Laut Maluku, daerah ini juga dihuni oleh beberapa gunung api aktif sehingga relatif rawan terhadap gempa bumi dan bencana yang diakibatkan oleh proses vulkanik. Salah satu tanda kejadian erupsi vulkanik adalah keberadaan jatuhnya material piroklastik (Cioni dkk, 2003). Material piroklastik yang terendapkan pada sebagian besar wilayah Sulawesi Utara relatif tebal dan membentuk perlapisan yang merepresentasikan episode dan karakteristik erupsi dari waktu ke waktu. Hal ini tentunya membuka peluang untuk memahami proses vulkanik dimasa lalu (paleovulkanik) dari waktu ke waktu karena karakteristik dari material piroklastik yang terendapkan ternyata berhubungan erat dengan intensitas dan magnitudo letusan/erupsi vulkanik (Bellotti dkk, 2010) yang juga berimplikasi pada kegempaan yang dihasilkan. Pemahaman yang baik tentang paleovulkanism akan berimplikasi pada pengenalan pola dan karakteristik erupsi gunung api yang dapat memicu bencana pada suatu daerah (Siebe dkk, 1995).

Endapan piroklastik merupakan salah satu objek yang potensial untuk kajian paleovulkanik (Jessop dkk, 2016; Pal dkk, 2010). Endapan ini terbentuk sebagai deposisi hasil letusan gunung api berupa pecahan-pecahan batuan dengan berbagai ukuran bulir (granulometri), mineralogi, serta morfologi yang berbeda. Batuan yang di erupsikan (dalam bentuk fragmentasi) pada dasarnya terbentuk sebagai hasil pendinginan magma. Selama proses pembentukannya dari magma, terjadi penumbuhan mineral-mineral magnetik dengan karakteristik berbeda dalam suatu batuan dipengaruhi oleh lokasi terbentuknya dalam *vent* gunung api. Saat terjadi erupsi, kondisi suhu dan ekspansi gas dapat mempengaruhi morfologi dan ukuran bulir dari material piroklastik yang dilontarkan. Hal-hal tersebut dapat menjadi penanda dalam menganalisis proses ataupun mekanisme paleovulkanik.

Kajian terhadap sifat-sifat magnetik endapan piroklastik di Sulawesi Utara hingga saat ini belum pernah dilakukan. Padahal pemahaman tentang karakteristik sifat magnetik yang didukung dengan analisis mineralogi dan granulometri dapat menjadi cara yang sangat potensial untuk mengungkap proses/mekanisme paleovulkanik di Sulawesi Utara. Lebih jauh bahwa hingga saat ini belum diketahui bagaimana hubungan trigonal antara sifat magnetik - mineralogi/komposisi kimia - granulometri dari endapan piroklastik. Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi sifat-sifat magnetik, mineralogi, dan granulometri

dari endapan piroklastik. Penelitian ini nantinya akan memperkaya wawasan dan memberi kontribusi keilmuan yang signifikan tentang bagaimana sifat-sifat magnetik pada endapan piroklastik, bagaimana hubungannya dengan mineralogi dan granulometri endapan piroklastik, pemanfaatannya dalam mengungkap proses paleovulkanik serta meletakkan dasar untuk kajian-kajian selanjutnya dalam mitigasi bencana geologis yang diakibatkan oleh letusan gunung api. Hal ini sejalan dengan topik riset unggulan Universitas Sam Ratulangi (UNSRAT) yang dituangkan dalam Rencana Induk Penelitian (RIP) UNSRAT 2016 – 2020 dimana salah satu peta jalannya menitikberatkan pada bidang penanggulangan kebencanaan dan lingkungan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

II.1. Proses Vulkanik dan Endapan Piroklastik

Proses vulkanik secara sederhana didefinisikan sebagai aktivitas berupa erupsi ataupun non erupsi yang terjadi pada suatu gunung api. Berdasarkan tinggi rendahnya derajat fragmentasi dan luasnya, kuat lemahnya letusan serta tinggi tiang asap, maka erupsi gunung api dibagi menjadi beberapa tipe:

- 1) Tipe Hawaiian, yaitu erupsi eksplosif dari magma basaltic atau mendekati basalt, umumnya berupa semburan lava pijar, dan sering diikuti leleran lava secara simultan, terjadi pada celah atau kepundan sederhana;
- 2) Tipe Strombolian, erupsinya hampir sama dengan Hawaiian berupa semburan lava pijar dari magma yang dangkal, umumnya terjadi pada gunungapi sering aktif di tepi benua atau di tengah benua;
- 3) Tipe Plinian, merupakan erupsi yang sangat eksplosif dari magma berviskositas tinggi atau magma asam, komposisi magma bersifat andesitik sampai riolitik. Material yang dierupsikan berupa batuapung dalam jumlah besar;
- 4) Tipe Sub Plinian, erupsi eksplosif dari magma asam/riolitik dari gunungapi strato, tahap erupsi efusifnya menghasilkan kubah lava riolitik. Erupsi subplinian dapat menghasilkan pembentukan ignimbrit;
- 5) Tipe Ultra Plinian, erupsi sangat eksplosif menghasilkan endapan batuapung lebih banyak dan luas dari Plinian biasa;
- 6) Tipe Vulkanian, erupsi magmatis berkomposisi andesit basaltic sampai dasit, umumnya melontarkan bom-bom vulkanik atau bongkahan di sekitar kawah dan sering disertai bom kerak-roti atau permukaannya retak-retak. Material yang dierupsikan tidak melulu berasal dari magma tetapi bercampur dengan batuan samping berupa litik;
- 7) Tipe Surtseyan dan Tipe Freatoplinian, kedua tipe tersebut merupakan erupsi yang terjadi pada pulau gunungapi, gunungapi bawah laut atau gunungapi yang berdanau kawah. Surtseyan merupakan erupsi interaksi antara magma basaltic dengan air permukaan atau bawah permukaan, letusannya disebut freatomagmatik. Freatoplinian kejadiannya sama dengan Surtseyan, tetapi magma yang berinteraksi dengan air berkomposisi riolitik.

Secara umum produk dari erupsi gunung api terdiri atas gas vulkanik, aliran lava, dan vulkanoklastik. Vulkanoklastik adalah seluruh material lepas yang dibentuk oleh proses fragmentasi, dihamburkan oleh berbagai macam agen transportasi, diendapkan pada berbagai lingkungan atau tercampur dengan fragmen non vulkanik, salah satu contohnya dalam hal ini adalah material piroklastik. Material ini saat dierupsikan gunung api memiliki sifat fragmental, dapat berujud cair maupun padat, memiliki ukuran material berkisar dari abu halus ($< 1/16$ mm) hingga blok dengan panjang beberapa meter, dan saat terendapkan disebut sebagai endapan piroklastik (Sigurdsson dkk, 2000). Batuan yang terfragmentasi serta materi cair yang kemudian memadat karena pengaruh suhu akan memiliki karakteristik/sifat magnetik yang berbeda bergantung pada sumber batuan didalam bumi dan proses vulkanik yang berlaku saat itu. Gambar 1 menunjukkan salah satu contoh lokasi yang memiliki endapan piroklastik berlapis di daerah Sulawesi Utara.



Gambar 1. Situs endapan piroklastik yang terdapat di daerah Tanjung Merah Sulawesi Utara.

II.2. Metode Kemagnetan Batuan dalam Kajian Material Interior Bumi dan Peta Jalan Penelitian

Metode kemagnetan batuan (rock magnetism) adalah suatu metode yang mempelajari sifat-sifat magnetik dari batuan, tanah, dan sedimen dimana hasil-hasilnya dapat digunakan untuk mengetahui berbagai proses yang telah terjadi di bumi. Sifat-sifat magnetik muncul

saat terbentuknya mineral-mineral pembawa sifat magnetik dari reaksi-reaksi kimia yang terjadi pada magma yang mendingin menjadi batuan. Sifat dari mineral-mineral tersebut menjadi jelas ketika temperatur batuan berada di bawah batas kritis *blocking temperature* yang biasa disebut dengan temperatur Curie. Pada saat itu, momen-momen magnetik pada mineral pembawa sifat magnetik mengalami proses penjajaran dan berubah dari *state* paramagnetik yang memiliki sifat magnetik lemah menjadi ferro- atau ferrimagnetik yang memiliki sifat magnetik kuat (Putnis, 1995). Perubahan batuan menjadi tanah, fragmentasi, serta sedimen dapat menyebabkan perubahan jenis mineralogy, ukuran bulir, *domain state*, dan konsentrasi dari mineral magnetik bergantung pada mekanisme serta kondisi lingkungan ketika proses perubahan tersebut berlangsung. Perubahan karakteristik dasar dari mineral magnetik tersebut berimplikasi pada perubahan sifat magnetiknya.

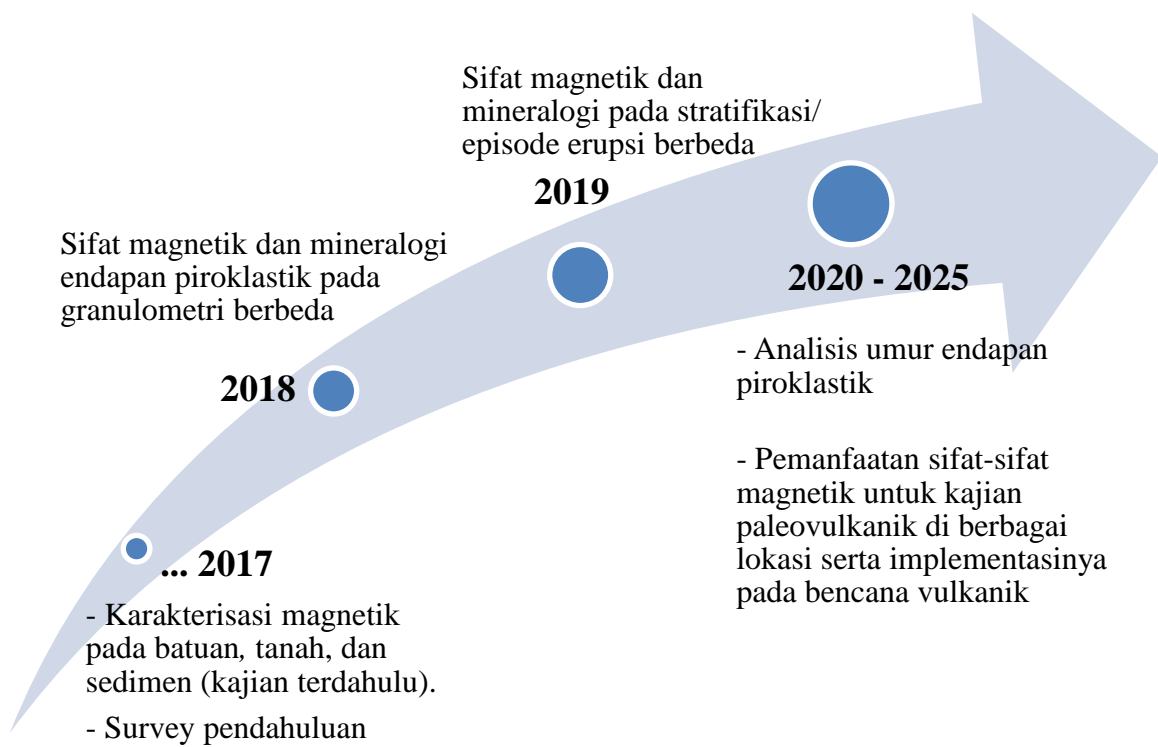
Pemanfaatan fenomena magnetik dalam kajian material interior bumi mulai dilakukan pada batuan sejak tahun 1938 oleh Koenigsberger dan Thellier serta Nagata pada tahun 1943 tinggi (Dunlop dan Özdemir, 1997). Mereka melakukan kajian tentang pengaruh suhu terhadap magnetisasi pada batuan yang kemudian saat ini dikenal dengan nama proses TRM atau *thermoremanent magnetization* (Gubbins dan Herrero-Bervera, 2007). Ditempat terpisah, kajian tentang sifat-sifat magnetik pada sedimen danau juga sudah dimulai sejak tahun 1926 oleh Gustav Ising (Bradley dan Heller, 1999). Ising memperkirakan bahwa variasi sifat magnetik pada perlapisan sedimen terjadi sebagai akibat perubahan respons hidrologi terhadap kondisi iklim. Hingga saat ini sudah begitu banyak kajian tentang sifat-sifat magnetik batuan, tanah, maupun sedimen yang digunakan untuk mengungkap berbagai proses di bumi baik yang terjadi pada masa kini maupun masa lalu. Kajian-kajian tersebut menunjukkan bahwa perubahan sifat magnetik terkait erat dengan perubahan karakteristik mineral magnetik dalam hal ini mineralogy, ukuran bulir, domain magnetik, dan konsentrasi mineral magnetik (Tamuntuan dkk, 2015).

Berbeda dengan kajian sifat-sifat magnetik pada batuan, tanah, dan sedimen yang sudah relatif banyak dilakukan, maka kajian sifat-sifat magnetik pada material piroklastik jatuhan hingga saat ini terbilang masih sangat sedikit. Kajian terkait material piroklastik jatuhan masih terbatas pada debu vulkanik atau tephra seperti yang dilakukan oleh Passier dkk (2001), Lagroix dkk (2004), dan Viglioti (2014). Hal tersebut menjadikan material piroklastik jatuhan yang terendapkan, dalam hal ini memiliki ukuran bulir relatif heterogen, sebagai objek potensial untuk mengetahui proses vulkanik. Oleh karena itu, melalui

penelitian yang diusulkan dalam skim Hibah fundamental ini peneliti hendak melakukan kajian secara mendalam tentang sifat-sifat magnetik, mineralogi, dan granulometri endapan piroklastik yang ada pada beberapa lokasi di Sulawesi Utara untuk menentukan proses paleovulkanik di daerah tersebut. Kedepan hasil-hasil ini dapat digunakan sebagai dasar dari penelitian lanjutan untuk menentukan proses-proses vulkanik secara lebih akurat.

Terkait penelitian yang diusulkan, Ketua peneliti sudah sangat familiar dengan metode-metode yang akan digunakan. Beberapa kajian berupa pemanfaatan metode kemagnetan batuan (*rock magnetism*) telah dilakukan oleh ketua peneliti pada berbagai objek alamiah seperti batuan, sedimen, serta tanah dan telah dipublikasikan baik dalam bentuk seminar internasional dan nasional maupun naskah pada jurnal ilmiah internasional berindeks (lihat lampiran 4). Sementara anggota tim peneliti juga memiliki dasar fisika kebumihan yang kuat dan memiliki kompeten dalam bidang geodinamika dan kegempaan. Kompetensi dari anggota peneliti diperlihatkan dengan keterlibatannya dalam beberapa penelitian yang telah dikerjakan dan publikasi hasil penelitian pada jurnal ilmiah (lihat lampiran 4).

Penelitian ini merupakan kajian dasar/fundamental yang dilakukan secara eksperimen laboratorium terhadap sifat/karakteristik fisis (sifat magnetik dan granulometri) serta mineralogi dari endapan piroklastik. Posisi kajian ini merupakan tahap inisiasi dari suatu rencana jangka panjang penelitian tentang pemanfaatan sifat-sifat magnetik sebagai salah satu metode yang potensial dalam menentukan proses-proses paleovulkanik. Peta jalan (*road map*) dari rencana penelitian jangka panjang tersebut serta posisi dari penelitian yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Peta jalan penelitian hingga tahun 2025.

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT

III.1. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk menentukan karakteristik sifat-sifat magnetik, mineralogi, dan granulometri dari endapan piroklastik di Sulawesi Utara dalam mengungkap proses atau mekanisme paleovulkanik di daerah tersebut. Hal-hal khusus yang ingin diperoleh dan menjadi target utama dalam penelitian ini adalah menentukan:

- (1) Sifat-sifat magnetik, mineralogi, dan morfologi dari endapan piroklastik pada ukuran bulir (granulometri) yang berbeda dan dituangkan dalam bentuk hubungan trigonal antara sifat-sifat magnetik - komposisi kimia - ukuran bulir,
- (2) Variasi sifat magnetik dan mineralogi, termasuk didalamnya komposisi geokimia dan morfologi, pada endapan piroklastik terstratifikasi yang ada di Sulawesi Utara untuk menentukan proses atau mekanisme paleovulkanik di daerah tersebut.

III.2. Manfaat Penelitian

Sulawesi Utara merupakan salah satu daerah yang berada pada jalur cincin api (*ring of fire*) dan memiliki beberapa gunung api aktif yang berpotensi bencana. Keberadaan endapan piroklastik dan tufa yang relatif tebal pada sebagian besar daerah ini menunjukkan tingginya aktivitas vulkanik dimasa lalu. Oleh karena itu merupakan hal yang bermanfaat untuk mengkaji proses erupsi atau letusan gunung api dimasa lalu (paleovulkanik) dalam rangka memahami pola aktivitas vulkanik daerah Sulawesi Utara. Salah satu cara untuk mengkaji hal tersebut adalah dengan melakukan karakterisasi sifat-sifat magnetik, mineralogi, dan granulometri pada endapan piroklastik. Kajian seperti ini belum pernah dilakukan, secara khusus pada endapan piroklastik di Sulawesi Utara. Bahkan hal baru yang akan dilakukan dan memiliki kontribusi yang sangat signifikan terhadap perkembangan bidang ilmu fisika, secara khusus fisika kebumian (geofisika) adalah diketahuinya hubungan trigonal antara sifat-sifat magnetik - mineralogi/komposisi kimia - granulometri pada endapan piroklastik. Hubungan trigonal tersebut akan berimplikasi pada semakin sederhana/pendeknya tahapan analisis (karena dua parameter/kondisi dapat menjelaskan tiga kondisi/keadaan) ketika melakukan kajian serupa pada objek yang serupa. Sementara analisis terpadu terhadap variasi sifat magnetik, mineralogi, komposisi kimia serta morfologi pada setiap lapisan endapan piroklastik diharapkan dapat digunakan untuk menentukan proses atau mekanisme paleovulkanik termasuk kegempaan vulkanik disuatu

daerah. Pemahaman yang baik tentang paleovulkanism akan berimplikasi pada pengenalan pola dan karakteristik erupsi gunung api yang dapat memicu bencana pada suatu daerah. Keterbaruan dalam penelitian ini akan dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi.

BAB IV. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan sampel berupa endapan piroklastik yang diperoleh dari 5 (lima) lokasi atau situs berbeda di Sulawesi Utara. Pengambilan sampel dilakukan pada beberapa titik dipermukaan serta pada setiap lapisan atau *layer* berbeda untuk setiap situs endapan piroklastik. Sampel-sampel yang diperoleh selanjutnya disimpan dalam holder-holder plastik untuk dipreparasi lebih lanjut.

Penelitian pada Tahun I (2018) secara umum ingin melihat sifat-sifat magnetik serta morfologi dan komposisi geokimia pada granulometri berbeda dari suatu endapan piroklastik. Oleh karena itu tahap pertama yang dilakukan adalah analisis granulometri. Secara umum hal-hal yang dilakukan pada tahap ini adalah mengeringkan sampel-sampel hingga memiliki kadar air yang relatif sama, memisahkan ukuran bulir endapan piroklastik melalui pengayakan pada empat ukuran mesh yang berbeda, dan menentukan fraksi ukuran bulir. Tahap berikut yang akan dilakukan adalah mengkarakterisasi sampel-sampel pada setiap ukuran bulir berbeda tersebut dengan metode magnetik serta melakukan observasi komposisi dengan menggunakan *X-Ray Fluorescence* (XRF). Secara umum pengukuran-pengukuran yang akan dilakukan untuk proses karakterisasi tersebut adalah sebagai berikut:

- Pengukuran suseptibilitas magnetik

Suseptibilitas magnetik diukur menggunakan Bartington Suseptibility Meter dengan sensor 2B. Pengukuran dilakukan pada dua frekwensi berbeda yaitu 470 Hz dan 4700 Hz untuk memperoleh parameter suseptibilitas magnetik frekwensi rendah (χ_{LF}) dan suseptibilitas magnetik frekwensi tinggi (χ_{HF}) serta parameter suseptibilitas bergantung frekwensi atau *frequency dependent susceptibility* (χ_{FD}). χ_{FD} dalam penelitian ini digunakan untuk mengindikasikan konsentrasi bulir superparamagnetik dalam sampel.

- Pengukuran isothermal remanent magnetization (IRM)

Pengukuran IRM dilakukan dengan cara memberikan induksi medan searah (DC) secara bertahap kepada sampel hingga mencapai 1 T. Hal ini dilakukan untuk mengidentifikasi pada medan DC berapa magnetisasi pada suatu sampel mulai tersaturasi. Medan saturasi digunakan untuk menentukan mineral magnetik yang dominan dalam sampel.

- Pengukuran kurva histeresis magnetik

Pengukuran dalam hal ini akan dilakukan dengan alat *vibrating sample magnetometer* (VSM) yang berada di Pusat Studi Teknologi Bahan dan Mineral BATAN Serpong. Pengukuran ini prinsipnya untuk melihat perubahan magnetisasi terhadap efek medan yang kemudian dapat menghasilkan empat parameter histeresis magnetik yaitu Magnetik Saturasi (M_s), Magnetik Saturasi Remanen (M_{rs}), Magnetik Koersivitas (C), dan Magnetik Koersivitas Remanen (C_r). Pengukuran ini bertujuan untuk analisis mineralogi, serta konsentrasi dan domain magnetik dari sampel. Analisis domain magnetik dalam hal ini akan menggunakan metode estimasi *Day* seperti dalam Evans dan Heller (2003).

- Pengukuran XRF

Proses pengukuran dan observasi ini dilakukan untuk memperoleh informasi komposisi unsur-unsur utama, mineral-mineral, serta morfologi bulir magnetik maupun non magnetik yang terdapat dalam sampel. Pengukuran XRF telah dilakukan di Laboratorium Hidrogeologi ITB - Bandung.

BAB V. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

V.1. Fraksi Ukuran Bulir

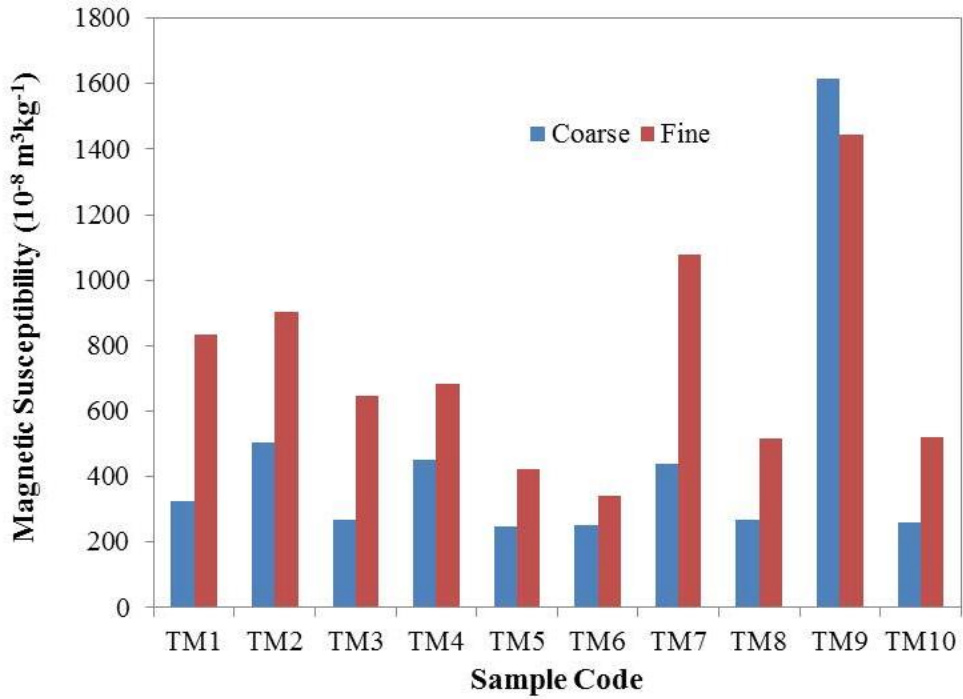
Tabel 1 menunjukkan fraksi ukuran bulir pada sampel yang berasal dari daerah Tanjung Merah (kode sampel TM), Sulawesi Utara. Pengkodean TM-1 sampai TM-10 menunjukkan 10 lapisan berbeda pada endapan piroklastik di daerah Tanjung Merah.

Tabel 1. Persentase berat untuk empat kategori ukuran bulir.

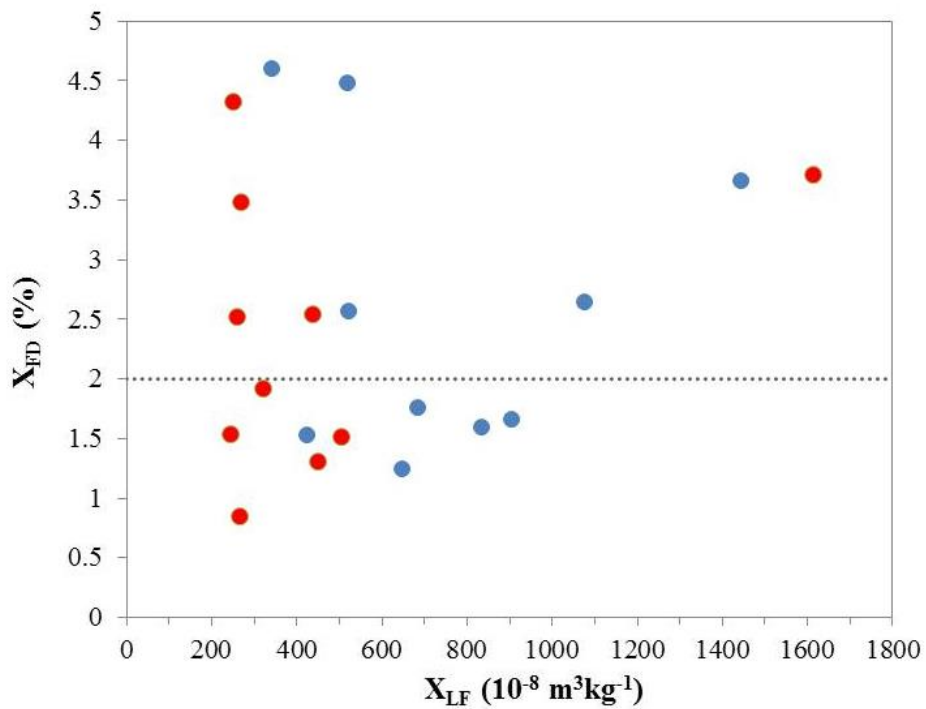
No	Kode	Ukuran (%)			
		A	B	C	D
1	TM-1	46.01	44.65	5.87	3.47
2	TM-2	53.60	36.50	7.19	2.71
3	TM-3	60.01	38.53	1.46	0.00
4	TM-4	40.71	50.51	7.50	1.28
5	TM-5	71.05	26.77	2.18	0.00
6	TM-6	65.88	32.55	1.58	0.00
7	TM-7	44.29	53.61	2.11	0.00
8	TM-8	63.52	29.24	5.04	2.21
9	TM-9	49.48	45.42	3.75	1.34
10	TM-10	72.79	27.21	0.00	0.00

V.2. Suseptibilitas Magnetik

Suseptibilitas magnetik diukur pada dua kategori ukuran bulir, yaitu bulir ukuran lebih besar (*coarse*) dan bulir halus (*fine*). Data menunjukkan bahwa secara umum nilai suseptibilitas magnetik pada bulir ukuran *fine* lebih tinggi dibandingkan dengan bulir *coarse*. Range nilai suseptibilitas magnetik pada ukuran *coarse* adalah $247,44 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1} - 1615,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$, sedangkan pada bulir ukuran *fine* adalah $340,76 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1} - 1444,02 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Gambar 3 dan 4 masing-masing menunjukkan variasi nilai suseptibilitas magnetik dan suseptibilitas magnetik bergantung frekwensi setiap lapisan pada kategori endapan berbulir *coarse* dan endapan berbulir *fine*.



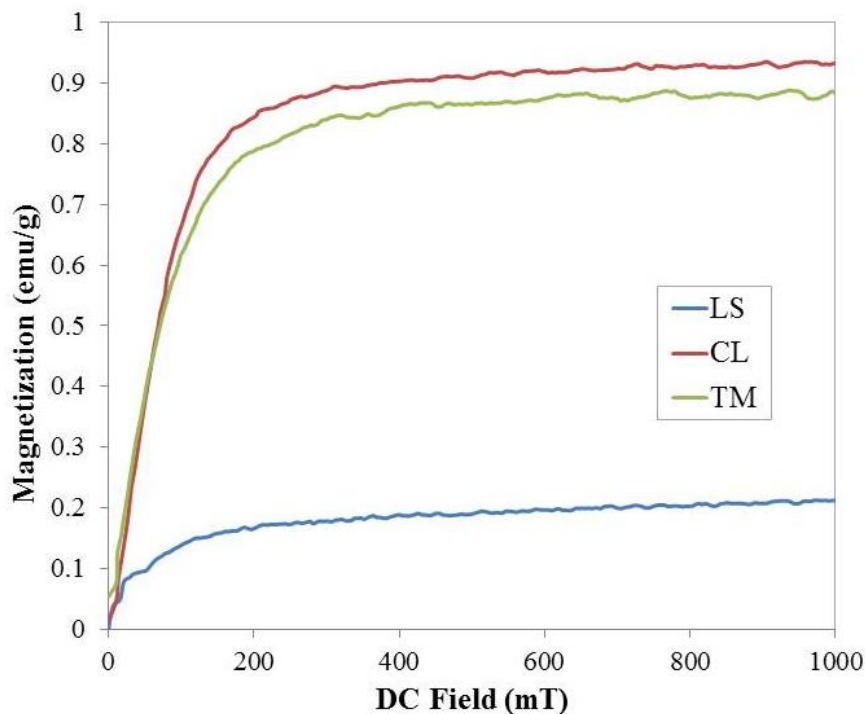
Gambar 3. Variasi nilai suseptibilitas pada 10 lapisan endapan piroklastik di daerah Tanjung Merah.



Gambar 4. Perbandingan nilai suseptibilitas magnetik bergantung frekwensi dengan nilai suseptibilitas magnetik.

V.3. Magnetisasi Remanen Isothermal

Gambar 5 memperlihatkan representasi hasil pengukuran IRM untuk sampel dari lokasi Tanjung Merah (TM), Citra Land (CL), dan Lansot (LS). Masing-masing diwakili oleh sampel TM-1, CL-1, dan LS-1. Akusisi medan DC menunjukkan bahwa magnetisasi semua sampel tersaturasi pada medan di bawah 300 mT. Hal ini mengindikasikan bahwa sifat magnetik pada sampel-sampel tersebut secara dominan dipengaruhi oleh mineral magnetite (Fe_3O_4). Tingkat saturasi magnetisasi atau Saturation Isothermal Remanent Magnetization (SIRM) pada sampel CL-1 relatif lebih tinggi dari sampel TM-1 dan LS-1, masing-masing secara berurut adalah 0,88 emu/g, 0,84 emu/g, dan 0,16 emu/g.

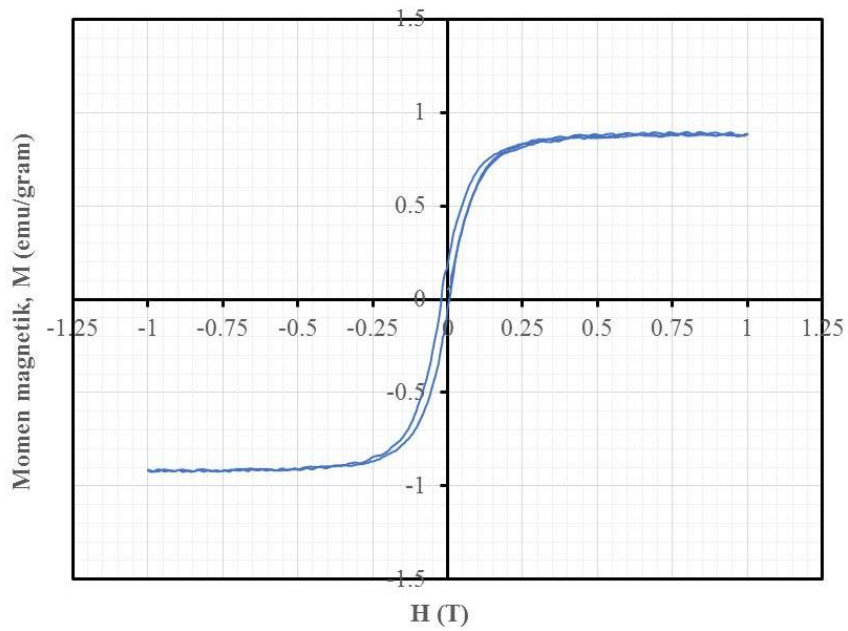


Gambar 5. Akusisi IRM sampel-sampel dari TM, CL, dan LS menunjukkan medan DC yang tersaturasi di bawah 300 mT

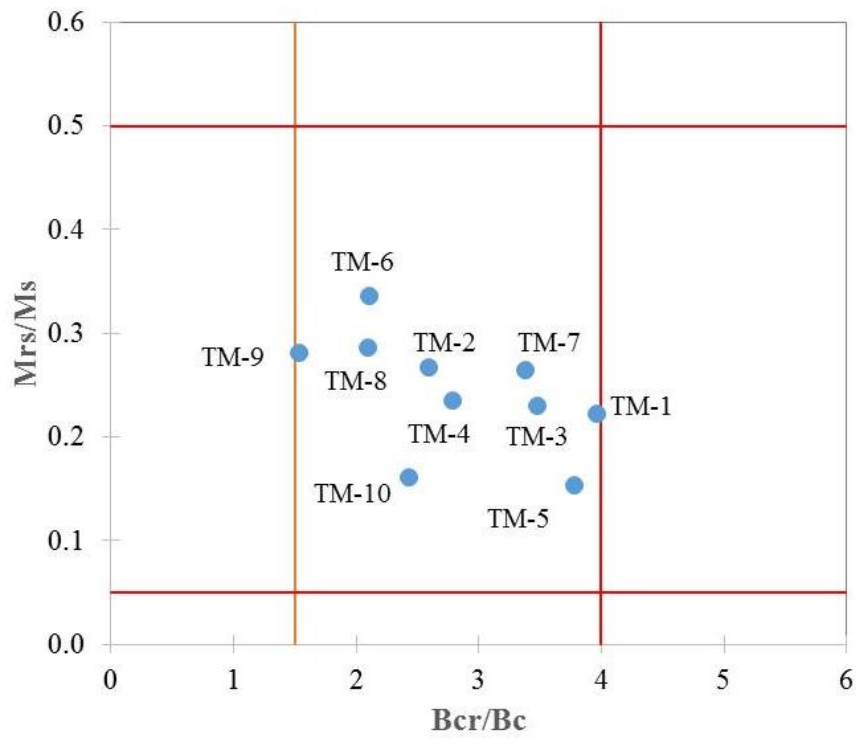
V.4. Pengukuran Histeresis Magnetik

Gambar 6 menunjukkan kurva histeresis magnetik pada sampel dengan kode TM-1. Data histeresis magnetik pada semua lapisan selanjutnya diolah untuk mendapatkan nilai-nilai Magnetik Saturasi (M_s), Magnetik Saturasi Remanen (M_{rs}), Magnetik Koersivitas (C), dan Magnetik Koersivitas Remanen (C_r). Nilai-nilai tersebut diplot berdasarkan diagram yang diperkenalkan oleh Day dkk (Gambar 7) untuk mengidentifikasi domain magnetiknya. Dari

hasil plot menggunakan diagram Day diperoleh bahwa domain magnetik dari semua sampel didominasi oleh pseudo-single domain (PSD).



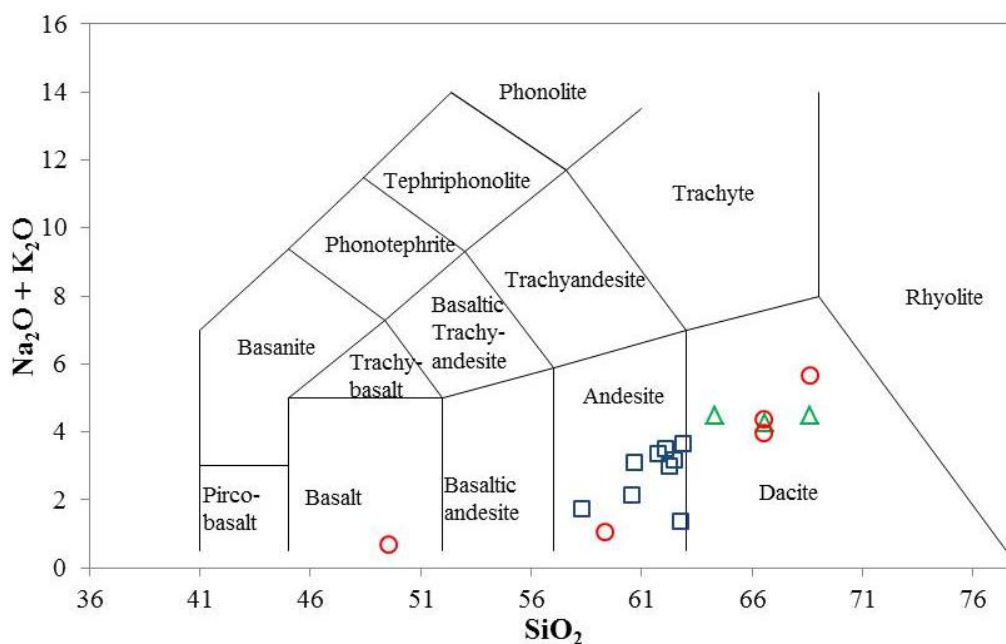
Gambar 6. Kurva histeresis magnetik sampel TM-1.



Gambar 7. Diagram Day sampel-sampel TM.

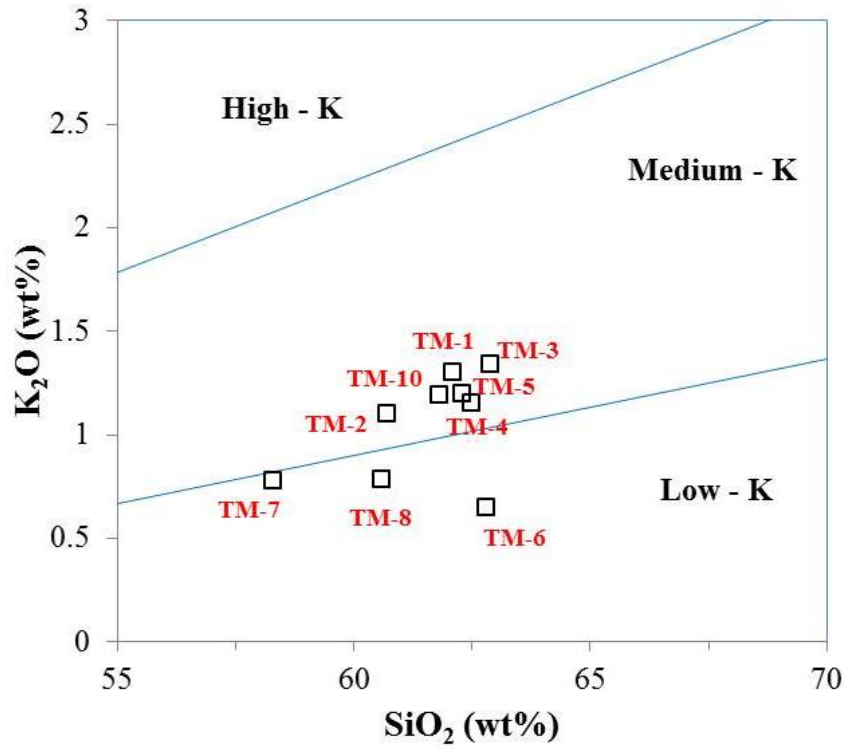
V.5. Pengukuran XRF

Pengukuran XRF menghasilkan data unsur-unsur utama (*major elements*) dan beberapa unsur pendukung serta oksida-oksida utama dari sampel setiap lapisan endapan piroklastik. Data kemudian diolah untuk menentukan klasifikasi batuan vulkanik sebagai sumber endapan piroklastik berdasarkan Total Alkalis versus Silica (TAS) diagram. Hasil yang diperoleh adalah endapan piroklastik di daerah Tanjung Merah berasal dari batuan vulkanik andesite (Gambar 8), dengan kandungan Silika berkisar antara 57% - 63% dan kandungan $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ berada dibawah 4%.

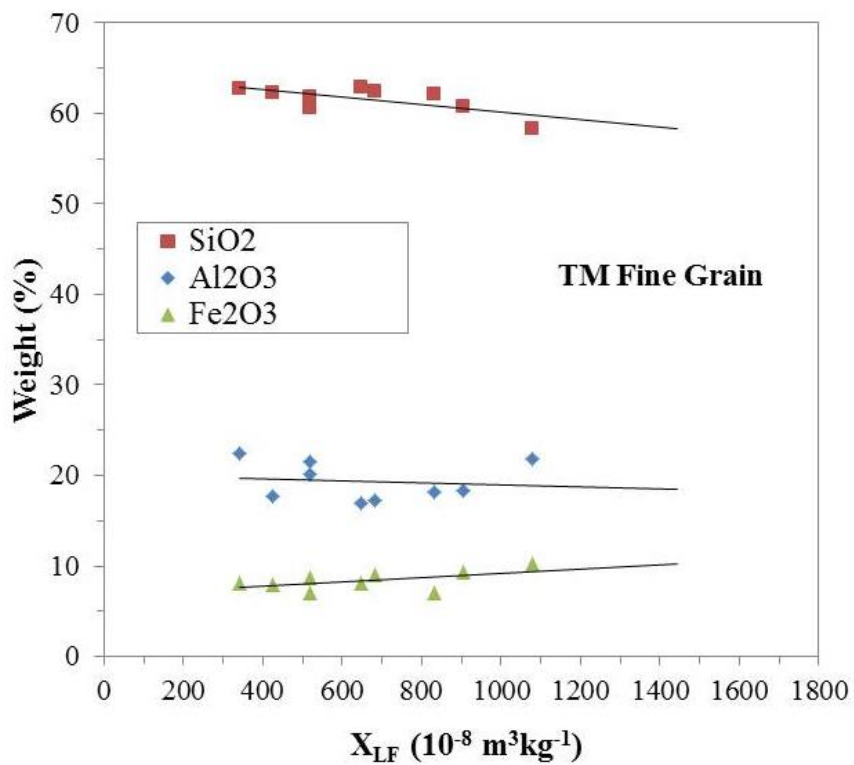


Gambar 8. Pengkategorian sumber dari setiap lapisan endapan piroklastik. Kotak berwarna biru adalah sampel-sampel TM sedangkan yang lain adalah sampel pembanding. Dari hasil tersebut terlihat bahwa sumber endapan piroklastik di lokasi TM adalah batuan vulkanik andesite.

Gambar 9 menunjukkan bahwa sampel-sampel endapan piroklastik di daerah Tanjung Merah masuk pada kategori andesite dengan rendah hingga sedang kandungan K. Gambar 10 adalah hubungan antara konsentrasi oksida-oksida utama dalam endapan piroklastik dengan nilai susceptibilitas magnetik. Terlihat bahwa korelasi positif terjadi antara X_{LF} dan Fe_2O_3 sementara hubungan antara X_{LF} dengan Al_2O_3 dan SiO_2 membentuk korelasi negatif. Hubungan antara oksida-oksida utama pada ukuran bulir berbeda membentuk kluster-kluster tersendiri (Gambar tidak ditampilkan). Hal ini mengindikasikan bahwa hubungan trigonal dari oksida-oksida utama tertentu dapat digunakan sebagai penanda ukuran bulir.



Gambar 9. Perbandingan K_2O terhadap SiO_2 .



Gambar 10. Hubungan antara susceptibilitas magnetik dengan beberapa oksida utama dalam endapan piroklastik

V.6. Luaran yang Telah Dicapai

Adapun luaran yang telah dicapai saat ini adalah:

1. Presentasi pada seminar internasional Conference on Operations Research (ICOR) 2018.
2. Draft artikel untuk publikasi internasional. Jurnal yang akan dituju adalah Geosciences MDPI (terindeks scopus) dengan alamat website adalah <https://www.mdpi.com/journal/geosciences>

BAB VI. RENCANA TAHAP BERIKUTNYA

Penelitian ini menyisakan beberapa hal yang diharapkan segera rampung, yaitu:

1. Finalisasi pengolahan data dan analisis
2. Submit artikel ke jurnal Geoscience (MDPI) terindeks scopus.

Pada tahun II (2019), penelitian akan difokuskan pada kajian endapan piroklastik yang terstratigrafi. Pengambilan dan pengukuran akan dilakukan pada resolusi yang lebih tinggi, interval sekitar 5 – 10 cm, untuk mengidentifikasi kemungkinan adanya perbedaan karakteristik fisis dan geokimia pada suatu lapisan serta dengan tujuan untuk mengetahui proses/mekanisme paleovulkanik yang terkait dengan erupsi dan kegempaan vulkanik di Sulawesi Utara berdasarkan variasi sifat magnetik dan mineralogi, termasuk didalamnya komposisi geokimia dan morfologi.

BAB VII. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan sementara dari penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Endapan piroklastik di daerah Tanjung Merah (TM) didominasi oleh endapan dengan ukuran bulir yang relatif besar (*coarse*).
2. Nilai suseptibilitas magnetik endapan piroklastik TM adalah $247,44 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ – $1615,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ dengan 50% sampel mengandung bulir-bulir superparamagnetik.
3. Bulir-bulir mineral magnetik pada sampel memiliki domain state pseudosingle domain (PSD).
4. Endapan piroklastik di daerah TM bersumber dari batuan andesite dengan kadar K antara rendah dan sedang.
5. Hubungan ternary $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{Fe}_2\text{O}_3$ dapat digunakan untuk estimasi ukuran bulir secara relatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Findorak, R., Frohlichova, M., Legemza, J. 2014. Potential of Ilmenite Sand Application in the Iron Ore Materials Agglomeration. *Metalurgija* 53 (1), 9-12.
- Khwaja, H.A., Aburizaiza, O.S., ..., Simpson, I.J. 2015. Study of Black Sand Particles from Sand Dunes in Badr, Saudi Arabia using Electron Microscopy. *Atmosphere* 6, 1175 – 1194.
- Skomski, R. 2008. *Simple Model of Magnetism*. Oxford University Press. New York.
- Tamuntuan, G., Bijaksana, S., Fauzi, U., Maryunani, K. 2015. Parameterization of Magnetic Viscosity and Its Application in Inferring Magnetic Grains in Natural Samples. *AIP Conference Proceeding* 1656, 070012-1 – 070012-4.
- Tamuntuan, G., Bijaksana, S., King, J., Russell, J., Fauzi, U., Maryunani, K., Aufa, N., Safiuddin, L.O. 2015. Variation of Magnetic Properties in Sediments from Lake Towuti, Indonesia, and Its Paleoclimatic Significance. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 420, 163 – 172.
- Vasudevan, G. 2016. Performance on Used Iron Sand as Concrete Admixture. *Prosiding 3rd International Conference on Civil, Biological, and Environmental Engineering*, 10-13.
- Yudha, S., Angasa, E., Fitriani, D., Falahudin, A. 2017. Iron Sand – ZnO Based Materials of Natural Origin for Dye Decolorization Under Sunlight Irradiation. *AIP Conference Proceeding* 1823, 020114-1 – 020114-6.
- Yulianto, A., Bijaksana, S., Loeksmanto, W. 2002. Karakterisasi Magnetik dari Pasir Besi Cilacap. *Jurnal Fisika – Himpunan Fisika Indonesia* A5 (0527).
- Zhang, Z., Li, J., Li, X., Huang, H., Zhou, L., Xiong, T. 2012. High Efficiency Iron Removal from Quartz Sand using Phosphoric Acid. *International Journal of Mineral Processing* 114-117, 30-34.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

1 Article

2 Magnetic and Geochemical Analysis of Pyroclastic 3 Deposit in North Sulawesi

4 Gerald Tamuntuan ^{1,*}, Hanny Sangian ¹, and Guntur Pasau ¹

5 ¹ Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sam Ratulangi University, Manado 95115;
6 pasaujunior@gmail.com; hannysangian@yahoo.co.id

7 * Correspondence: gtamuntuan@gmail.com; Tel.: +62-812-445-0886

8 Received: date; Accepted: date; Published: date

9 **Abstract:** North Sulawesi is one of the volcanic regions in Indonesia. Volcanic activity in this area
10 was seen, among others, with the discovery of stratified pyroclastic deposits in several places.
11 Although this sediment can be used to uncover the process of volcanism in this area in the past
12 (paleovolcanic), but the study of the process and mechanism of paleovcanics in North Sulawesi by
13 utilizing pyroclastic deposits is hardly found. Therefore, studies have been carried out on
14 pyroclastic deposits using magnetic methods, X-ray spectroscopy and granulometric analysis. The
15 study was carried out at the pyroclastic deposit site in the Tanjung Merah (TM) area, North
16 Sulawesi which has 10 sediment layers. The results obtained indicate that the sediment in each
17 layer is dominated by coarse grains. The magnetic susceptibility of TM pyroclastic deposits has a
18 value varying between $247.44 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ - $1615.6 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Frequency-dependent
19 magnetic susceptibility shows that 50% of the sample contains superparamagnetic grains. Magnetic
20 mineral grains in the sample generally have a pseudosingle-domain (PSD) state domain. The
21 results of XRF data analysis showed that pyroclastic deposits in the TM area were sourced from
22 andesite rocks with K levels from low to moderate.

23 **Keywords:** Pyroclastic deposit; Magnetic properties; Geochemical; North Sulawesi

24

25 1. Introduction

26 North Sulawesi is one of the regions with complex geodynamic problems. This area has several
27 faults, surrounded by subduction zones in the Sulawesi Sea and the Maluku Sea, and is also
28 inhabited by several active volcanoes that are relatively vulnerable to earthquakes and disasters
29 caused by volcanic processes. One sign of volcanic eruption is the presence of falling pyroclastic
30 material (Cioni et al, 2003). Pyroclastic material deposited in most areas of North Sulawesi is
31 relatively thick and forms layers which represent episodes and characteristics of eruptions over
32 time. This certainly opens up an opportunity to understand the past volcanic process (paleovolcanic)
33 from time to time because the characteristics of the deposited pyroclastic material are closely related
34 to the intensity and magnitude of the eruption / volcanic eruption (Bellotti et al., 2010) which also
35 has implications for the seismicity produced. A good understanding of paleovulkanism will have
36 implications for the introduction of patterns and characteristics of volcanic eruptions that can trigger
37 disasters in an area (Siebe et al, 1995).

38 Pyroclastic deposits are one of the potential objects for paleovolcanic studies (Jessop et al, 2016;
39 Pal et al, 2010). This sediment was formed as a deposition resulting from volcanic eruptions in the
40 form of rock fragments with different grain sizes (granulometry), mineralogy, and different
41 morphology. The rock that is intruded (in the form of fragmentation) is basically formed as a result
42 of cooling of the magma. During the formation process of magma, there is a growth of magnetic
43 minerals with different characteristics in a rock affected by the location of its formation in the vent
44 volcano. When an eruption occurs, temperature conditions and gas expansion can affect the

45 morphology and size of the grain from the pyroclastic material thrown. These things can be a marker
46 in analyzing the process or mechanism of paleovolcanics.

47 Studies of the magnetic properties of pyroclastic deposits in North Sulawesi have not been
48 carried out, whereas the understanding of the characteristics of magnetic properties supported by
49 mineralogical analysis and granulometry can be a very potential way to uncover the paleovolcanic
50 mechanism in North Sulawesi. Therefore, it is necessary to characterize the magnetic properties,
51 mineralogy, and granulometry of pyroclastic deposits.

52 2. Materials and Methods

53 The samples in this study are pyroclastic deposits obtained from Tanjung Merah area in North
54 Sulawesi (Figure 1). Five samples were carried out at each layer from pyroclastic deposit site. The
55 samples are then dried to have the same relative water content. Separation of grain size of
56 pyroclastic deposits is done by sieving on three different mesh sizes. Determination of the grain size
57 fraction is done by weighing the sieving results. After that, the samples were characterized using
58 magnetic methods and Fluorescence X-Ray (XRF). In general the measurements that have been
59 carried out are as follows:

60 - Magnetic susceptibility measurement

61 Magnetic susceptibility was measured at Rock Magnetic Laboratory, Institut Teknologi
62 Bandung, using the Bartington Susceptibility Meter with a 2B sensor. Measurements were carried
63 out on two different frequencies of 470 Hz and 4700 Hz to obtain the low frequency magnetic
64 susceptibility parameter (χ_{LF}) and high frequency magnetic susceptibility (χ_{HF}) as well as frequency
65 dependent susceptibility (χ_{FD}). χ_{FD} in this study will be used to indicate superparamagnetic grain
66 concentration in the sample.

67 - Histeresys magnetic measurement

68 The measurement of magnetic hysteresis was carried out with a vibrating magnetometer (VSM)
69 device located at the Center for Materials and Mineral Technology Studies at BATAN, Serpong. In
70 principle, this measurement was done in order to obtain the magnetization changes to the field effect
71 which can then produce four magnetic hysteresis parameters, which are Magnetic Saturation (Ms),
72 Magnetic Saturation Remanen (Mrs), Magnetic Coercivity (C), and Magnetic Remanent Coercivity
73 (Cr). These parameters are then used for mineralogical analysis, as well as the concentration and
74 magnetic domain of the sample. Magnetic domain analysis in this case will use Day estimation
75 methods as in Evans and Heller (2003).

76



77

78 Figure 1. Sampling location at Tanjung Merah, North Sulawesi. This exposure shows
79 pyroclastic fall deposit probably from several explosive eruptions.

80

81 - Observation of X-Ray Fluorescence (XRF)

82 The XRF observation process was carried out to obtain information on the composition of the
 83 main elements, minerals, and the magnetic and non-magnetic grain morphology contained in the
 84 sample. XRF measurements were carried out at the Hydrogeology Laboratory, Institut Teknologi
 85 Bandung.

86 **3. Results**87 **3.1. The Fraction of Grain Size**

88 Pyroclastic deposits in the Tanjung Merah area have 10 different layers (Figure 2). Samples are
 89 taken from each layer and given codes ranging from TM-1 to TM-10. Table 1 shows the grain size
 90 fraction (in wt%) in samples from the Tanjung Merah (TM) area, North Sulawesi.

91

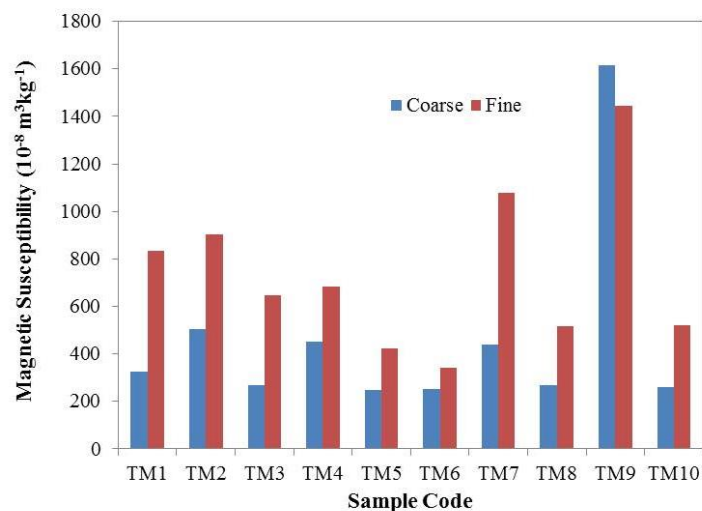
92 Table 1. Grain size fraction (in weight percent) in each layer of pyroclastic deposits
 93 in Tanjung Merah

No	Kode	Fraction of grain size (wt%)			
		A	B	C	D
1	TM-1	46.01	44.65	5.87	3.47
2	TM-2	53.60	36.50	7.19	2.71
3	TM-3	60.01	38.53	1.46	0.00
4	TM-4	40.71	50.51	7.50	1.28
5	TM-5	71.05	26.77	2.18	0.00
6	TM-6	65.88	32.55	1.58	0.00
7	TM-7	44.29	53.61	2.11	0.00
8	TM-8	63.52	29.24	5.04	2.21
9	TM-9	49.48	45.42	3.75	1.34
10	TM-10	72.79	27.21	0.00	0.00

94

95 **3.2. Magnetic Susceptibility**

96 Magnetic susceptibility is measured in two categories of grain sizes, which are the coarse grains and
 97 the fine one. The data shows that in general the value of magnetic susceptibility in fine-grain size is
 98 higher than coarse grain. The range of magnetic susceptibility value on coarse size is $247,44 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ –
 99 $1615,6 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$, while in fine size grain is $340,76 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ – $1444,02 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Figures 3 and 4
 100 respectively show variations in the value of magnetic susceptibility and frequency dependent magnetic
 101 susceptibility depending on the frequency of each layer in the coarse-grained deposit category and
 102 fine-grained deposits.



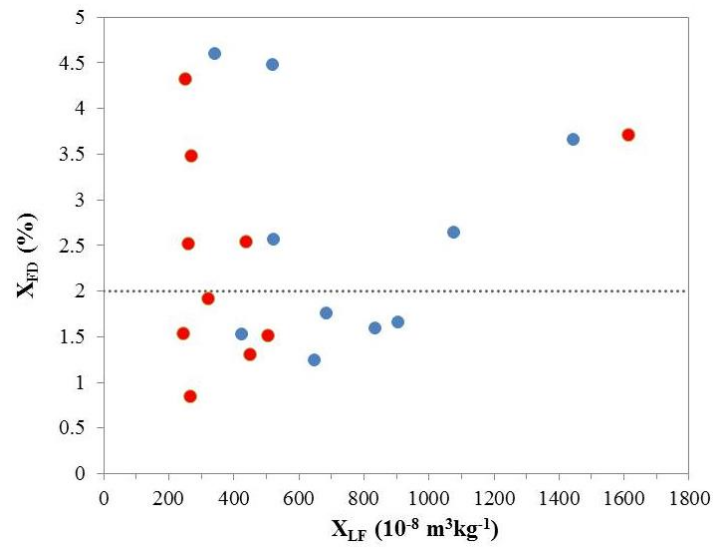
103

104

Figure 2. Variation in susceptibility values for 10 layers of pyroclastic deposits

105

in Tanjung Merah area.



106

Figure 3. Ratio of frequency dependent magnetic susceptibility and magnetic susceptibility.

107

108

109

V.3. Hysteresis Magnetic

110

Figure 4 shows the magnetic hysteresis curve from sample TM-1. In giving the DC magnetic field to the sample, it was seen that the magnetic moment began to saturate in the 300 mT field. This indicates that magnetic minerals which give a dominant influence to the sample are magnetite (Fe_3O_4). Magnetic hysteresis curves on all layers are then processed to obtain the values of Magnetic Saturation (M_s), Magnetic Saturation Remanen (M_{rs}), Magnetic Coercivity (C), and Magnetic Remanent Coercivity (Cr). These values are plotted based on the diagram introduced by Day et al (Figure 5) to identify the magnetic domain. From the results of the plot using Day diagrams it was obtained that the magnetic domain of all samples was dominated by pseudo-single domain (PSD).

111

112

113

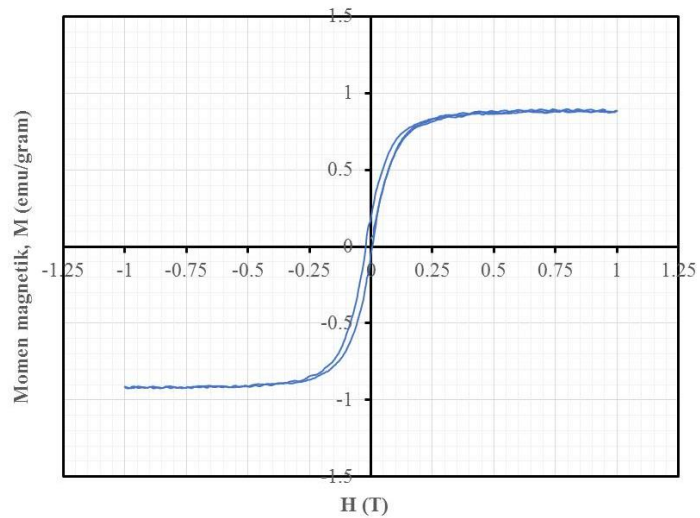
114

115

116

117

118



119

Figure 4. Hysteresis magnetic curve of sample TM-1.

120

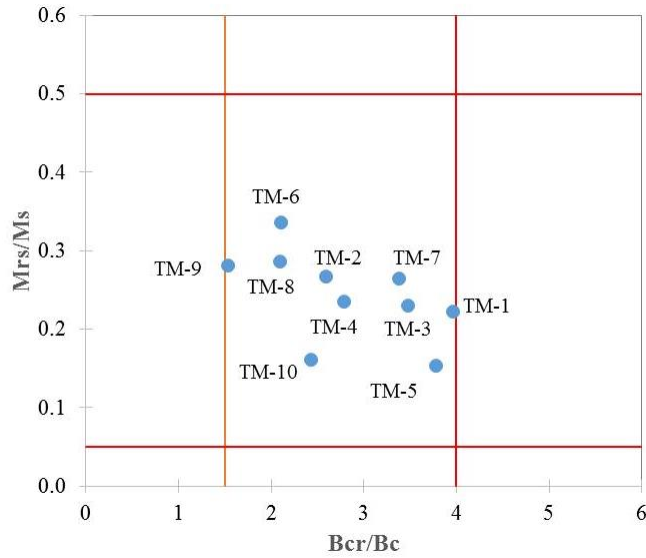


Figure 5. Day diagram show that the domain state of all samples are pseudo-single domain.

121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132

V.4. X-Ray Fluorescence (XRF) Measurement

XRF measurements produce data on major elements, some minor elements as well as the main oxides of the sample in each layer of pyroclastic deposits. The data is then processed to determine the classification of volcanic rocks as a source of pyroclastic deposits based on Total Alkalis versus Silica (TAS) diagrams. The diagram shows that pyroclastic deposits in the Tanjung Merah area originate from andesite volcanic rocks (Figure 6), with Silica content ranging from 57% - 63% and Na₂O + K₂O content below 4%. Figure 8 shows that samples of pyroclastic deposits in the Tanjung Merah area are categorized as andesite with low to medium K.

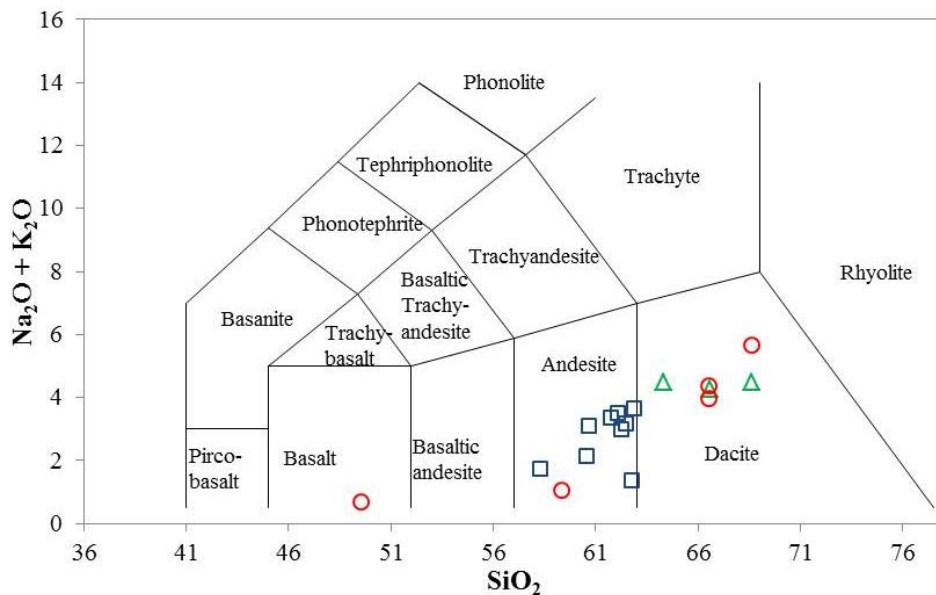


Figure 6. TAS diagram indicate that the source of pyroclastic deposits in the TM location are andesite volcanic rocks. Blue boxes are TM samples while others are comparison samples

133
134
135
136
137
138

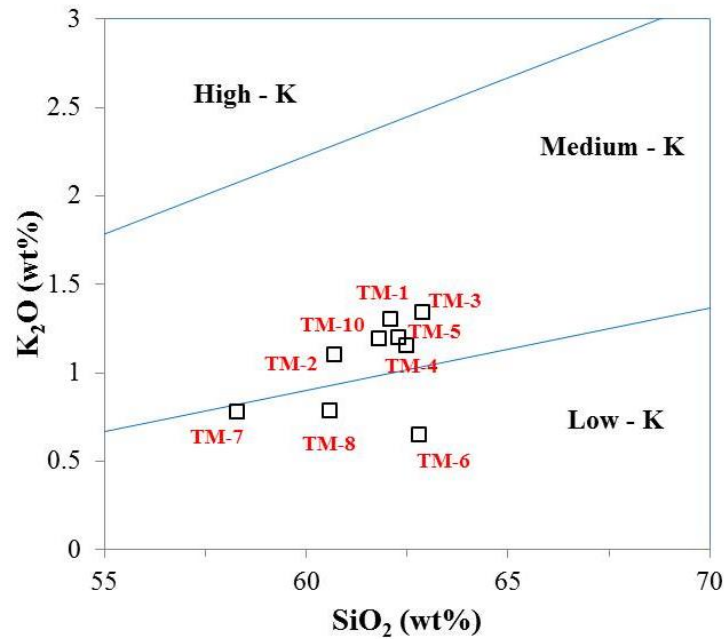


Figure 8. Ratio of K₂O to SiO₂ shows that pyroclastic deposits in TM area are andesite with low-medium potassium concentrations

139
140
141

142 5. Conclusions

143 Pyroclastic deposits in the Tanjung Merah (TM) area are dominated by sediments with
144 relatively large coarse sizes. The magnetic susceptibility value of TM pyroclastic deposits is $247.44 \times$
145 $10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ - $1615.6 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ with 50% samples containing superparamagnetic grains. Magnetic
146 mineral grains on the sample have a pseudosingle domain (PSD) state domain. Pyroclastic deposits
147 in the TM area are sourced from andesite rocks with K levels between low and medium.

148 **Author Contributions:** G.T., H.S., and D.D. conceived and designed the experiments; G.T and G.P. collected the
149 samples; G.T and H.S. performed the experiments; and G.T., H.S., and G.P. analyzed the data and wrote the
150 paper.

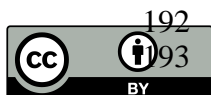
151 **Funding:** This research was funded by *Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) Ristek Dikti* through
152 *Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT)* research grant to GT based on Letter no. 3/E/KPT/2018 and
153 contract no. 120/UN12.13/LT/2018.

154 **Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

155 References

- 156 Bellotti, F., Capra, L., Sarocchi, D., D'Antonio, M. 2010. Geostatistics and Multivariate Analysis as a Tool to
157 Characterize Volcaniclastic Deposits: Application to Nevado de Toluca Volcano, Mexico. *Journal of*
158 *Volcanology and Geothermal Research* Vol. 191, 117-128.
- 159 Bradley, R.S., Heller, F. 1999. Preface, vii – xii *dalam* Maher, B.A. dan Thompson, R., (eds.), *Quaternary Climates,*
160 *Environments and Magnetism*. Cambridge University Press, Cambridge, 390 p.
- 161 Cioni, R., Longo, A., Macedonio, G., Santacroce, R., Sbrana, A., Sulpizio, R., Daniele, A. 2003. Assessing
162 Pyroclastic Fall Hazard through Field Data and Numerical Simulations: Example from Vesuvius.
163 *Journal of Geophysical Research* 108 (B2), 1-11, doi:10.1029/2001JB000642
- 164 Dunlop, D.J., Özdemir, Ö., 1997. *Rock Magnetism: Fundamental and Frontiers*. Cambridge University Press, UK,
165 573 p.
- 166 Evans, M.E., Heller, F., 2003. *Environmental Magnetism: Principles and Application of Enviromagnetics*. Academic
167 Press, New York, 299 p.
- 168 Gubbins, D., Herrero-Bervera, E., 2007. *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. Springer, Dordrecht,
169 The Netherlands, 1054 p.

- 170 Jessop, D.E., Gilchrist, J., Jellinek, A.M., Roche, O. 2016. Are Eruptions from Linear Fissures and Caldera Ring
171 Dykes More Likely to Produce Pyroclastic Flows?. *Earth and Planetary Science Letters* Vol. 454, 142-153.
- 172 Lagroix, F., Banerjee, S.K., Jackson, M.J. 2004. Magnetic Properties of the Old Crow Tephra: Identification of a
173 Complex Iron Titanium Oxide Mineralogy. *Journal of Geophysical Research – Solid Earth* 109, B01104,
174 doi:10.1029/2003JB002678
- 175 Pal, T., Ghosh, B., Bhattacharya, A., Badhuri, S.K. 2010. Felsic Tuff from Rutland Island – A Pyroclastic Flow
176 Deposit in Miocene-Sediments of Andaman-Java Subduction Complex. *Journal of Earth System Science*
177 Vol. 119 (1), 19-25.
- 178 Passier, H.F., De Lange, G.J., Dekkers, M.J. 2001. Magnetic Properties and Geochemistry of the Active Oxidation
179 Front and the Youngest Sapropel in the Eastern Mediterranean Sea. *Geophysic Journal International*
180 145, 604-614.
- 181 Putnis, A., 1995. *Introduction to Mineral Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 457 p.
- 182 Siebe, C., Macias, J.L., Abrams, M., Rodrigues, S., Castro, R., Delgado, H. 1995. *Quaternary Explosive Vulcanism*
183 *and Pyroclastic Deposits in East Central Mexico: Implications for Future Hazardz*. Field Trip Guide Book #1
184 Geological Society of America Annual Meeting 1995.
- 185 Sigurdsson, H., Houghton, B.F., McNutt, S.R., Rymer, H., Stix, J. 2000. *Encyclopedia of Volcanoes*. Academic Press,
186 San Diego, 1417 p.
- 187 Tamuntuan, G., Bijaksana, S., King, J., Russell, J., Fauzi, U., Maryunani, K., Aufa, N., Safiuddin, L. 2015.
188 Variation of Magnetic Properties in Sediments from Lake Towuti, Indonesia, and Its Paleoclimatic
189 Significance. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 420, 163-172.
- 190 Viglioti, L. 2014. Magnetic Properties of the Campanian Ignimbrite and the Marine Y5 Tephra Layer. Geological
191 Society, London, Special Publications, 396.



© 2018 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Certificate



is awarded to
Gerald Tamuntuan
as

PRESENTER

The 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON OPERATIONS RESEARCH 2018

Theme: *Optimal Decisions for Marine Tourism*

Which was Held at Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sam Ratulangi University - Manado
20-21 September 2018

President of IORA

Dean of Faculty of Mathematics and
Natural Sciences, Sam Ratulangi University

Chairman of The Committee



Prof. Dr. H. Sudradjat Supian, M.Sc.



Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc.



Dr. Nelson Nainggolan, M.Si.

