

**LAPORAN TAHUN TERAKHIR**

**PENELITIAN FUNDAMENTAL**



**KARAKTERISASI SIFAT-SIFAT MINERAL MAGNETIK PADA BATUAN BEKU  
DI SULAWESI UTARA UNTUK MENENTUKAN POTENSINYA DALAM  
KAJIAN EVOLUSI TEKTONIK**

**Tahun ke-2 dari rencana 2 tahun**

**Ketua Tim Pengusul:**

**Dr. Gerald Hendrik Tamuntuan, S.Si., M.Si.**

**NIDN: 0006057102**

**Anggota:**

**Guntur Pasau, S.Si., M.Si.**

**NIDN: 0020017006**

**UNIVERSITAS SAM RATULANGI**

**NOPEMBER 2016**

## HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Karakterisasi Sifat-Sifat Mineral Magnetik pada Batuan Beku di Sulawesi Utara untuk Menentukan Potensinya dalam Kajian Evolusi Tektonik


**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 : GUNTUR PASAU SSi., M.Si.  
NIDN : 0020017006  
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi  
Institusi Mitra (jika ada) :  
Nama Institusi Mitra : -  
Alamat : -  
Penanggung Jawab : -  
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 2 dari rencana 2 tahun  
Biaya Tahun Berjalan : Rp 60.000.000,00  
Biaya Keseluruhan : Rp 110.000.000,00

Mengetahui,  
Dekan




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

Manado, 29 - 11 - 2016  
Ketua,



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

Menyetujui,  
Ketua LPPM Univ. Sam Ratulangi



(Prof. Dr. Ir. Inneke F.M. Rumengan, M.Sc.)  
NIP/NIK 195711051984032001

## RINGKASAN

Evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi dapat dikaji melalui karakteristik mineral magnetik pada batuan beku di daerah tersebut. Saat proses pendinginan magma menjadi batuan, terjadi reaksi-reaksi kimia yang antara lain menyebabkan terbentuknya mineral-mineral pembawa sifat magnetik. Mineral-mineral ini saat pembentukannya dipengaruhi oleh intensitas serta arah medan magnetik bumi pada masa tersebut sehingga analisis tentang intensitas serta arah magnetisasi beberapa batuan beku pada suatu daerah berpotensi menyajikan posisi geografis daerah tersebut dari waktu ke waktu. Namun demikian, tingkat kelayakan atau potensi dari suatu batuan beku dalam menyajikan informasi geografis masa lampau sangat dipengaruhi oleh tingkat stabilitas dan karakteristik mineral magnetik yang dikandungnya. Untuk keperluan kajian awal evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi maka telah dilakukan penelitian karakteristik mineral magnetik pada sampel-sampel batuan beku yang diperoleh dari wilayah Bitung, Minahasa Utara, Minahasa dan Tomohon.

Pada tahun I penelitian (2015) telah dilakukan karakterisasi melalui pengukuran nilai anisotropi suseptibilitas magnetik dan remanen magnetik alamiah. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua sampel memiliki nilai suseptibilitas yang relatif tinggi dan bersifat anisotropi dengan tingkat kelonjongan/kepipihan mineral magnetik yang bervariasi. Ukuran mineral magnetik pada sampel batuan secara umum bervariasi antara 0,1 – 135  $\mu\text{m}$  dengan suseptibilitas magnetik sampel antara  $307,46 \times 10^{-8}$  hingga  $1486,80 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ . Faktor bentuk anisotropi suseptibilitas magnetik umumnya adalah *prolate* mengindikasikan sampel adalah batuan beku intrusi berjenis *dyke*. Nilai *mean destructive field* (MDF) sebagai hasil peluruhan remanen magnetik alamiah bervariasi antara 8 hingga sekitar 42 mT mengindikasikan bahwa sampel-sampel yang diukur memiliki tingkat stabilitas magnetik yang berbeda sebagai akibat perbedaan domain magnetik. Dari nilai MDF yang diperoleh, domain magnetik sampel-sampel yang diukur tersebar mulai dari *single domain* (SD), *pseudo single domain* (PSD), hingga *multi domain* (MD). Kurva Zijderfield menunjukkan bahwa demagnetisasi remanen magnetik dalam komponen arah Utara – Timur (deklinasi) dan arah vertikal (inklinasi) mulai relatif stabil setelah pemberian medan bolak-balik 20 mT terhadap sampel. Hal ini mengindikasikan relatif kecilnya pengaruh medan magnetik sekunder pada sampel.

Pada penelitian tahun kedua ini telah dilakukan beberapa pengukuran/analisis seperti X-Ray Fluorescence (XRF), petrografi sayatan tipis, parameter hysteresis kurva, serta isothermal remanent magnetization (IRM). Analisis petrografi dan XRF menunjukkan bahwa sampel-sampel batuan yang digunakan mengandung SiO<sub>2</sub> berkisar 45,2 – 57,3% sehingga dikategorikan basalt hingga andesit piroksen dengan konsentrasi oksida besi terhadap oksida total berkisar antara 15,3 – 26,4%. Perhitungan nilai koersivitas IRM berdasarkan analisis kumulatif Log-Gaussian bernilai dibawah 100 mT mengindikasikan bahwa mineral magnetik yang dominan adalah magnetit. Rasio parameter histeresis berada

pada selang  $1.5 < (B_{cr}/B_c) < 4$  dan  $0.05 < (M_{rs}/M_s) < 0.5$  yang mengindikasikan bahwa mineral magnetik pada sampel memiliki *domain state* pseudo single domain.

Hasil-hasil ini melengkapi hasil-hasil pada penelitian tahun pertama yang semakin memantapkan bahwa batuan beku di daerah Sulawesi Utara umumnya layak menjadi sampel paleomagnetik untuk kajian evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi. Publikasi terkait hasil-hasil yang diperoleh selama dua tahun (2015-2016) sudah dilakukan pada satu seminar internasional dan lima seminar nasional, draft untuk artikel nasional, serta penyelesaian draft ke jurnal internasional yang akan diselesaikan hingga Desember 2016.

**Kata kunci:** Mineral magnetik, batuan beku, Sulawesi Utara

## **PRAKATA**

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas kemurahanNya sehingga penelitian kami sepanjang tahun 2015 hingga 2016 boleh berjalan dengan baik. Penelitian ini telah menghasilkan informasi tentang karakteristik sifat-sifat mineral magnetik pada batuan beku di Sulawesi Utara yang menjadi dasar untuk kajian evolusi ataupun rekonstruksi pergerakan lengan utara Pulau Sulawesi. Kami berterima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian selama dua tahun kerja (2015-2016) melalui skim Penelitian Fundamental. Masukan yang konstruktif tentunya sangat dibutuhkan untuk penyempurnaan hasil-hasil yang kami peroleh. Akhir kata, kiranya hasil penelitian ini boleh bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta berdampak positif untuk umat manusia.

Manado, Nopember 2016

Peneliti

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
RINGKASAN	ii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	2
2.1. Magnetisasi pada Batuan Beku	2
2.2. Perkembangan Kajian Sifat-Sifat Magnetik Batuan dan Peta Jalan Penelitian	4
BAB 3 TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	6
3.1. Tujuan Peneliti	6
3.2. Manfaat Penelitian	6
BAB 4 METODE PENELITIAN	7
BAB 5 HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	9
5.1. Hasil yang dicapai	9
5.1.1. Pengambilan dan preparasi sampel	9
5.1.2. Analisa Isothermal Remanent Magnetization	9
5.1.3. Pengukuran dan Analisa XRF	10
5.1.4. Observasi dan Analisis Petrografi	12
5.1.5. Pengukuran dan Analisis Parameter Histeresis Magnetik	23
5.1.6. Pengukuran dan Analisis Anisotropi Suseptibilitas Magnetik	25
5.1.7. Remanen Magnetik pada Batuan Beku	27
5.2. Luaran yang dicapai	32
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	33
6.1. Kesimpulan	33
6.2. Saran	33
DAFTAR PUSTAKA	34
LAMPIRAN LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Judul Tabel</b>	<b>Hal.</b>
1	Parameter histeresis magnetik pada sampel-sampel batuan dari Lengan Utara Pulau Sulawesi	24

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul Gambar	Hal.
1	Diagram <i>ternary</i> untuk sistem $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$	3
2	Peta jalan penelitian hingga tahun 2025	5
3	<i>Fish bone</i> dari rancangan penelitian yang diusulkan	8
4	Analisis IRM menggunakan pendekatan kuantitatif Log-Gaussian pada sampel LNSOT, (a) linier acquisition plot, (b) gradient acquisition plot.	10
5	Konsentrasi unsur-unsur utama pada sampel batuan	10
6	Konsentrasi oksida pada sampel batuan	11
7	Korelasi beberapa unsur utama dan oksidanya dalam sampel batuan	12
8	Foto Petrografi	22
9	Kurva histeresis salah satu sampel (BP2)	24
10	Diagram Day sampel batuan beku yang ada di lengan utara Pulau Sulawesi	25
11	Variasi nilai suseptibilitas pada sampel-sampel batuan	26
12	Faktor bentuk anisotropi suseptibilitas magnetik pada sampel-sampel dari (a) Minut, (b) Bitung	26
13	Derajat anisotropi suseptibilitas magnetik pada sampel-sampel batuan	27
14	Peluruhan intensitas NRM pada beberapa sampel representatif	28
15	Plot zijderfield untuk sampel dengan kode BP1-5 dari daerah Bitung	29
16	Plot zijderfield untuk sampel dengan kode PNKLN3 dari daerah Bitung	29
17	Plot zijderfield untuk sampel dengan kode LNSOT2 dari daerah Minahasa Utara	30
18	Plot zijderfield untuk sampel dengan kode TRM1 dari daerah Minahasa Utara	30
19	Plot zijderfield untuk sampel dengan kode LIK LF3 dari daerah Minahasa Utara	31
20	Plot zijderfield untuk sampel dengan kode TDNO dari daerah Minahasa	31
21	Plot zijderfield untuk sampel dengan kode KIN1-4 dari daerah Tomohon	32





## BAB 1. PENDAHULUAN

Mekanisme evolusi tektonik pulau-pulau di Indonesia masih terus dilakukan hingga saat ini (lihat Metcalfe, 2011). Salah satu pulau di Indonesia yang cukup unik adalah Pulau Sulawesi karena berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng asia, australia, dan indo pasifik (Kavalieris dkk, 1992). Kondisi tersebut mengakibatkan terjadinya proses evolusi tektonik dan geodinamika yang kompleks pada berbagai bagian Pulau Sulawesi, termasuk salah satunya adalah lengan utara Pulau Sulawesi. Evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi sebenarnya telah dikaji oleh beberapa peneliti pada satu hingga dua dekade yang lalu, namun masih menunjukkan hasil-hasil yang cenderung berbeda (lihat Otofui dkk, 1981 dan Surmont dkk, 1994). Hal ini membuka peluang untuk dilakukannya kajian yang lebih presisi dalam membangun konsep tentang rekonstruksi evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi.

Salah satu objek yang sangat potensial untuk kajian evolusi tektonik adalah batuan beku (Ngkoimani dkk, 2005; Tauxe, 2008). Selama proses pembentukannya dari magma, terjadi penumbuhan mineral-mineral bersifat magnetik pada batuan beku yang orientasinya langsung dipengaruhi oleh intensitas dan arah medan magnetik bumi. Hal ini menjadikan mineral-mineral magnetik pada batuan beku dapat merekam posisi geografis saat batuan tersebut terbentuk. Namun demikian, Butler (1992) menyatakan bahwa kelayakan atau potensi dari suatu batuan beku dalam menyajikan informasi geografis masa lampau sangat ditentukan oleh tingkat stabilitas dan sifat-sifat mineral magnetik yang dikandungnya. Faktor-faktor berupa jenis, konsentrasi, jumlah domain, ukuran bulir, dan derajat anisotropi mineral magnetik sangat mempengaruhi sifat-sifat magnetik dari suatu batuan (Dunlop dan Özdemir, 1997).

Karakteristik sifat-sifat magnetik batuan beku yang berada pada lengan utara Pulau Sulawesi hingga saat ini belum diketahui secara mendalam. Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi sifat-sifat mineral magnetik dari daerah tersebut secara mendetail dengan menggunakan metode kemagnetan batuan (*rock magnetism*). Penelitian ini akan memperkaya wawasan dan memberikan kontribusi keilmuan mendasar terhadap pemahaman sifat-sifat mineral magnetik batuan beku pada berbagai lokasi di dunia, serta meletakkan dasar untuk kajian-kajian selanjutnya, antara lain kajian tentang rekonstruksi evolusi tektonik suatu daerah.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

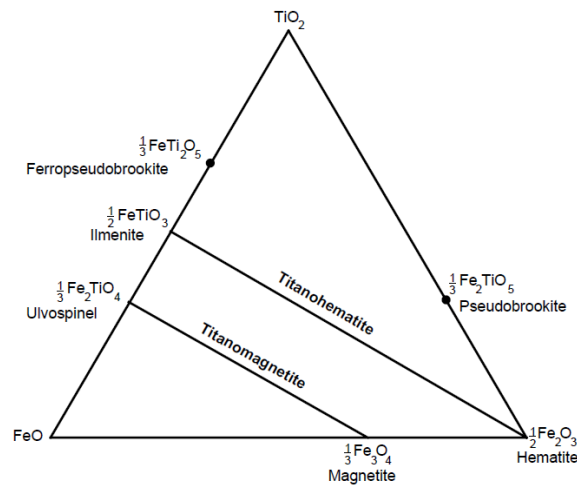
### 2.1. Magnetisasi pada Batuan Beku

Berdasarkan pembentukannya, batuan beku dapat dibedakan atas batuan beku ekstrusi, yaitu batuan yang terbentuk dari proses pendinginan magma dipermukaan bumi, dan batuan beku intrusi, yaitu batuan hasil pendinginan magma yang terbentuk sebelum mencapai permukaan bumi. Kecepatan pendinginan dari magma sangat mempengaruhi ukuran kristal dari mineral yang terbentuk dalam batuan beku. Dalam hal ini, proses pendinginan magma yang semakin cepat menghasilkan Kristal dengan ukuran yang semakin kecil, demikian sebaliknya.

Proses magnetisasi pada batuan beku berawal saat terbentuknya mineral-mineral pembawa sifat magnetik dari reaksi-reaksi kimia yang terjadi pada magma yang mendingin. Mineral magnetik yang dominan terbentuk pada batuan beku berasal dari keluarga besi titanium oksida (Fe-Ti-O) dalam *state* ferri- atau canted antiferromagnetik. Keluarga oksida ini dapat diilustrasikan melalui diagram *ternary*  $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$  seperti terlihat pada Gambar 1. Magnetisasi pada mineral-mineral tersebut menjadi jelas terutama ketika temperatur batuan melewati dan berada di bawah batas kritis *blocking temperature* yang biasa disebut dengan temperatur Curie. Peristiwa ini dikenal dengan *thermoremanent magnetization* (TRM) (Butler, 1992; Dunlop dan Özdemir, 1997). 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).

Magnetisasi pada batuan beku atau sampel lainnya dapat diperoleh melalui pemberian pemberian medan magnet induksi (untuk penentuan suseptibilitas magnetik) atau tanpa pemberian medan magnet induksi (untuk penentuan remanen magnetik). Sifat-sifat yang muncul oleh proses tersebut sangat dipengaruhi oleh jenis, konsentrasi, dan ukuran bulir mineral magnetik yang terkandung didalamnya. Sebagai contoh, mineral magnetik magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) pada medan induksi yang sama memiliki tingkat magnetisasi dan suseptibilitas sekitar 1000 kali lipat dari mineral hematit ( $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ ) (Hunt dkk, 1995). Mineral magnetik yang memiliki ukuran berasosiasi dengan bulir berdomain tunggal atau *single domain* ( $\sim 3 - 5$  nm) memiliki magnetisasi dan suseptibilitas yang relatif lebih

rendah jika dibandingkan dengan bulir magnetik berukuran lebih besar dari 5 nm yang biasanya berdomain jamak (*multi domain*).



**Gambar 1.** Diagram *ternary* untuk sistem  $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$ .

Magnetisasi pada batuan beku selanjutnya dipengaruhi oleh faktor bentuk yang dikenal dengan *shape anisotropy*. Dalam hal ini, magnetisasi akan mudah terjadi ketika medan induksi sejajar dengan *easy axes* dari suatu mineral. *Easy axes* bergantung dari bentuk bulir magnetik dan arah orientasinya pada batuan muncul ketika batuan tersebut terbentuk, yaitu ketika momen-momen magnetik berorientasi mengikuti arah medan magnet bumi. Fenomena anisotropi ini kemudian dimanfaatkan untuk mengetahui arah medan magnetik bumi pada saat suatu batuan terbentuk. Untuk mengkaji sifat-sifat anisotropi dari mineral magnetik biasanya dilakukan melalui pengukuran dan analisa anisotropi suseptibilitas magnetik atau anisotropi remanen magnetik. Pada kajian ini, sifat-sifat yang muncul pada bahan yang termagnetisasi tidak hanya merupakan fungsi dari jenis, konsentrasi, dan ukuran bulir mineral magnetik tetapi juga oleh arah medan yang mempengaruhinya.

Magnetisasi yang diperoleh batuan secara alamiah dinamakan *natural remanent magnetization* (NRM) (Gubbins dan Herrero-Bervera, 2007). Selain bergantung pada medan magnetik bumi, NRM batuan dipengaruhi oleh proses-proses geologi yang dialami oleh batuan tersebut. Hal ini menyebabkan munculnya dua komponen pada NRM, yaitu komponen primer dan komponen sekunder. NRM primer adalah NRM yang diperoleh batuan saat terbentuk, sedangkan NRM sekunder adalah NRM yang diperoleh setelah batuan terbentuk (Dunlop, 1995). Walaupun kenyataannya NRM primer sulit dipisahkan dari NRM sekunder, namun dengan menerapkan terminologi bahwa NRM primer memiliki

tingkat stabilitas yang lebih tinggi dari NRM sekunder, maka dengan teknik demagnetisasi secara bertahap hal ini dapat dilakukan. Komponen yang diperoleh dengan cara ini dinamakan dengan komponen NRM karakteristik (ChRM) (Butler, 1992; Dunlop, 1995).

## **2.2. Perkembangan Kajian Sifat-Sifat Magnetik Batuan dan Peta Jalan Penelitian**

Kajian tentang sifat-sifat magnetik batuan mulai dikaji secara terpisah oleh Koenigsberger dan Thellier pada tahun 1938 serta Nagata pada tahun 1943 dalam bentuk memanaskan batuan dan selanjutnya didinginkan dibawah pengaruh medan magnet yang tinggi (Dunlop dan Özdemir, 1997). Penelitian tersebut kemudian menjelaskan bahwa perubahan temperatur dapat mempengaruhi magnetisasi pada batuan. Fenomena ini kemudian dikenal dengan nama *thermoremanent magnetization* (TRM) yang pada prinsipnya adalah NRM yang disebabkan oleh pengaruh temperatur (Gubbins dan Herrero-Bervera, 2007).

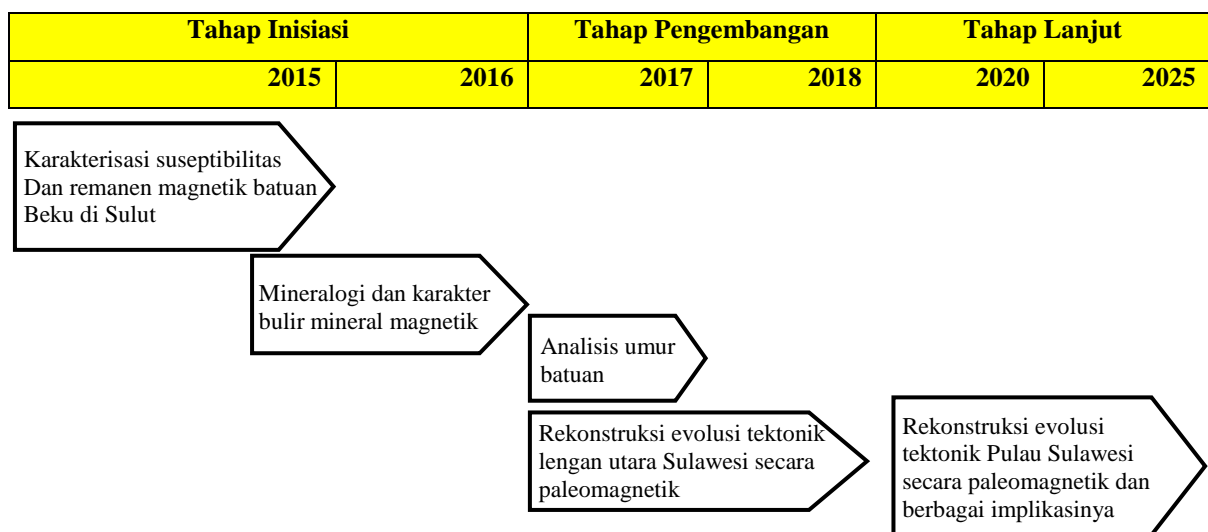
Kajian tentang NRM pada batuan selanjutnya berkembang pesat dan mulai digunakan untuk meneliti fenomena kemagnetan purba (*Paleomagnetism*) dalam bentuk kajian untuk menentukan posisi suatu daerah dimasa lalu dan evolusi tektonik sejak empat dekade yang lalu (lihat Reynolds dan Kellogg, 1974) hingga saat ini (lihat Antretter dkk, 2002; Brown dan McEnroe, 2012). Namun demikian, Butler (1992) serta Dunlop dan Özdemir (1997) kemudian menyiratkan bahwa untuk mendapatkan hasil kajian paleomagnetik yang presisif maka terlebih dahulu perlu melakukan kajian mendalam karakteristik dan sifat mineral magnetik pada suatu batuan. Proses ini antara lain kemudian dilakukan oleh Ngkoimani dkk (2005) untuk meneliti kelayakan batuan beku di Banyuwangi, Jawa Timur sebagai sumber informasi paleomagnetik.

Otofuji dkk (1984) dengan kajian paleomagnetik menunjukkan bahwa lengan utara Sulawesi pernah berotasi sekitar 90° searah jarum jam, namun dengan batuan berumur hampir sama Surmont dkk (1994) menunjukkan bahwa lengan utara Sulawesi hanya berotasi sekitar 20° searah jarum jam. Perbedaan ini menjadi masalah yang perlu dipecahkan melalui penelitian pada objek batuan beku yang memberikan informasi yang presisif. Oleh karena itu, lewat penelitian yang diusulkan dalam skim Hibah fundamental ini peneliti hendak melakukan kajian secara mendalam tentang karakteristik sifat mineral magnetik batuan beku di Sulawesi Utara dalam rangka mencari objek yang presisif untuk kajian paleomagnetik dan evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi. Kedepan hasil-hasil ini dapat digunakan sebagai dasar dari penelitian lanjutan untuk mendapatkan data

paleomagnetik yang baru untuk merekonstruksi evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi sekaligus memverifikasi hasil-hasil penelitian sebelumnya.

Ketua peneliti sudah sangat familiar dengan metode-metode yang akan digunakan dalam penelitian ini. Beberapa kajian berupa pemanfaatan metode kemagnetan batuan (*rock magnetism*) telah dilakukan oleh ketua peneliti pada berbagai objek alamiah seperti sedimen, tanah, serta debu vulkanik, dan telah dipublikasikan baik dalam bentuk seminasi 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 analisis seismik gempa serta pergerakan tanah yang berkaitan erat dengan masalah geodinamika tektonik. Kompetensi dari anggota peneliti diperlihatkan dengan keterlibatannya dalam beberapa penelitian yang telah dikerjakan dan publikasi hasil penelitian pada jurnal ilmiah (lihat lampiran 4).

Adapun penelitian ini merupakan kajian dasar/fundamental yang dilakukan secara eksperimen laboratorium terhadap fenomena fisika yang dimiliki oleh batuan beku. Dalam kerangka penelitian tentang mineral magnetik pada batuan beku di Sulawesi Utara, kajian ini bersifat kajian tahap inisiasi dari suatu rencana jangka panjang untuk melakukan penelitian yang lebih luas, yaitu merekonstruksi proses evolusi Pulau Sulawesi dengan menggunakan rekaman paleomagnetik yang terdapat pada batuan beku. 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 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

### **3.1. Tujuan Penelitian**

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan karakterisasi terhadap sifat-sifat mineral magnetik dari batuan beku yang berada pada lengan utara Pulau Sulawesi untuk mengenali potensi atau kelayakkannya bagi studi evolusi tektonik. Hal-hal yang ingin diketahui secara khusus dan menjadi target utama temuan adalah bagaimana derajat anisotropi, lineasi, foliasi, faktor bentuk, dan stabilitas NRM dari mineral-mineral magnetik pada batuan beku yang tersebar pada lengan utara Pulau Sulawesi.

### **3.2. Manfaat Penelitian**

Pemahaman yang baik tentang evolusi tektonik pada lengan utara Pulau Sulawesi dapat berimplikasi pada pengenalan yang lebih akurat terhadap mekanisme gerak persesaran dan subduksi di daerah ini yang selain sering menjadi pemicu bencana seperti gempa bumi, juga dapat menjadi faktor pendukung identifikasi lokasi sumber mineral ekonomis. Untuk memperoleh wawasan yang baik tentang evolusi tektonik, maka salah satu cara adalah memahami dengan baik karakteristik sifat-sifat mineral magnetik pada batuan beku yang merupakan sumber informasi paleomagnetik. Hingga saat ini hampir tidak ditemukan kajian mendetail tentang karakteristik sifat-sifat mineral magnetik pada batuan di lengan utara Pulau Sulawesi. Oleh karena itu, penelitian ini secara khusus diharapkan akan memberikan wawasan baru tentang bagaimana karakteristik mineral magnetik pada batuan di daerah Sulawesi Utara untuk menjadi landasan pada kajian-kajian terapan selanjutnya, dan secara umum akan memperkaya pengetahuan yang berkaitan dengan eksplorasi sifat magnetik dari mineral-mineral magnetik yang terbentuk dalam batuan beku.

## BAB 4. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan sampel batuan beku yang diambil dari beberapa lokasi di Sulawesi Utara. Pengambilan sampel dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui pemboran menggunakan *portable rock drill* (sampel yang diperoleh memiliki diameter 2,5 cm dan panjang sekitar 15 cm) atau dalam bentuk sampel setangan (*hand sample*) berukuran sekitar 20 x 20 x 20 cm. Untuk menjaga posisi dan orientasi sampel, maka pada saat pengambilan di lapangan terlebih dahulu ditandai orientasi geografis (arah utara-selatan), posisi atas dan bawah, serta kemiringannya. Sampel kemudian dipreparasi di laboratorium dalam bentuk *core* mini berukuran diameter 2,5 cm dan panjang 2,4 cm. Jumlah sampel pada setiap lokasi adalah 10 buah sehingga total sampel yang akan diukur dan dianalisis jika lokasinya berjumlah 10 adalah sebanyak 100 buah.

Karakterisasi sifat-sifat mineral magnetik pada penelitian ini dilakukan dalam dua metode pengukuran dan analisis yaitu anisotropi suseptibilitas magnetik (ASM) serta remanen magnetik dalam bentuk *Natural Remanent Magnetization* (NRM) dan *Isothermal Remanent Magnetization* (IRM). Adapun pengukuran-pengukuran dan analisis tersebut secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Pengukuran ASM dilakukan dengan menggunakan instrumen *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* dengan sensor MS2B. Setiap sampel diukur pada enam arah berbeda menurut pola yang dikemukakan dalam Tauxe (2008). Matriks nilai suseptibilitas yang diperoleh kemudian diselesaikan dengan menggunakan metode *least square* untuk mendapatkan komponen-komponen suseptibilitas magnetik pada sumbu utama. Komponen-komponen tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter anisotropi seperti derajat anisotropi, lineasi, foliasi, dan faktor bentuk. Selain itu akan diperoleh juga informasi konsentrasi mineral magnetik pada sampel batuan. Hasil-hasil pengukuran dan analisis akan ditampilkan dalam bentuk *Flin-type* plot dan *Stereonet* plot.
- Pengukuran NRM dilakukan dengan menggunakan alat *AF Demagnetizer* dan *Minispin Magnetometer* buatan Molspin Ltd. Awalnya, setiap sampel diukur intensitas, deklinasi, dan inklinasinya dengan menggunakan *Minispin Magnetometer*. Setelah itu, sampel kemudian didemagnetisasi secara bertahap dengan menggunakan *AF Demagnetizer* pada medan bolak-balik 2,5 mT hingga 80 mT. Pada setiap tahap demagnetisasi diikuti

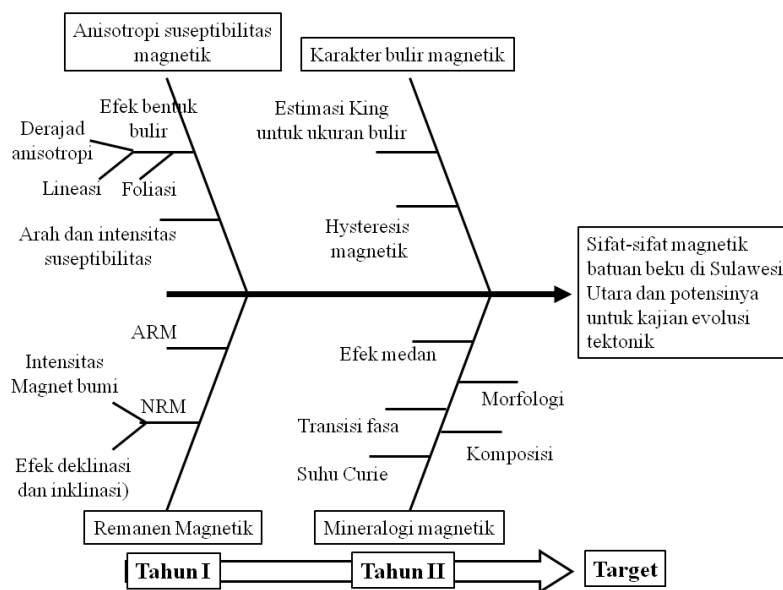


oleh pengukuran intensitas, deklinasi, dan inklinasinya. Tujuan dari pengukuran ini adalah pertama untuk mendapatkan pola peluruhan intensitas NRM yang berkaitan dengan tingkat stabilitas magnetisasi dari mineral-mineral magnetik dalam sampel, dan kedua menentukan NRM karakteristik (ChRM) yang akan digunakan untuk mengukur kelayakan distribusi arah NRM, yaitu apakah data NRM layak untuk analisa paleomagnetik atau tidak (Butler, 1992). Hasil-hasil akan ditampilkan dalam bentuk plot peluruhan dan plot *Zijderveld*.

- Pengukuran IRM dilakukan dengan menggunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Secara prinsip sampel diberikan medan searah secara bertingkat hingga 1 T sambil diukur nilai intensitasnya. Hasil yang diperoleh selanjutnya dianalisis dengan cara *gradient acquisition plot* dan metode Log-Gaussian untuk memperoleh nilai koersivitas yang mengindikasikan jenis mineral magnetik.
- Pengukuran kurva histeresis dengan menggunakan VSM. Pengukuran dilakukan untuk memperoleh empat parameter histeresis magnetik (saturasi magnetik, saturasi remanen magnetik, koersivitas, koersivitas remanen) yang selanjutnya digunakan untuk estimasi domain dari mineral magnetik pada sampel.

Rancangan kajian yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 3. Adapun target capaian/luaran yang menjadi indikator keberhasilan dalam penelitian ini adalah :

1. Pemakalah dalam konferensi nasional/internasional
2. Satu buah publikasi pada jurnal internasional atau nasional terakreditasi.



**Gambar 3.** Fish bone dari rancangan penelitian yang diusulkan.

## BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

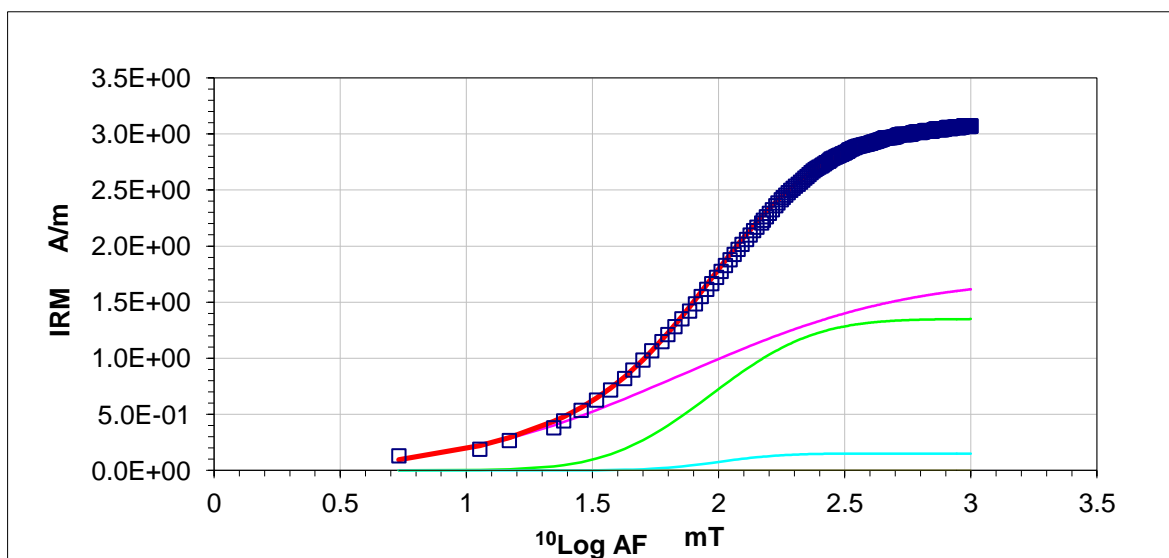
### 5.1. Hasil yang dicapai

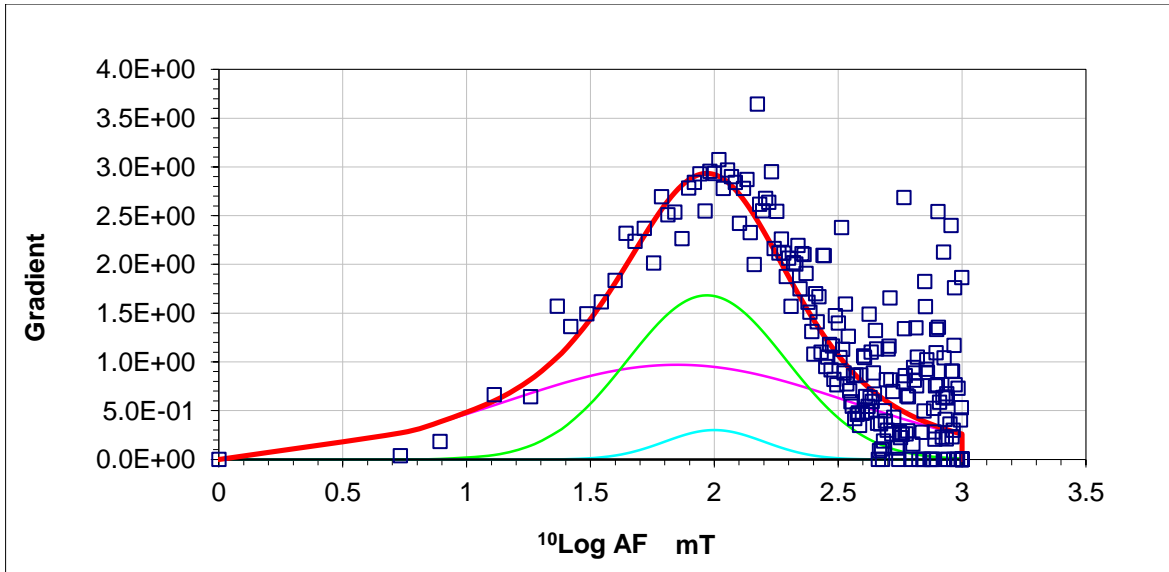
#### 5.1.1. Pengambilan dan preparasi sampel

Pengambilan sampel dilakukan pada beberapa situs di Kabupaten Minahasa Utara, Bitung, Tomohon, dan Tondano (foto-foto terlampir). Sampel kemudian dipreparasi sesuai kebutuhan pengukuran dan analisis yang dipersiapkan.

#### 5.1.2. Analisis *Isothermal Remanent Magnetization (IRM)*

Analisis IRM dilakukan untuk menentukan mineral magnetik yang dominan dalam sampel. Proses analisis IRM dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kumulatif Log-Gaussian. Salah satu contoh analisis pada sampel LNSOT disajikan pada Gambar 4. Jenis mineralogi magnetik pada sampel dapat diestimasi berdasarkan nilai koersivitasnya, yaitu nilai puncak kurva gaussian pada *gradient acquisition plot*. Misalkan pada Gambar 4, hasil analisis menunjukkan bahwa koersivitas pada sampel batuan LNSOT adalah 70.8 mT (53%), 93.3 mT (42%), dan 100 mT (5%). Hal ini mengindikasikan bahwa mineral magnetik yang dominan pada sampel batuan LNSOT adalah magnetit. Analisis yang serupa juga telah dilakukan pada sampel-sampel yang lain.

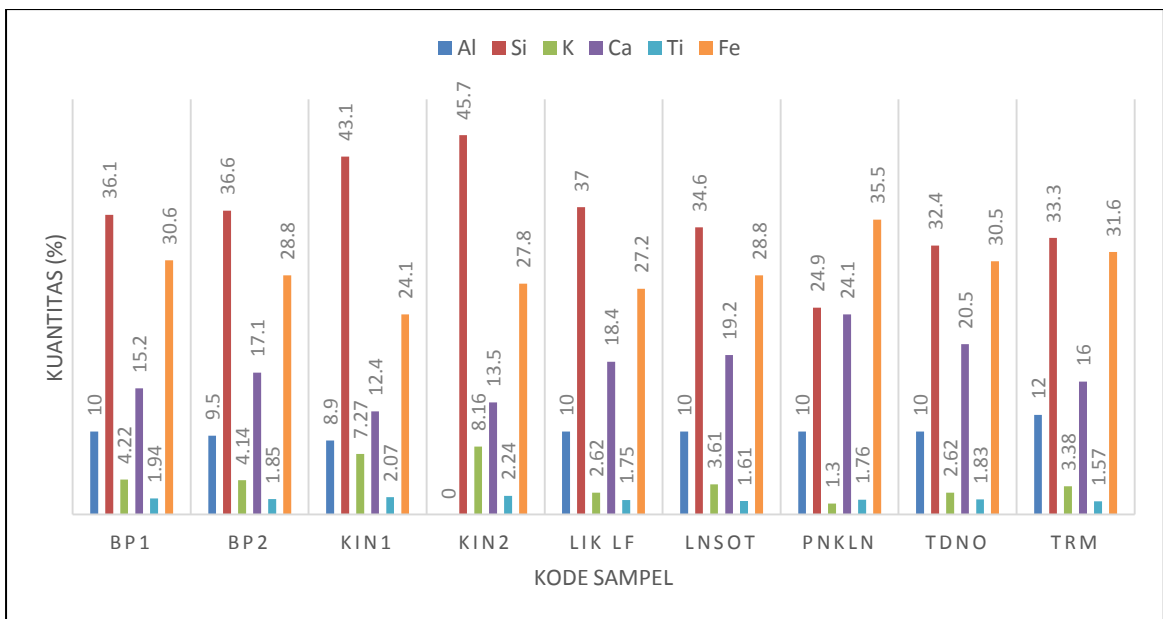




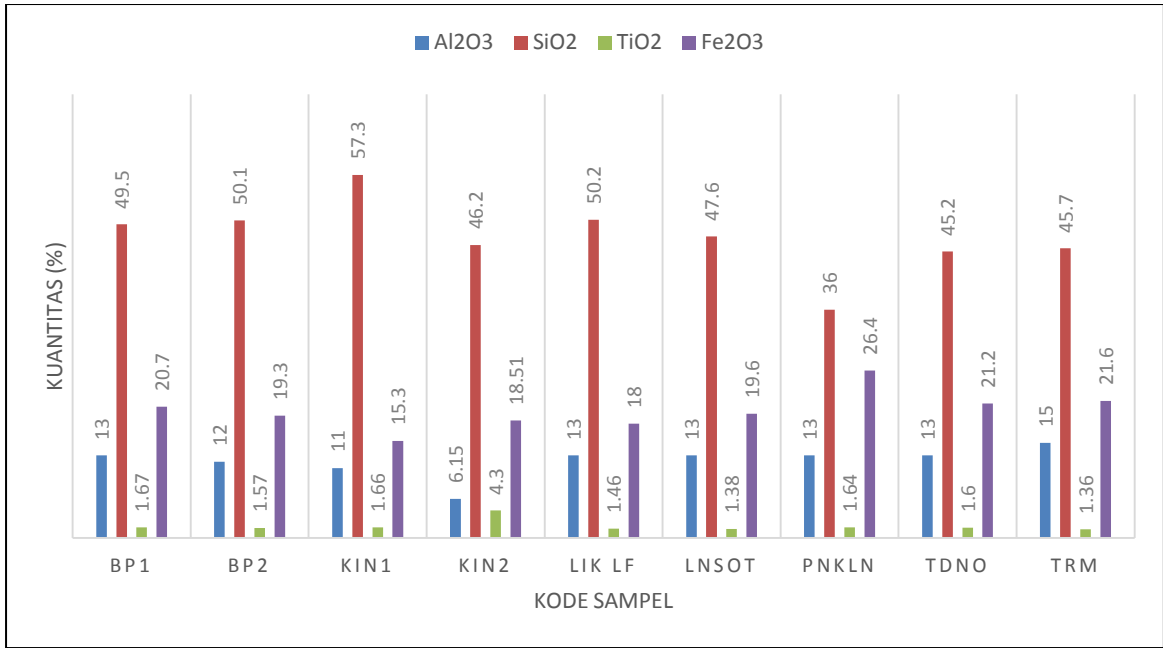
**Gambar 4.** Analisis IRM menggunakan pendekatan kuantitatif Log-Gaussian pada sampel LNSOT, (a) linier acquisition plot, (b) gradient acquisition plot.

### 5.1.3. Pengukuran dan analisis X-Ray Fluorescence (XRF)

Pengukuran XRF dilakukan untuk memahami lebih lanjut mineralogi dalam sampel batuan. Pengukuran XRF telah dilaksanakan di Laboratorium Sentral Universitas Negeri Malang. Gambar 5 dan 6 menunjukkan kuantitas unsur-unsur utama penyusun batuan dan kandungan oksida sampel batuan.

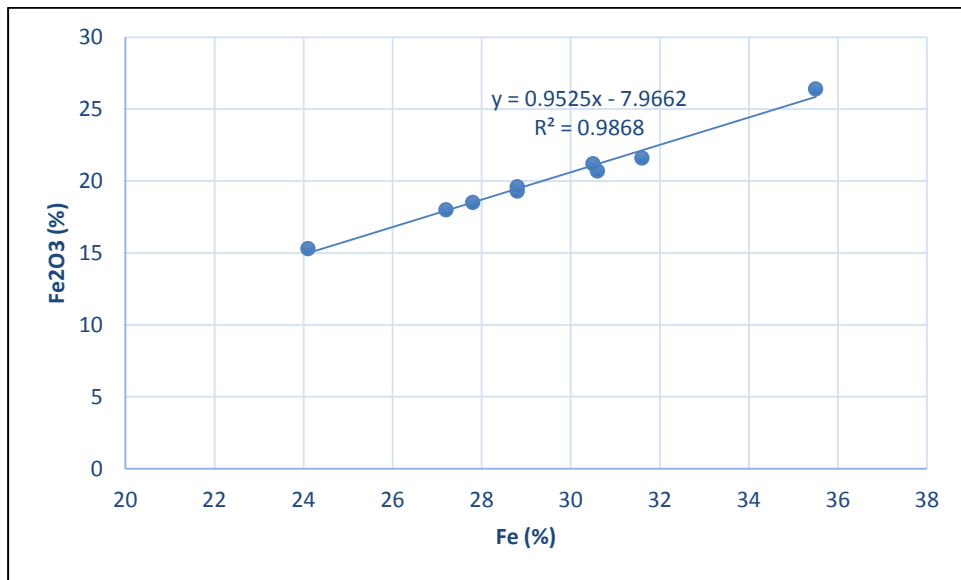


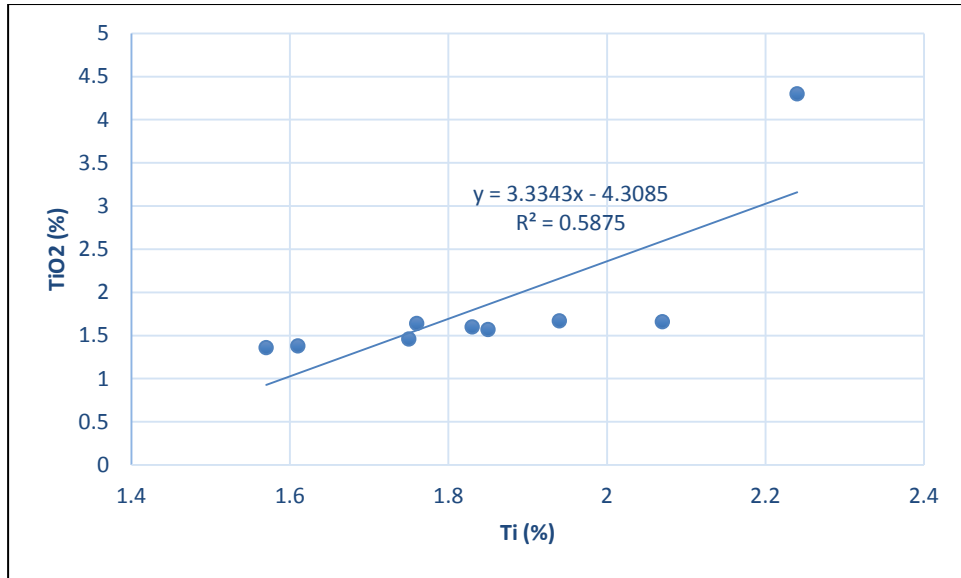
**Gambar 5.** Konsentrasi unsur-unsur utama pada sampel batuan.



**Gambar 6.** Konsentrasi oksida pada sampel batuan.

Unsur Fe pada sampel-sampel batuan relatif membentuk oksida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (magnetit) yang memiliki sifat magnetik tinggi. Hal ini terlihat dari relatif tingginya korelasi antara Fe dengan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (lihat Gambar 7). Kondisi berbeda terlihat pada Ti yang merupakan salah satu unsur utama lainnya dalam batuan.



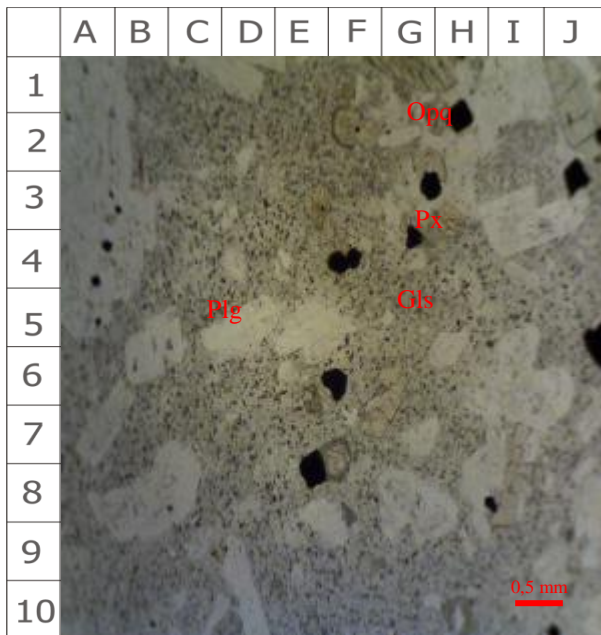


**Gambar 7.** Korelasi beberapa unsur utama dan oksidanya dalam sampel batuan.

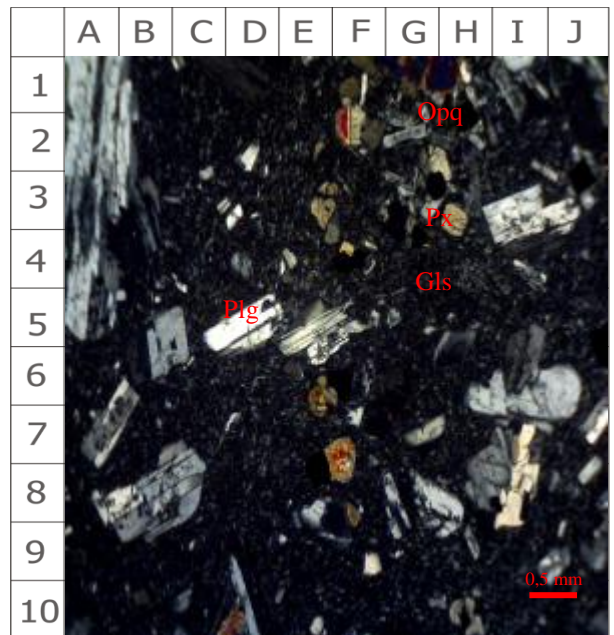
#### 5.1.4. Observasi dan analisis petrografi

**No. Sampel : BP2**

**Nama Batuan: Andesit piroksen**



PN



XN

**Pemerian petrografis :**

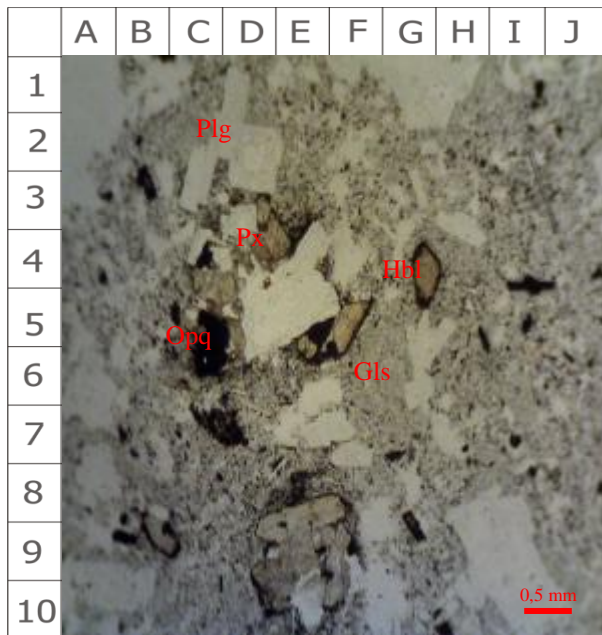
Sayatan berupa andesit piroksen, hipokristalin, porfiritik, poikilitik, dan intersertal, fenokris (30%), terdiri dari plagioklas (20%), piroksen (5%), mineral opak (3%), dan olivin (2%), subhedral-euhedral, berukuran 0,125-2 mm, massa dasar (70%), berukuran <0,125 mm, terdiri dari plagioklas (40%), gelas vulkanik (20%), piroksen (5%), dan mineral opak (5%), struktur vesikuler.

**Komposisi mineral :**

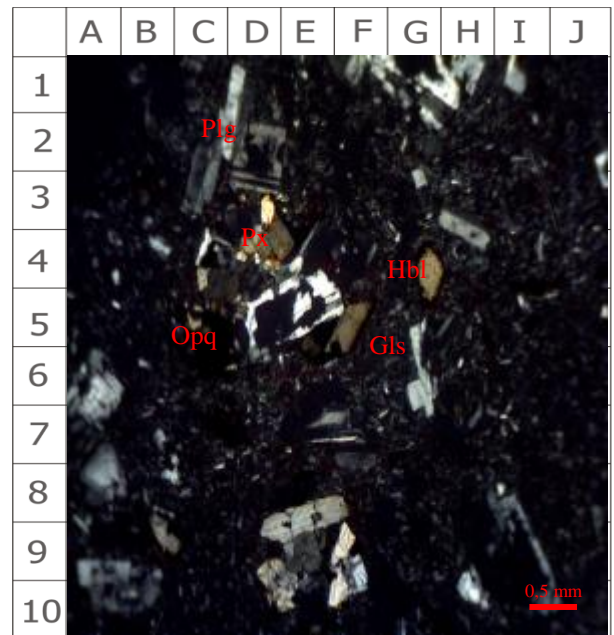
- Plagioklas (Plg) (60%), sebagai fenokris (20%), segar, kembaran Albit dan Carlsbad, berukuran 0,125-2 mm, euhedral-subhedral, bentuk prismatic panjang, terdapat zonasi, komposisi albit-andesin (An<sub>3</sub>-An<sub>47</sub>), terinklusi mineral opak dan piroksen, glomeroporfiritik bersama piroksen, sebagai massa dasar (40%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless*.
- Gelas vulkanik (Gls) (20%), sebagai massa dasar, *colorless*.
- Piroksen (Px) (10%), sebagai fenokris (5%), terdiri dari klinopiroksen (3%) dan ortopiroksen (2%), berukuran 0,125-1,25 mm, subhedral-anhedral, bentuk prismatic, segar, terinklusi mineral opak, glomeroporfiritik bersama plagioklas; sebagai massa dasar (5%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless* kecoklatan.
- Mineral opak (Opq) (8%), sebagai fenokris (3%), berukuran 0,125-0,5 mm, euhedral-subhedral, sebagai massa dasar (5%), berukuran <1,25 mm.
- Olivin (Ol) (2%), sebagai fenokris, berukuran 0,25 mm, subhedral, bentuk granular, segar, *colorless* kecoklatan.

No. Sampel : LIK

Nama Batuan : Andesit hornblende



PN



XN

#### Pemerian petrografis :

Sayatan berupa andesit hornblende, hipokristalin, porfiritik, intersertal, dan kelifitik rim, fenokris (25%), terdiri dari plagioklas (18%), hornblende (3%), piroksen (2%), dan mineral opak (2%), subhedral-euhedral, berukuran 0,125-1,375mm, massa dasar (75%), berukuran <0,125 mm, terdiri dari plagioklas (30%), gelas vulkanik (25%), mineral opak (8%), hornblende (7%), dan piroksen (5%).

#### Komposisi mineral :

- Plagioklas (Plg) (48%), sebagai fenokris (18%), segar, kembaran Albit dan Carlsbad, berukuran 0,125-1,375 mm, euhedral-subhedral, bentuk prismatic panjang, terdapat zonasi, komposisi andesin-labradorit (An<sub>47</sub>-An<sub>59</sub>), terinklusi mineral opak dan piroksen, setempat terdapat glomeroporfiritik bersama piroksen, sebagai massa dasar (30%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless*.
- Gelas vulkanik (Gls) (25%), sebagai massa dasar, *colorless*.
- Hornblende (Hbl) (10%), sebagai fenokris (3%), berukuran 0,125-0,5 mm, euhedral, bentuk prismatic, segar, sebagai massa dasar (7%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless* kecoklatan.

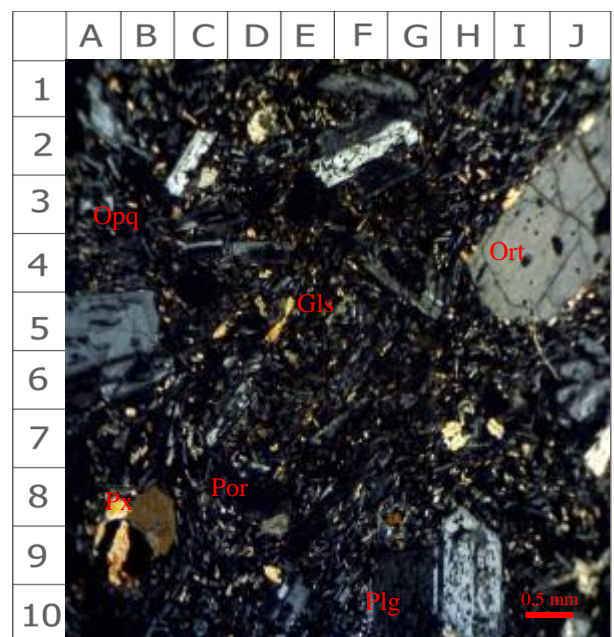
- Mineral opak (Opq) (10%), sebagai fenokris (2%), berukuran 0,125-0,45 mm, euhedral, sebagai massa dasar (8%), berukuran <0,125 mm.
- Piroksen (Px) (7%), terdiri dari klinopiroksen, sebagai fenokris (2%), berukuran 0,125-0,75 mm, subhedral, bentuk prismatic, segar, terinklusi mineral opak, setempat terdapat glomeroporfiritik bersama plagioklas, sebagai massa dasar (5%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless* kecoklatan.

**No. Sampel : TDNO**

**Nama Batuan: Andesit piroksen**



PN



XN

**Pemerian petrografis :**

Sayatan berupa andesit piroksen, hipokristalin, porfiritik, intersertal, dan intergranular, fenokris (35%), terdiri dari plagioklas (25%), piroksen (5%), ortoklas (3%), dan mineral opak (2%), berukuran 0,125-3 mm, subhedral-euhedral, massa dasar (65%), berukuran <0,125 mm, terdiri dari plagioklas (25%), piroksen (25%), gelas vulkanik (10%), dan mineral opak (5%), struktur vesikuler.

**Komposisi mineral :**

- Plagioklas (Plg) (50%), sebagai fenokris (30%), segar, kembaran Albit dan Carlsbad, berukuran 0,125-3 mm, euhedral-subhedral, bentuk prismatic panjang, terdapat zonasi, komposisi andesin-labradorit (An48-An60), terdapat inklusi mineral opak,

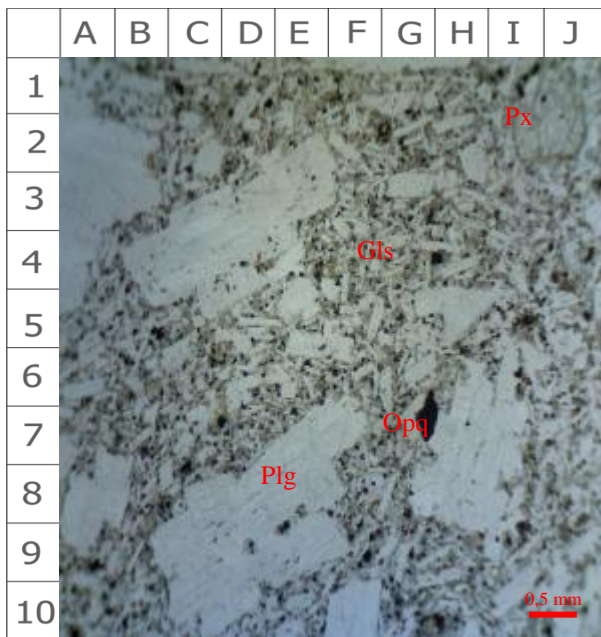


glomeroporfiritik bersama piroksen, sebagai massa dasar (20%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless*.

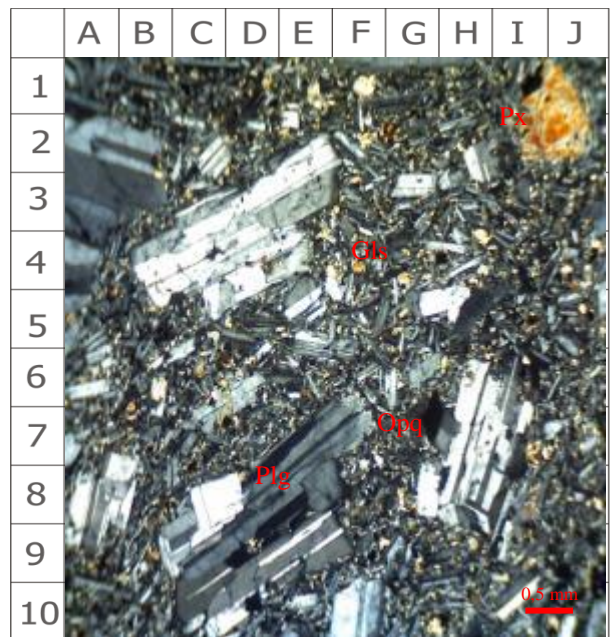
- Piroksen (Px) (30%), dominan terdiri dari klinopiroksen, sebagai fenokris (5%), berukuran 0,125-0,625 mm, subhedral-anhedral, bentuk prismatic, segar, terinklusi mineral opak, glomeroporfiritik bersama plagioklas, massa dasar (25%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless* kecoklatan.
- Gelas vulkanik (Gls) (10%), sebagai massa dasar, *colorless*.
- Mineral opak (Opq) (7%), sebagai fenokris (2%), berukuran 0,125-0,375 mm, euhedral, sebagai massa dasar (5%), berukuran <0,125 mm.
- Ortoklas (Ort) (3%), sebagai fenokris, berukuran 0,375-1,875 mm, subhedral, bentuk prismatic panjang, segar, terinklusi mineral opak, terkorosi sebagian.

**No. Sampel : PNKLN**

**Nama Batuan : Andesit piroksen**



PN



XN

**Pemerian petrografis :**

Sayatan berupa andesit piroksen, hipokristalin, porfiritik, intersertal, dan intergranular, fenokris (40%), terdiri dari plagioklas (30%), piroksen (7%), dan mineral opak (3%), berukuran 0,125-2 mm, subhedral-euhedral, massa dasar (60%), berukuran <0,125 mm,

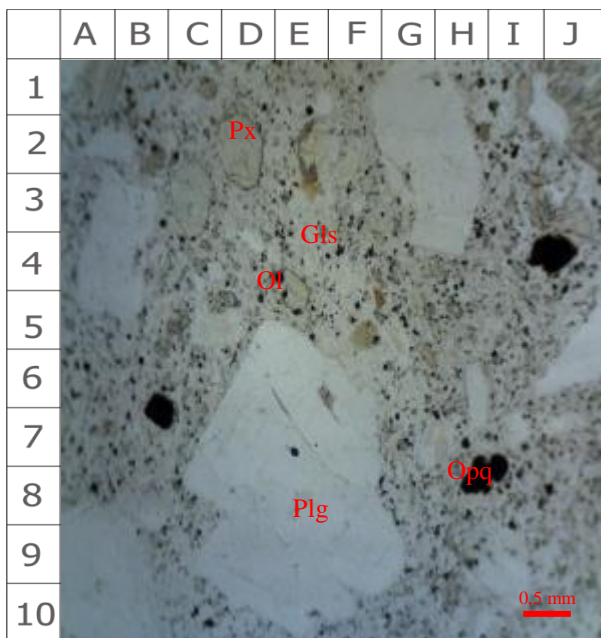
terdiri dari plagioklas (25%), piroksen (20%), gelas volkanik (10%), dan mineral opak (5%).

**Komposisi mineral :**

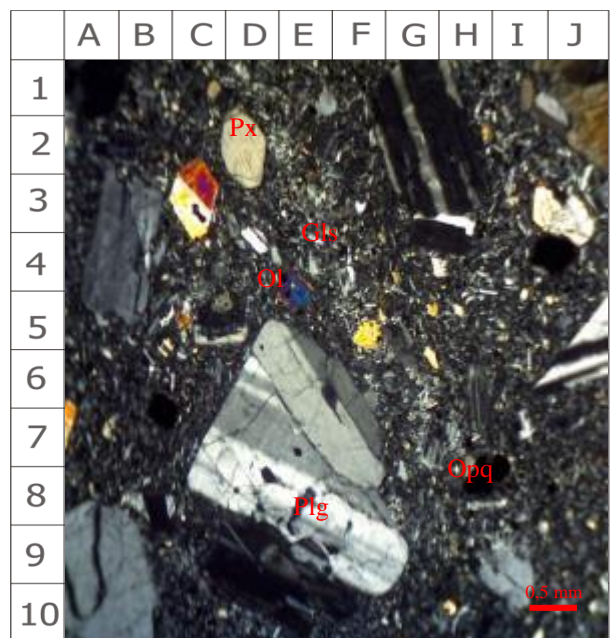
- Plagioklas (Plg) (55%), sebagai fenokris (30%), segar, kembaran Albit dan Carlsbad, berukuran 0,125-2 mm, euhedral-subhedral, bentuk prismatic panjang, terdapat zonasi, komposisi andesin-labradorit (An42-An59), terinklusi mineral opak, sebagai massa dasar (25%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless*.
- Piroksen (Px) (27%), dominan terdiri dari klinopiroksen, sebagai fenokris (7%), berukuran 0,125-0,375 mm, subhedral-anhedral, bentuk prismatic, segar, terinklusi mineral opak, massa dasar (20%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless* kecoklatan.
- Gelas volkanik (Gls) (10%), sebagai massa dasar, *colorless*.
- Mineral opak (Opq) (8%), sebagai fenokris (3%), berukuran 0,125-0,375 mm, euhedral, sebagai massa dasar (5%), berukuran <0,125 mm.

**No. Sampel : LNSOT**

**Nama Batuan: Andesit piroksen**



PN



XN

**Pemerian petrografis :**

Sayatan berupa andesit piroksen, hipokristalin, porfiritik, intersertal, poikilitik, dan subofitik, fenokris (40%), terdiri dari plagioklas (25%), piroksen (8%), mineral opak (3%),

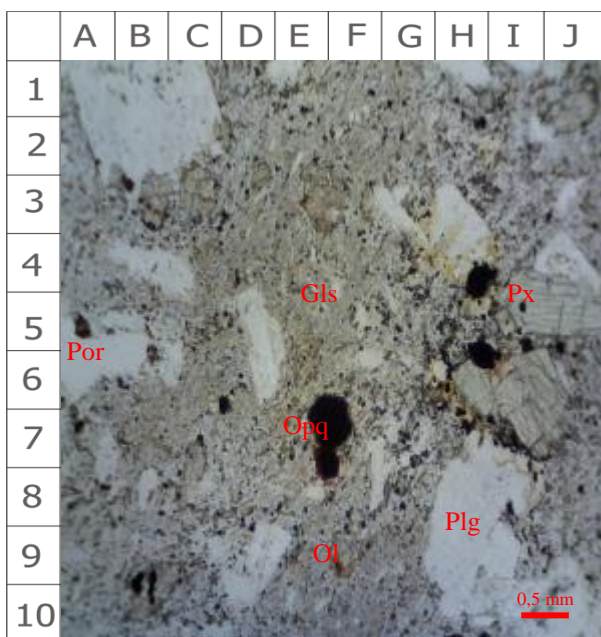
dan olivin (2%), berukuran 0,125-3,5 mm, subhedral-euhedral, massa dasar (60%), berukuran <0,125 mm, terdiri dari plagioklas (28%), piroksen (15%), dan gelas volkanik (12%), mineral opak (5%).

**Komposisi mineral :**

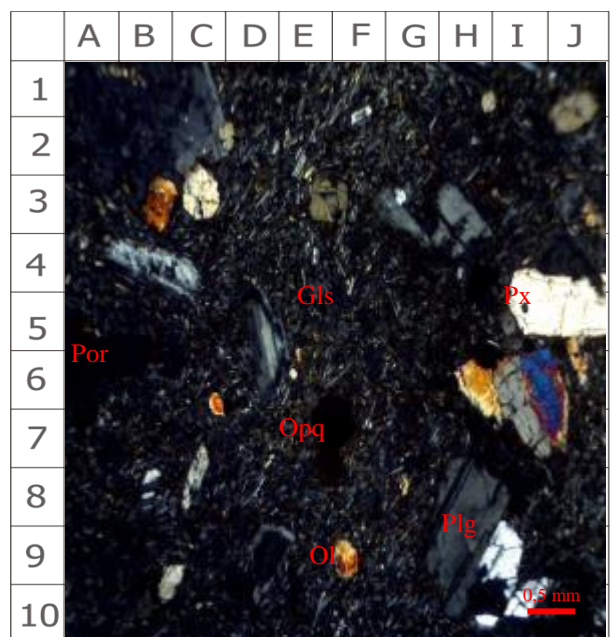
- Plagioklas (Plg) (55%), sebagai fenokris (25%), segar, kembaran Albit dan Carlsbad, berukuran 0,125-2,25 mm, euhedral-subhedral, bentuk prismatic, terdapat zonasi, komposisi labradorit (An51-An57), terinklusi mineral opak, sebagai massa dasar (28%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless*.
- Piroksen (Px) (23%), dominan terdiri dari klinopiroksen, sebagai fenokris (8%), berukuran 0,125-3,5 mm, subhedral-anhedral, bentuk prismatic, segar, terinklusi mineral opak, glomeroporfiritik bersama olivin, massa dasar (15%), berukuran<0,125 mm, segar, *colorless* kecoklatan.
- Gelas volkanik (Gls) (12%); sebagai massa dasar, *colorless*.
- Mineral opak (Opq) (8%), sebagai fenokris (3%), berukuran 0,125-0,375 mm, euhedral, sebagai massa dasar (5%), berukuran<0,125 mm.
- Olivin (Ol) (2%), sebagai fenokris, berukuran 0,25 mm, subhedral, bentuk granular, segar, glomeroporfiritik bersama piroksen.

**No. Sampel : TRM**

**Nama Batuan: Andesit piroksen**



PN 18



XN

### **Pemerian petrografis :**

Sayatan berupa andesit piroksen, hipokristalin, porfiritik, intersertal, dan sieve, fenokris (28%), terdiri dari plagioklas (15%), piroksen (5%), mineral opak (3%), hornblende (3%), dan olivin (2%), berukuran 0,125-2,25 mm, subhedral-euhedral, massa dasar (72%), berukuran <0,125 mm, terdiri dari plagioklas (40%), gelas vulkanik (15%), piroksen (12%), dan mineral opak (5%), struktur vesikuler.

### **Komposisi mineral :**

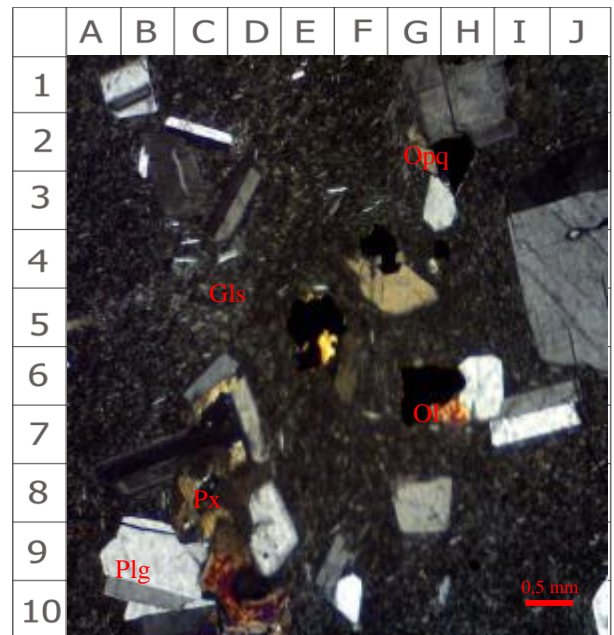
- Plagioklas (Plg) (55%), sebagai fenokris (15%), segar, kembaran Albit, berukuran 0,125-2,25 mm, euhedral-subhedral, bentuk prismatic, terdapat zonasi, komposisi albit-andesin (An<sub>8</sub>-An<sub>44</sub>), terinklusi mineral opak dan piroksen, sebagai massa dasar (40%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless*.
- Piroksen (Px) (17%), sebagai fenokris (5%), terdiri dari ortopiroksen (2%) dan klinopiroksen (3%), berukuran 0,125-0,5 mm, segar, bentuk prismatic, subhedral-anhedral, terinklusi mineral opak, massa dasar (12%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless* kecoklatan.
- Gelas vulkanik (Gls) (15%), sebagai massa dasar, *colorless*.
- Mineral opak (Opq) (8%), sebagai fenokris (3%), berukuran 0,125-0,25 mm, euhedral, sebagai massa dasar (5%), berukuran <0,125 mm.
- Hornblende (Hbl) (3%), sebagai fenokris, berukuran 0,25-1 mm, segar, prismatic, subhedral.
- Olivin (Ol) (2%), sebagai fenokris, berukuran 0,125-0,5 mm, segar, granular, subhedral-anhedral.

No. Sampel : MSM

Nama Batuan : Andesit



PN



XN

#### Pemerian petrografis :

Sayatan berupa andesit, hipokristalin, porfiritik, fenokris (26%), terdiri dari plagioklas (20%), piroksen (2%), olivin (2%), dan mineral opak (2%), berukuran 0,125-1,75 mm, subhedral-euhedral, massa dasar (74%), berukuran <0,125 mm, terdiri dari plagioklas (35%), gelas vulkanik (35%), mineral opak (3%), dan piroksen (1%)

#### Komposisi mineral :

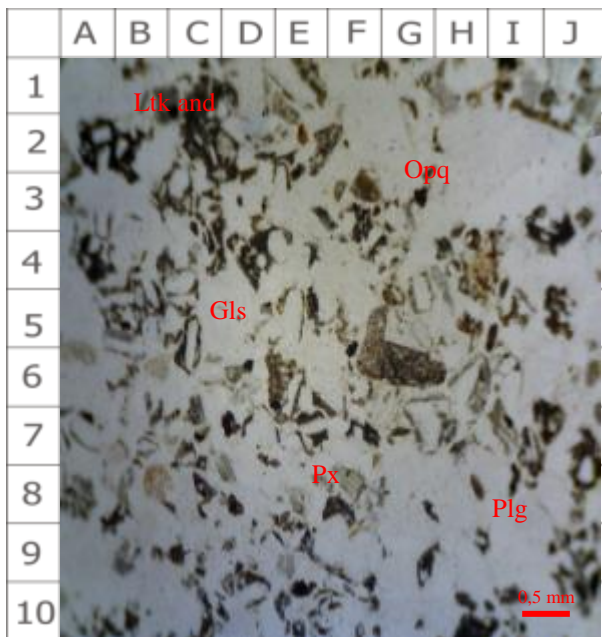
- Plagioklas (Plg) (55%), sebagai fenokris (20%), segar, kembaran Albit dan Carlsbad, berukuran 0,125-1,75 mm, euhedral-subhedral, bentuk prismatic, terdapat zonasi, komposisi andesin-labradorit (An40-An51), terinklusi mineral opak, glomeroporfiritik bersama piroksen dan olivin, sebagai massa dasar (35%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless*.
- Gelas vulkanik (Gls) (35%), sebagai massa dasar, *colorless*.
- Mineral opak (Opq) (5%), sebagai fenokris (2%), berukuran 0,125-0,5 mm, euhedral, sebagai massa dasar (3%), berukuran <0,125 mm.
- Piroksen (Px) (3%), dominan terdiri dari klinopiroksen, sebagai fenokris (2%), berukuran 0,125-0,5 mm, segar, bentuk prismatic, subhedral-anhedral, terinklusi

mineral opak, glomeroporfiritik bersama plagioklas dan olivin, massa dasar (1%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless* kecoklatan.

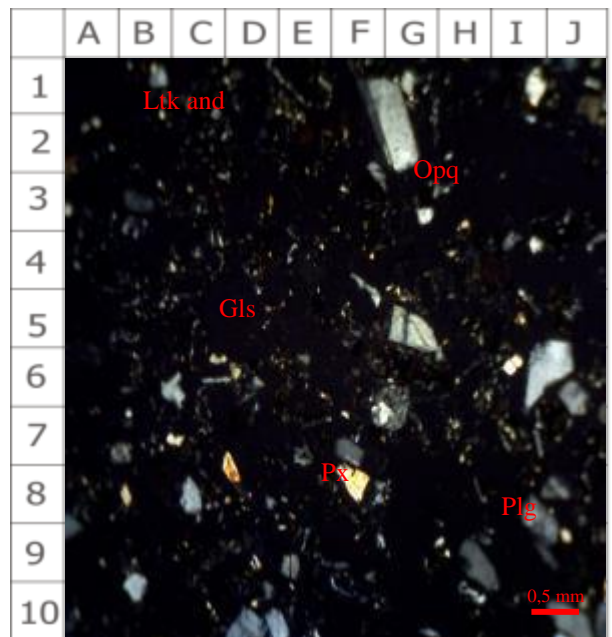
- Olivin (Ol) (2%), sebagai fenokris, berukuran 0,125-0,5 mm, segar, prismatic-granular, subhedral-anhedral, glomeroporfiritik bersama plagioklas dan piroksen.

**No. Sampel : KEMA**

**Nama Batuan : Tuf kristal**



PN



XN

**Pemerian petrografis :**

Sayatan tipis tuf kristal, tekstur klastik, terpilah buruk, kemas sedang, butiran (45%), terdiri dari plagioklas (15%), litik andesit (10%), litik tuf (7%), kuarsa (5%), piroksen (5%), dan mineral opak (3%), berukuran 0,125-0,75 mm, menyudut tanggung-menyudut, matriks (55%), terdiri dari gelas vulkanik (30%), plagioklas (15%), piroksen (5%), dan mineral opak (5%).

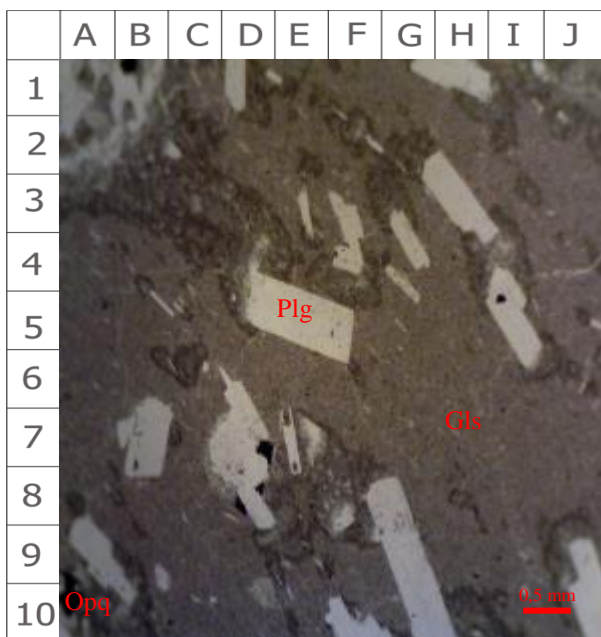
**Komposisi mineral :**

- Plagioklas (Plg) (30%), hadir sebagai butiran (15%), berukuran 0,125-0,375 mm, prismatic, menyudut, segar, kembaran Albit dan Carlsbad, sebagai matriks (15%), *colorless*, berukuran <0,125 mm.
- Gelas vulkanik (Gls) (30%), hadir sebagai matriks, teroksidasi sebagian.

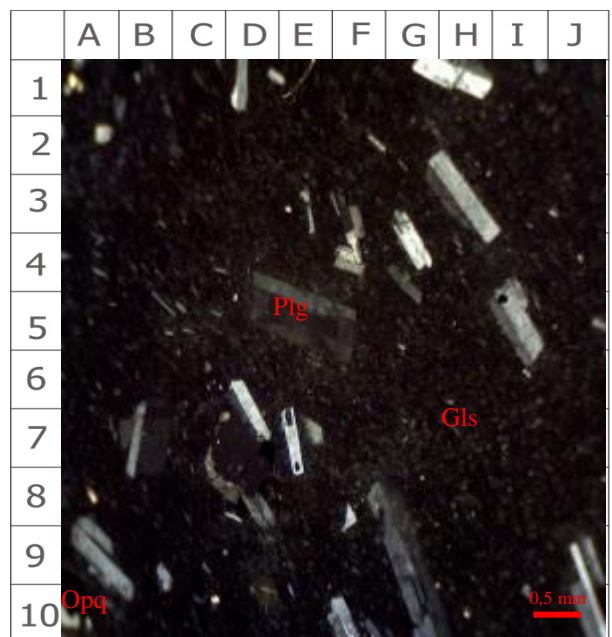
- Piroksen (Px) (10%), terdiri dari klinopiroksen, hadir sebagai butiran (5%), berukuran 0,125-0,25 mm, prismatic, menyudut, segar, sebagai matriks (5%), *colorless* kecoklatan, teroksidasi sebagian, berukuran <0,125 mm.
- Litik andesit (Ltk and) (10%), berukuran 0,25-0,5 cm, menyudut tanggung, sebagian besar teroksidasi.
- Mineral opak (Opq) (8%), hadir sebagai butiran (3%), berukuran 0,125-0,25 mm, prismatic-granular, menyudut tanggung-membundar, sebagai matriks (5%), berukuran <0,125 mm.
- Litik Tuf (Ltk tf) (7%), hadir sebagai butiran, berukuran 0,25-0,5 mm, menyudut tanggung, teroksidasi sebagian.
- Kuarsa (Qz) (5%), hadir sebagai butiran, berukuran 0,125-0,25 mm, granular, menyudut, segar, embaymen dan pepadaman bergelombang.

**No. Sampel : KIN 1**

**Nama Batuan: Andesit**



PN



XN

**Pemerian petrografis :**

Sayatan tipis andesit, hipokristalin, porfiritik, fenokris (25%), terdiri dari plagioklas (20%), mineral opak (3%), dan piroksen (2%), berukuran 0,125-1,5 mm, subhedral-euhedral,

massa dasar (75%), terdiri dari gelas vulkanik (55%), plagioklas (15%), dan mineral opak (5%), berukuran <0,125 mm.

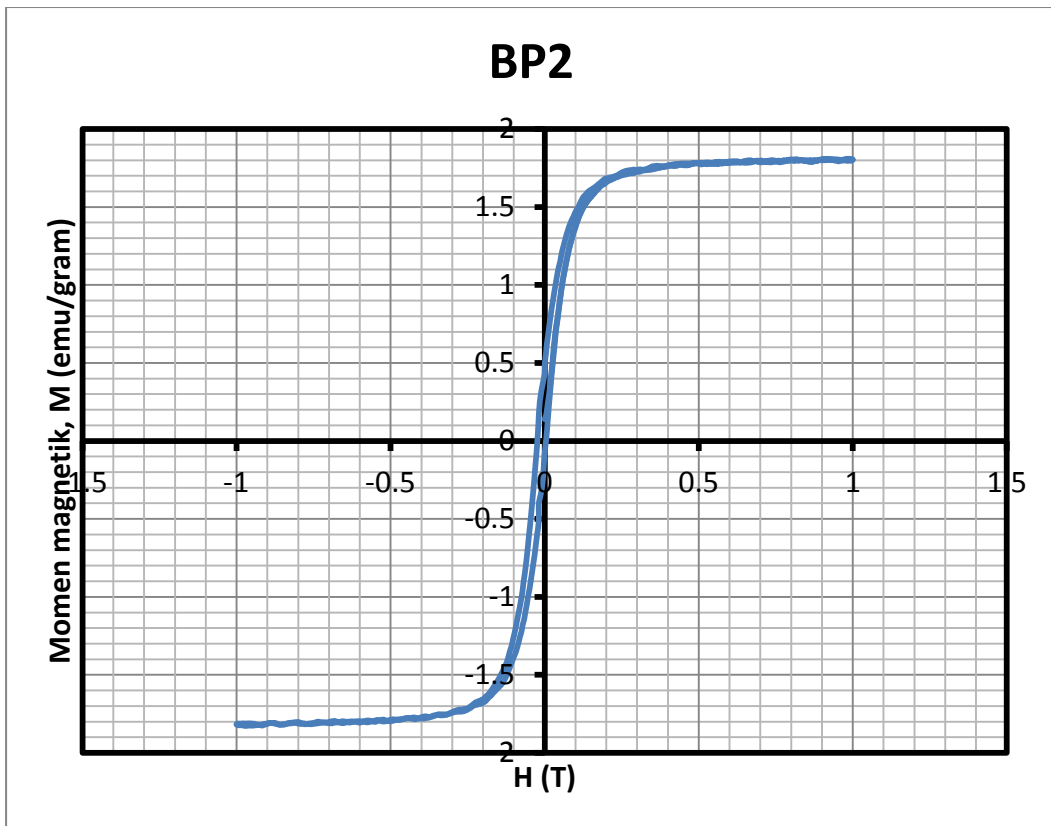
#### **Komposisi mineral :**

- Gelas vulkanik (Gls) (55%), sebagai massa dasar, *colorless* kecoklatan, teroksidasi sebagian.
- Plagioklas (Plg) (35%), sebagai fenokris (20%), segar, kembaran Albit dan Carlsbad, berukuran 0,125-1,5 mm, euhedral-subhedral, bentuk prismatic, komposisi andesin (An40-An46), terinklusi mineral opak dan plagioklas, sebagai massa dasar (15%), berukuran <0,125 mm, segar, *colorless*.
- Mineral opak (Opq) (8%), sebagai fenokris (3%), berukuran 0,125-0,5 mm, euhedral-subhedral, sebagai matriks (5%), berukuran <0,125 mm.
- Piroksen (Px) (2%), sebagai fenokris, berukuran 0,125-0,25 mm, segar, subhedral, bentuk prismatic.

#### **5.1.5. Pengukuran dan analisis parameter histeresis magnetik**

Pengukuran menggunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) di Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Serpong. Data yang diperoleh diplot dalam bentuk kurva histeresis seperti terlihat pada Gambar 9 (yang ditampilkan hanya salah satu sampel dari 10 sampel yang diukur). Adapun *resume* hasil parameter histeresis setelah dianalisis dapat dilihat pada tabel 1.





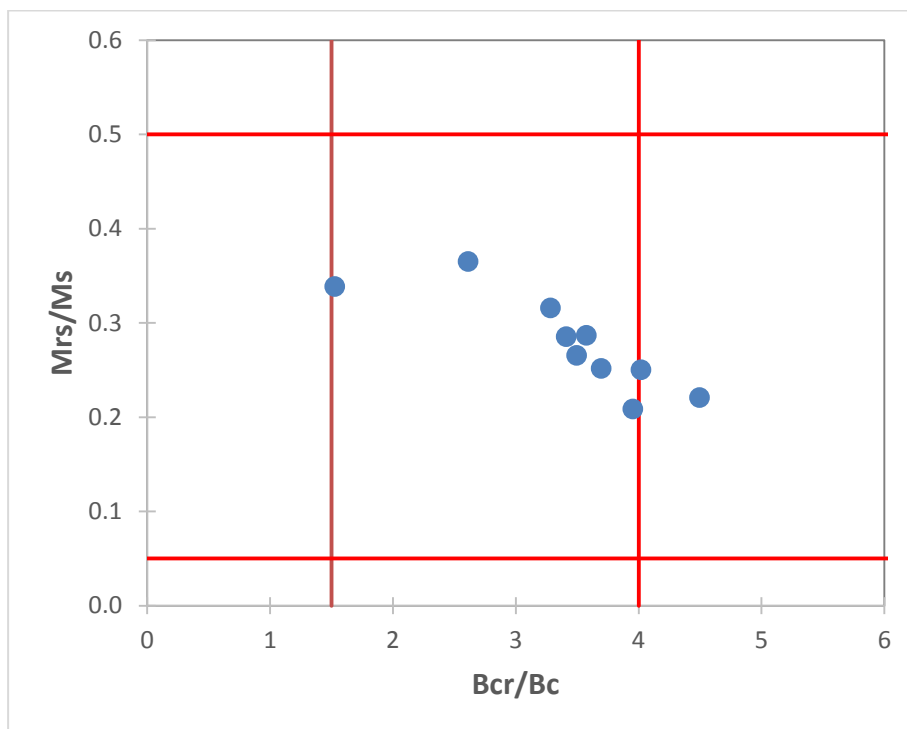
**Gambar 9.** Kurva histeresis salah satu sampel (BP2).

Tabel 1. Parameter histeresis magnetik pada sampel-sampel batuan dari Lengan Utara Pulau Sulawesi.

No	Kode	Lokasi	M <sub>rs</sub> (emu/g)	M <sub>s</sub> (emu/g)	B <sub>cr</sub> mT	B <sub>c</sub> mT	M <sub>rs</sub> /M <sub>s</sub>	B <sub>cr</sub> /B <sub>c</sub>
1	BP2	B	0.43	1.73	41	10.2	0.25	4.02
2	TRM	MU	0.47	1.67	69	19.3	0.28	3.57
3	LIK	MU	0.19	0.63	43.5	13.25	0.31	3.28
4	KEMA	MU	0.64	1.91	19	12.44	0.33	1.52
5	MSM	B	0.28	1.07	43	12.3	0.26	3.49
6	KIN1	TMH	0.27	0.75	29	11.1	0.36	2.61
7	LNSOT	MU	0.59	2.87	51	12.9	0.21	3.95
8	BP1	B	0.4	1.59	34	9.2	0.25	3.69
9	TDNO	M	0.29	1.03	36.5	10.7	0.28	3.41
10	PNKLN	B	0.54	2.48	58	12.9	0.22	4.49

Data parameter histeresis kemudian diplot berdasarkan diagram Day hingga terlihat seperti pada Gambar 10. Hampir seluruh sampel terlihat berada pada selang  $1.5 < (B_{cr}/B_c) < 4$

dan  $0.05 < (M_{rs}/M_s) < 0.5$  yang mengindikasikan bahwa mineral magnetik pada sampel-sampel tersebut memiliki *domain state* pseudo single domain.

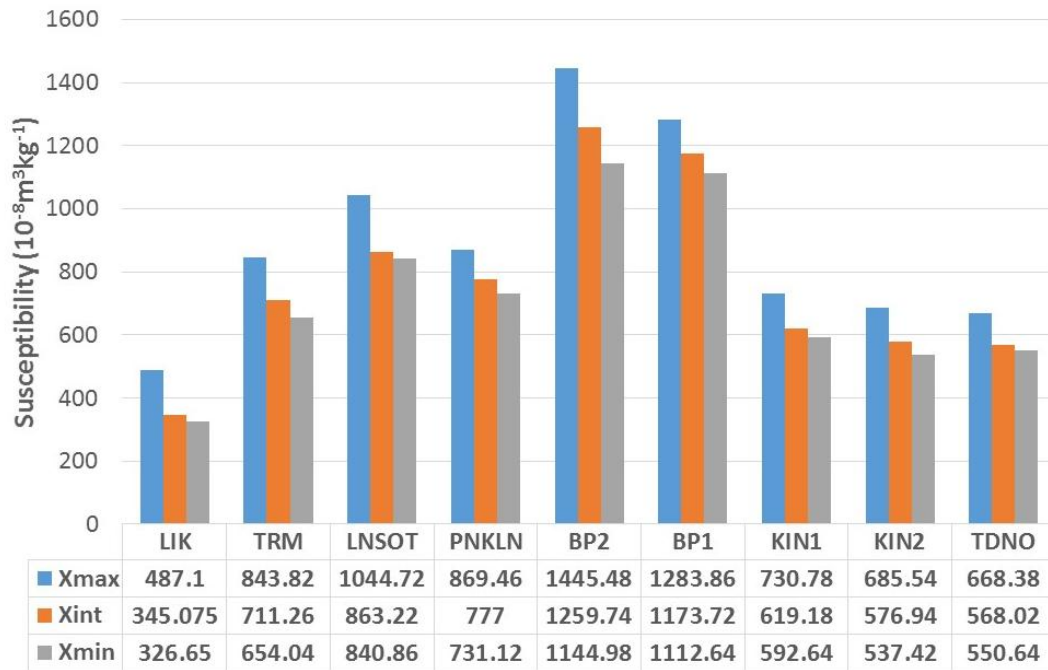


**Gambar 10.** Diagram Day sampel batuan beku yang ada di lengan utara Pulau Sulawesi.

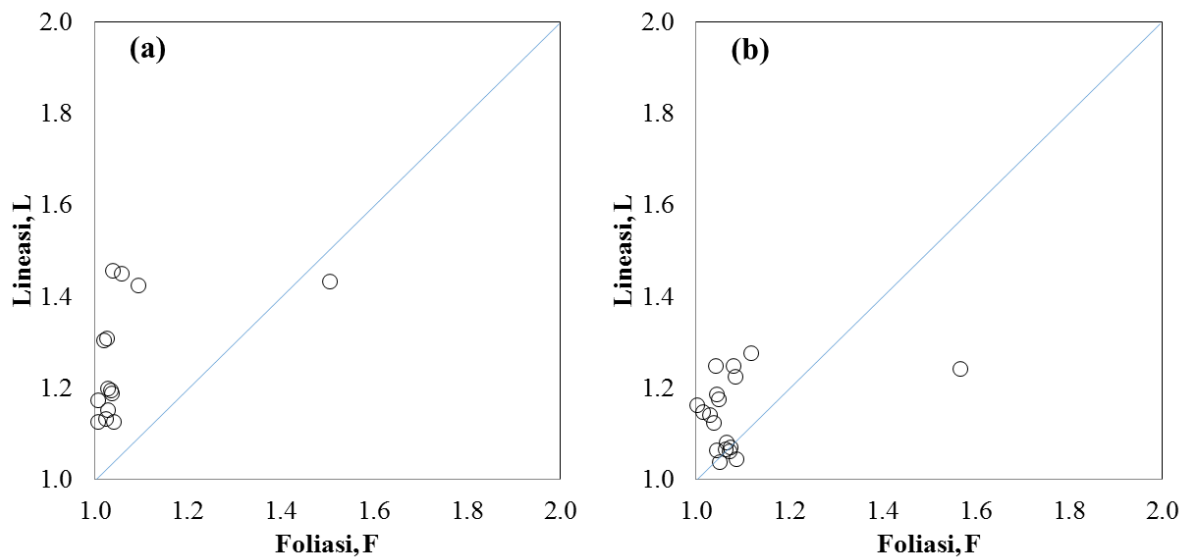
### 5.1.6. Pengukuran dan analisis anisotropi suseptibilitas magnetik

Gambar 11 menunjukkan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik anisotropi pada sampel batuan beku dari daerah Bitung, Minahasa Utara, Minahasa, dan Tomohon. Terlihat bahwa sampel-sampel dari situs BP (BP2 dan BP1) dari daerah Bitung memiliki nilai suseptibilitas magnetik tertinggi diikuti oleh sampel dari Minahasa Utara LNSOT. Nilai suseptibilitas magnetik terendah dari sampel-sampel yang diukur adalah sampel dengan kode LIK berasal dari Minahasa Utara.

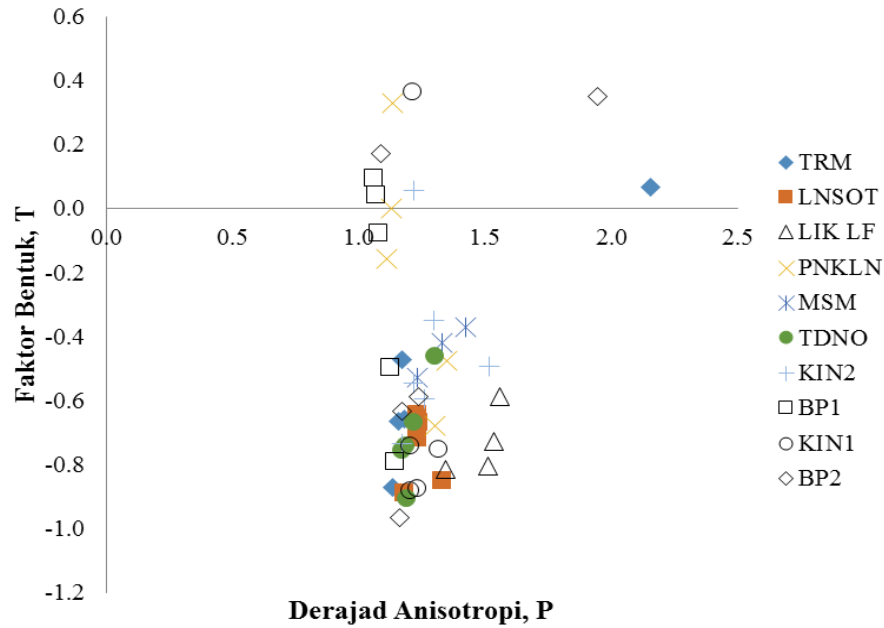
Faktor bentuk dan derajat anisotropi pada suseptibilitas magnetik sampel batuan dari Sulawesi Utara ditunjukkan dalam Gambar 12 dan 13. Secara umum faktor anisotropi suseptibilitas magnetik berbentuk lineasi dengan derajat anisotropi lebih dari satu. Pada Gambar 12 terlihat bahwa faktor lineasi sampel-sampel dari daerah Minut lebih tinggi dibandingkan dengan sampel-sampel dari daerah Bitung.



**Gambar 11.** Variasi nilai suseptibilitas pada sampel-sampel batuan



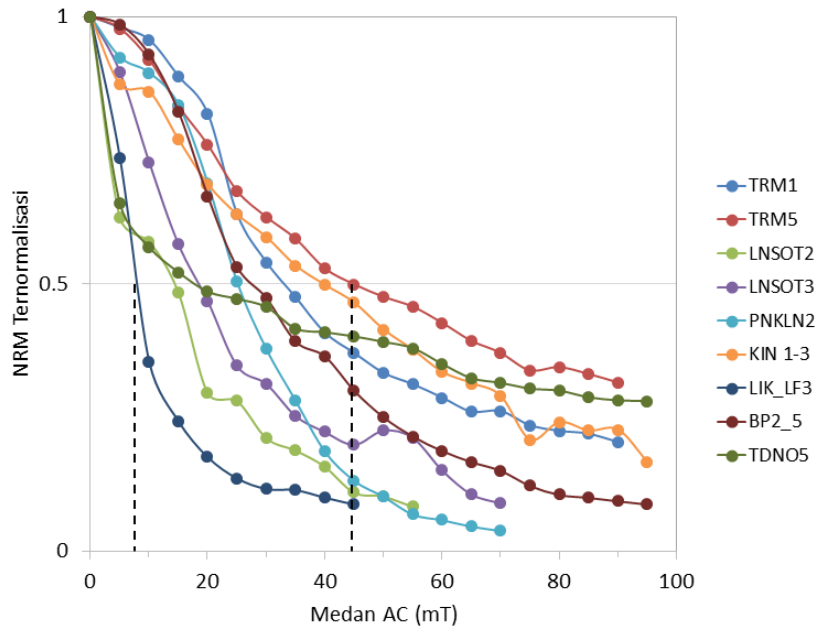
**Gambar 12.** Faktor bentuk anisotropi suseptibilitas magnetik pada sampel-sampel dari (a) Minut, (b) Bitung



**Gambar 13.** Derajat anisotropi suseptibilitas magnetik pada sampel-sampel batuan

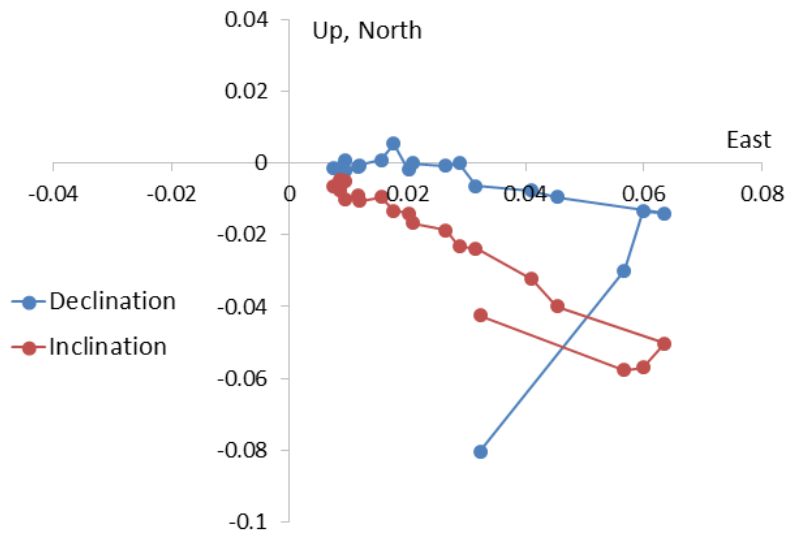
### 5.1.7. Remanen Magnetik pada Batuan Beku

Hasil pengukuran remanen magnetik pada sampel digunakan untuk menentukan beberapa hal yaitu domain magnetik, intensitas magnetisasi remanen alamiah atau *natural remanent magnetization* (NRM), serta deklinasi dan inklinasi. Gambar 14 menunjukkan peluruhan NRM pada beberapa sampel representatif. Nilai proyeksi setengah intensitas terhadap medan demagnetisasi yang diberikan atau biasa disebut *mean destructive field* (MDF) terlihat bervariasi antara 8 hingga sekitar 42 mT. Hal tersebut mengindikasikan bahwa sampel-sampel yang diukur memiliki tingkat stabilitas magnetik yang berbeda. Perbedaan tingkat stabilitas tersebut diakibatkan oleh perbedaan domain magnetik. Dari nilai MDF yang diperoleh, domain magnetik sampel-sampel yang diukur tersebar mulai dari *single domain* (SD), *pseudo single domain* (PSD), hingga *multi domain* (MD).

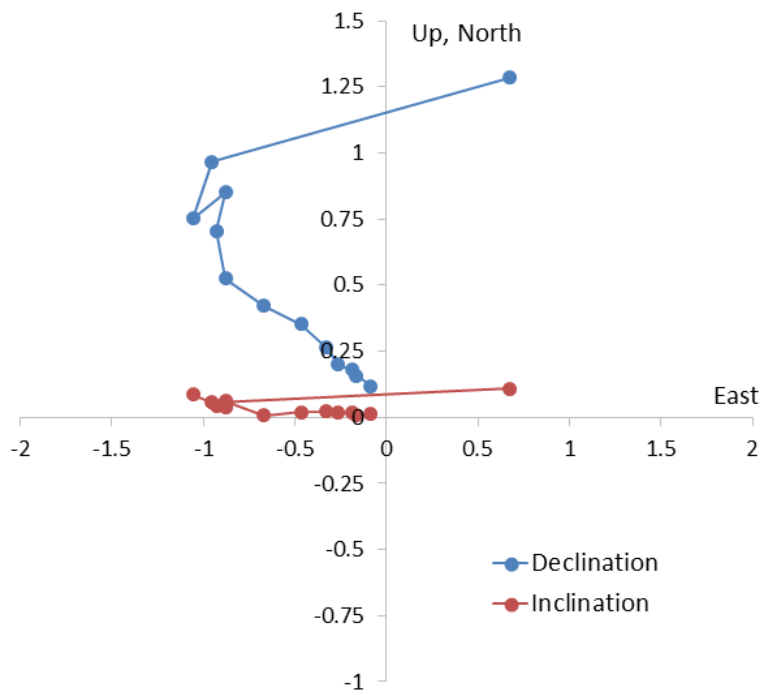


**Gambar 14.** Peluruhan intensitas NRM pada beberapa sampel representatif

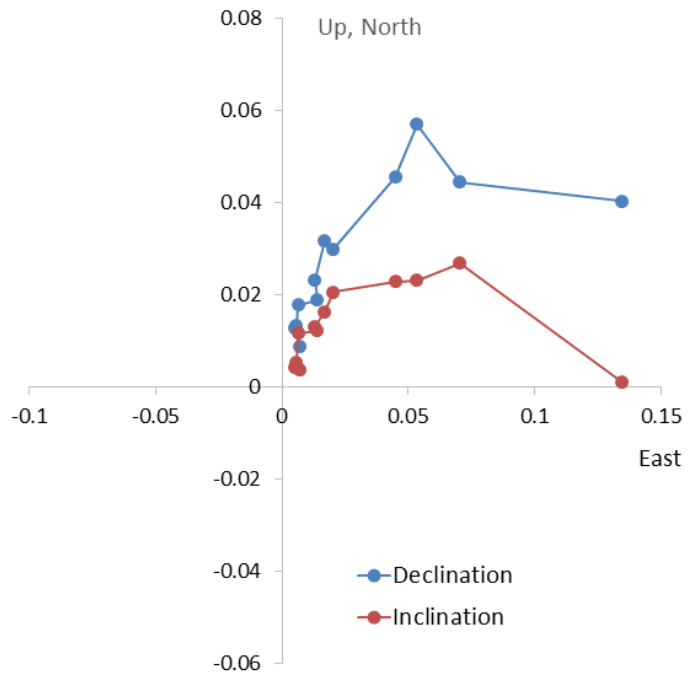
Gambar 15 hingga Gambar 21 menunjukkan perubahan deklinasi dan inklinasi pada pemberian medan demagnetisasi secara bertingkat. Cara ini dilakukan untuk melihat tingkat stabilitas remanen magnetik pada sampel serta memisahkan remanen magnetik primer dan remanen magnetik sekunder. Medan demagnetisasi yang digunakan adalah medan bolak-balik yang dibuat secara bertingkat mulai dari 5 mT hingga 90 mT. Secara umum hasil menunjukkan bahwa sampel-sampel batuan beku pada daerah Bitung, Minahasa Utara, Minahasa, dan Tondano memiliki tingkat stabilitas yang tinggi. Hal ini terlihat dari arah nilai remanen magnetik dalam arah Utara – Timur (deklinasi) dan arah vertikal (inklinasi) mulai relatif stabil pada pemberian medan bolak-balik 20 mT terhadap sampel. Kecenderungan stabilnya arah remanen magnetik setelah pemberian medan bolak-balik 20 mT bersesuaian dengan Butler (1992) dan Tauxe (2008) yang menyatakan bahwa pemisahan remanen magnetik primer dan sekunder biasanya terjadi medan AF 20 mT. Berdasarkan tingkat stabilitas remanen magnetik dari sampel-sampel yang diukur maka dapat dikatakan bahwa sampel-sampel tersebut layak untuk dijadikan sampel paleomagnetik untuk kajian evolusi tektonik suatu daerah.



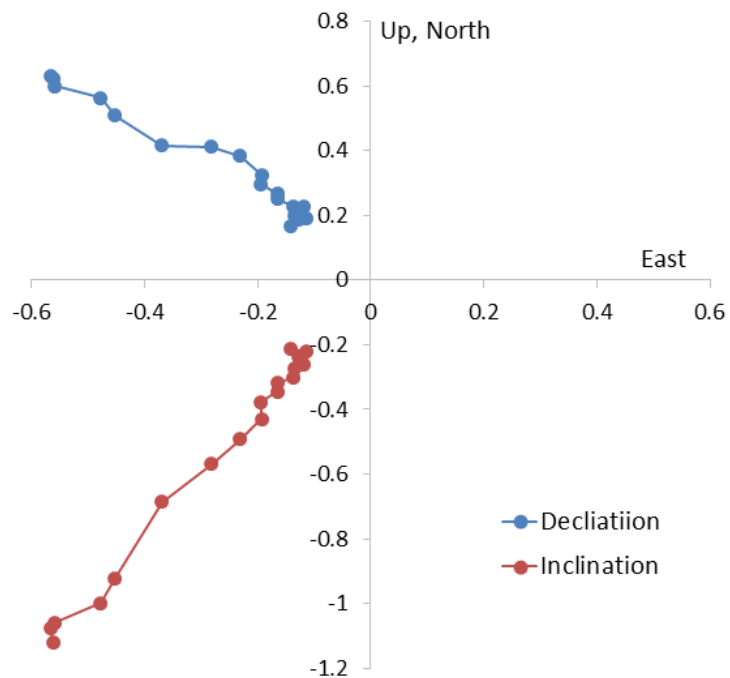
**Gambar 15.** Plot zijderfield untuk sampel dengan kode BP1-5 dari daerah Bitung



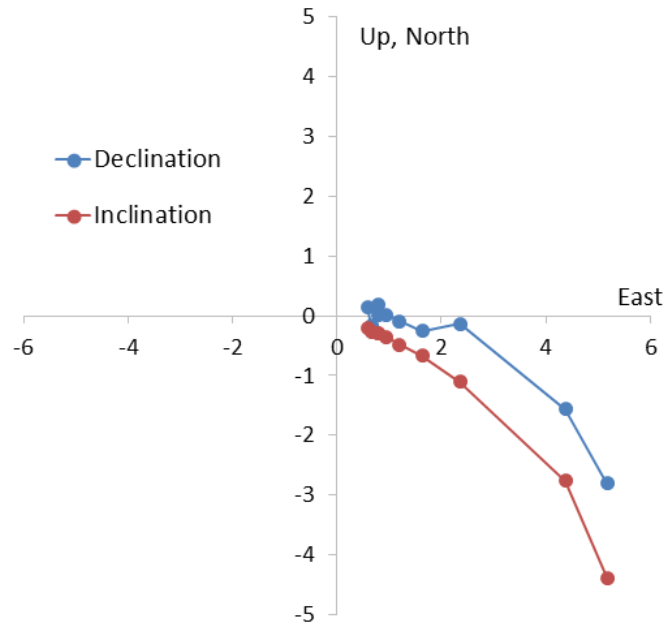
**Gambar 16.** Plot zijderfield untuk sampel dengan kode PNKLN3 dari daerah Bitung



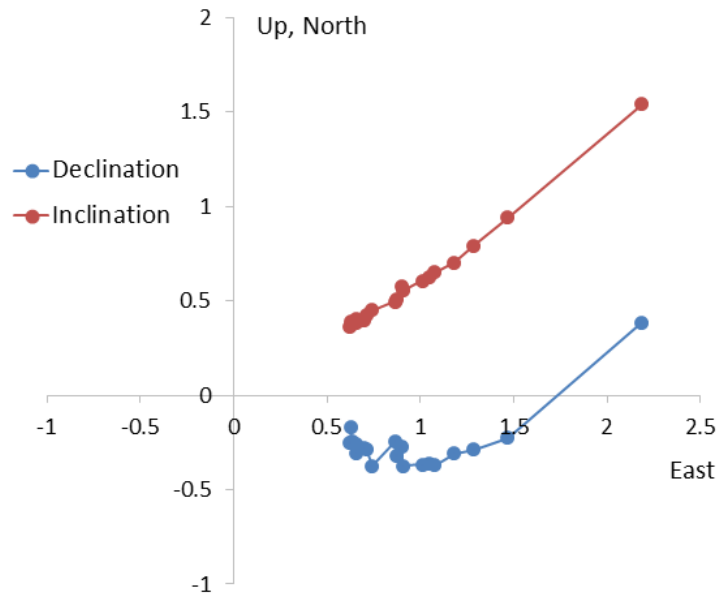
**Gambar 17.** Plot zijderfield untuk sampel dengan kode LNSOT2 dari daerah Minahasa Utara



**Gambar 18.** Plot zijderfield untuk sampel dengan kode TRM1 dari daerah Minahasa Utara

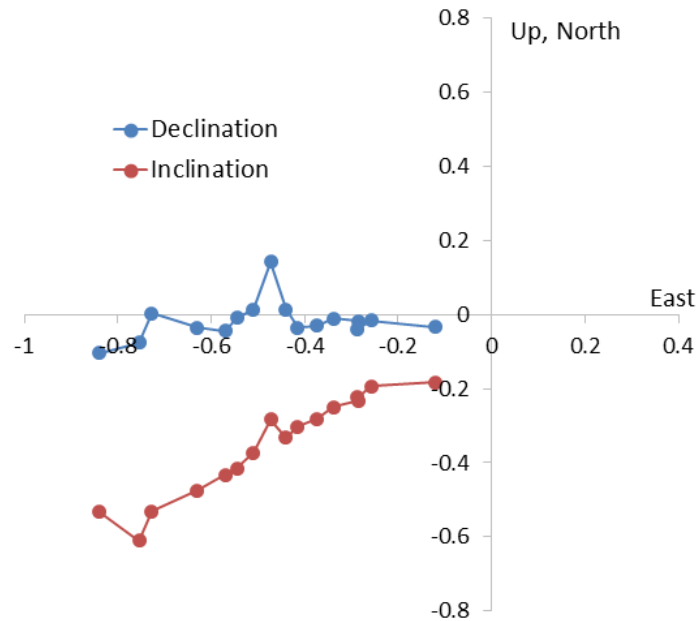


**Gambar 19.** Plot zijderfield untuk sampel dengan kode LIK LF3 dari daerah Minahasa Utara



**Gambar 20.** Plot zijderfield untuk sampel dengan kode TDNO dari daerah Minahasa





**Gambar 21.** Plot zijderfield untuk sampel dengan kode KIN1-4 dari daerah Tomohon

## 5.2. Luaran yang telah dicapai

Luaran-luaran yang telah dihasilkan:

- Presentasi pada Seminar Nasional Sains dan Terapan yang dilaksanakan di Universitas Sam Ratulangi Manado tanggal 23 September 2016.
- Presentasi pada Seminar Internasional *South East Asia Conference on Geophysics* yang dilaksanakan di Bali akhir 31 Agustus – 3 September 2016.
- Presentasi pada Seminar Nasional Geofisika yang dilaksanakan di Universitas Hasanuddin pada tanggal 6 Agustus 2016.
- Presentasi pada Seminar Nasional *Paleo, Rock, and Environmental Magnetism (PREM) ke-6* di Univeristas Padjadjaran Bandung, Nopember 2015 (*Invited Speaker*).
- Presentasi pada workshop nasional LAPAN-Unsrat di Manado, 20 Oktober 2015.
- Presentasi pada Seminar Nasional MIPA di Universitas Sam Ratulangi Manado, Agustus 2015
- Draft artikel jurnal nasional.

## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

Kegiatan penelitian ini menyisakan tiga hal yang diharapkan dapat segera rampung, yaitu:

1. Batuan beku di Sulawesi Utara pada umumnya berjenis basal dan andesit serta memiliki nilai suseptibilitas magnetik yang relatif tinggi yaitu berkisar  $(326.65 - 1445.48) \times 10^{-8} \text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ .
2. Suseptibilitas magnetik sampel batuan di Sulawesi Utara bersifat anisotropi dengan faktor bentuk yang dominan adalah lineasi mengindikasikan batuan intrusi dyke.
3. Mineral magnetik yang dominan pada sampel adalah magnetit dengan domain *pseudo single domain* (PSD).
4. Arah inklinasi dan deklinasi selama proses demagnetisasi umumnya relatif stabil mengindikasikan bahwa sampel sangat layak digunakan sebagai sampel paleomagnetik karena pengaruh medan sekunder sangat kecil.
5. Secara umum sampel batuan beku di Sulawesi Utara layak digunakan sebagai sampel paleomagnetik yang sangat berguna untuk kajian evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi.

### 6.2. Saran

Penelitian dapat dikembangkan hingga proses penentuan umur batuan supaya dapat digunakan untuk proses rekonstruksi evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Antretter, M., Steinberger, B., Heider, F., Soffel, H., 2002. Paleolatitudes of the Kerguelen Hotspot: New Paleomagnetic Results and Dynamic Modeling. *Earth and Planetary Science Letters* **203**, 635–650.
- Brown, L.L., McEnroe, S.A., 2012. Paleomagnetism and Magnetic Mineralogy of Grenville Metamorphic and Igneous Rocks, Adirondack Highlands, USA. *Precambrian Research* **212-213**, 57–74.
- Butler, R.F., 1992. *Paleomagnetism Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Blackwell Scientific Publishing, 319 p.
- Dunlop, D.J., 1995. Magnetism in Rocks. *Journal of Geophysical Research* **100(B2)**, 2161–2174.
- Dunlop, D.J., Özdemir, Ö., 1997. *Rock Magnetism: Fundamental and Frontiers*. Cambridge University Press, UK, 573 p.
- Evans, M.E., Heller, F., 2003. *Environmental Magnetism: Principles and Application of Enviromagnetics*. Academic Press, New York, 299 p.
- Gubbins, D., Herrero-Bervera, E., 2007. *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism*. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 1054 p.
- Hunt, C.P., Moskowitz, B.M., Banerjee, S.K., 1995. Magnetic Properties of Rock and Minerals. *Rock Physics and Phase Relations: A Handbook of Physical Constant*, 189–204.
- Kavalieris, I., Van Leeuwen, Th.M., Wilson, M., 1992. Geological Setting and Styles of Mineralization, North Arm of Sulawesi, Indonesia. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences* **7(2/3)**, 113–129.
- King, J., Banerjee, S.K., Marvin, J., Ozdemir, O. (1982) : A Comparison of Different Magnetic Methods of Determining the Relative Grain Size of Magnetite in Natural Materials: Some Results from Lake Sediments, *Earth and Planetary Science Letters* **59**, 404–419.
- Metcalf, I., 2011. Tectonic Framework and Phanerozoic Evolution of Sundaland. *Gondwana Research* **19**, 3–21.

- Ngkoimani, L., Bijaksana, S., Mahrizal, Abdulah, C.I., Liong, T.H., 2005. Magnetic Properties of Igneous Rocks from Banyuwangi, East Java, and Their Reliability for Paleomagnetic Study. *Indonesian Journal of Physics* **16**(2), 33–41.
- Otofuji, O., Sasajima, S., Nishimura, S., Dharma, A., Nehuwat, F., 1981. Paleomagnetic evidence for clockwise rotation of the northern arm of Sulawesi, Indonesia. *Earth and Planetary Science Letters* **54**, 272–280.
- Putnis, A., 1995. *Introduction to Mineral Sciences*. Cambridge University Press, Cambridge, 457 p.
- Reynolds, R.L., Kellogg, K.S., 1974. Paleomagnetism of Igneous Rocks of the Central Lassiter Coast, Antarctic Peninsula. *Antartic Journal*, 227–228.
- Surmont, J., Laj, C., Kissel, C., Rangin, C., Bellon, H., Priadi, B., 1994. New paleomagnetic constraints on the Cenozoic tectonic evolution of the North Arm of Sulawesi, Indonesia. *Earth and Planetary Science Letters* **121**, 629–638.
- Tauxe, L., 2008. *Essentials of Rock and Paleomagnetism*. Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA 92093-0220, 513 p.

## LAMPIRAN 1: BUKTI-BUKTI LUARAN

1. Seminar Nasional MIPA Unsrat 2015

### **ANALISIS REMANEN MAGNETIK PADA BATUAN BEKU DI DAERAH BITUNG, SULAWESI UTARA: SUATU KAJIAN AWAL EVOLUSI TEKTONIK LENGAN UTARA PULAU SULAWESI**

Gerald H. Tamuntuan<sup>1\*)</sup>, Guntur Pasau<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat, Manado - 95114

\*) Email: gtamuntuan@gmail.com

#### **Abstrak**

Batuan beku, yaitu batuan yang terbentuk dari proses pendinginan magma, merupakan objek yang sangat potensial untuk kajian evolusi tektonik suatu daerah. Selama proses pendinginan magma menjadi batuan, terjadi reaksi-reaksi kimia yang antara lain menyebabkan terbentuknya mineral-mineral pembawa sifat magnetik. Mineral-mineral ini saat pembentukannya dipengaruhi oleh intensitas serta arah medan magnetik bumi pada masa tersebut sehingga analisis tentang intensitas serta arah magnetisasi beberapa batuan beku pada suatu daerah berpotensi menyajikan posisi geografis daerah tersebut dari waktu ke waktu. Pada penelitian ini telah dilakukan pengukuran dan analisis remanen magnetik alamiah pada beberapa sampel batuan beku di daerah Bitung, Sulawesi Utara untuk mengetahui domain magnetik, intensitas magnetik, deklinasi dan inklinasi serta potensinya sebagai data paleomagnetik untuk kajian evolusi tektonik lengan utara Sulawesi.

***Keywords:*** *Remanen Magnetik, Batuan Beku, Bitung*



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SAM RATULANGI



## SERTIFIKAT

Diberikan kepada

- **Dr. GERALD TAMUNTUAN, S.Si., M.Si**

Atas peran serta sebagai

**PEMAKALAH ORAL**

Dalam kegiatan Seminar Nasional FMIPA 2015 "SAINS UNTUK KEHIDUPAN", yang dilaksanakan di Ruang A Lantai 4 Gedung Rektorat Universitas Sam Ratulangi, pada Selasa, 25 Agustus 2015.

Manado, 25 Agustus 2015

Dekan FMIPA Unsrat



Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc.  
NIP. 19660604 199512 1 001

Ketua HKI Sulut



Dr. Inggay K. J. Runtuwene, M.Si.  
NIP. 19650330 198903 1 003

2. Workshop LAPAN-Unsrat 2015



### 3. Konferensi Nasional PREM 2015

PREM6-02

#### **Mengungkap Masa Lalu Bumi Melalui Sifat Magnetik Batuan**

Gerald Tamuntuan (1)

1) Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas  
Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat, Manado 95115  
INDONESIA  
Email: [gtamuntuan@gmail.com](mailto:gtamuntuan@gmail.com)

Keadaan bumi dimasa lalu perlu dikaji untuk mendapatkan informasi tentang dinamika bumi dari waktu ke waktu. Informasi tersebut digunakan antara lain untuk mempelajari evolusi tektonik suatu daerah, perubahan iklim dalam skala abad ataupun milenial, verifikasi model iklim, dan analisis intensitas serta arah medan magnet bumi dari waktu ke waktu. Salah satu cara mengungkap dinamika bumi dimasa lalu adalah dengan mengkaji sifat-sifat magnetik pada objek batuan, tanah, ataupun sedimen melalui metode yang dikenal sebagai metode kemagnetan batuan (*rock magnetism method*). Sifat-sifat magnetik pada sampel diperoleh melalui pemberian medan magnet induksi atau tanpa pemberian medan magnet induksi. Sifat-sifat tersebut ditentukan oleh jenis, konsentrasi, granulometri, dan orientasi dari bulir-bulir magnetik dalam sampel. Parameter-parameter magnetik yang diukur biasanya meliputi suseptibilitas magnetik, *natural remanent magnetization* (NRM), *anhysteretic remanent magnetization* (ARM), *isothermal remanent magnetization* (IRM), termomagnetik, dan hysteresis magnetik. Untuk memperkuat analisis secara magnetik biasanya dilakukan pula pengukuran *X-ray diffraction* (XRD) dan observasi dengan *scanning electron microscope* (SEM). Analisis yang mendalam terhadap parameter-parameter tersebut beserta turunannya dapat memberikan informasi tentang kondisi atau keadaan bumi dimasa lalu.

**.Keywords:** Sifat magnetik, kemagnetan batuan



**November, 11-12<sup>th</sup> 2015**

**At Bale Rucita  
Universitas Padjadjaran  
Jatinangor, Jawa Barat**

**Dr. Gerald Tamuntuan**  
**Invited Speaker**

# **Certificate**

## ***National Conference of PREM***

**"From Rock Magnetism to Environmental Magnetism"**

**6<sup>th</sup>**

**Dean of FMIPA-UNPAD**



**Prof. Budi Nurani R.**

**Chairperson**



**PREM/Dr. Eleonora Agustine**



**Geophysics Study Program - FMIPA Universitas Padjadjaran**

**Kelayakan Batuan Beku di Sulawesi Utara sebagai Sampel Paleomagnetik:  
Studi Anisotropi Suseptibilitas Magnetik dan Remanen Magnetik Alamiah**

Gerald Tamuntuan<sup>1\*</sup>, Guntur Pasau<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat Manado 95114

\*Email: gtamuntuan@gmail.com

**Sari / Abstract**

Evolusi tektonik Pulau Sulawesi relatif kompleks karena berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng asia, australia, dan indo pasifik. Salah satu cara untuk mengkaji pergerakan pada berbagai bagian Pulau Sulawesi, termasuk salah satunya adalah lengan utara Pulau Sulawesi, adalah dengan metode paleomagnetik. Dalam penelitian ini telah dilakukan karakterisasi sifat-sifat magnetik batuan beku pada beberapa lokasi di Sulawesi Utara dengan tujuan untuk menguji kelayakan batuan beku di Sulawesi Utara sebagai sampel paleomagnetik. Karakterisasi dilakukan antara lain melalui pengukuran nilai anisotropi suseptibilitas magnetik dan remanen magnetik alamiah. Hasil analisis menunjukkan bahwa semua sampel memiliki nilai suseptibilitas yang relatif tinggi dan bersifat anisotropi dengan tingkat kelonjongan/kepipihan mineral magnetik yang bervariasi. Nilai *mean destructive field* (MDF) sebagai hasil peluruhan remanen magnetik alamiah bervariasi antara 8 hingga sekitar 42 mT mengindikasikan bahwa sampel-sampel yang diukur memiliki tingkat stabilitas magnetik yang berbeda sebagai akibat perbedaan domain magnetik. Dari nilai MDF yang diperoleh, domain magnetik sampel-sampel yang diukur tersebar mulai dari *single domain* (SD), *pseudo single domain* (PSD), hingga *multi domain* (MD). Kurva Zijderfield menunjukkan bahwa demagnetisasi remanen magnetik dalam komponen arah Utara – Timur (deklinasi) dan arah vertikal (inklinasi) mulai relatif stabil setelah pemberian medan bolak-balik 20 mT terhadap sampel. Hal ini mengindikasikan relatif kecilnya pengaruh medan magnetik sekunder pada sampel. Berdasarkan hal-hal yang dikemukakan maka dapat dikatakan bahwa batuan beku di Sulawesi Utara pada umumnya layak dijadikan sampel paleomagnetik untuk kajian evolusi tektonik.

Kata kunci : suseptibilitas magnetik, remanen magnetik, batuan beku, Sulawesi Utara

# Sertifikat

DIBERIKAN KEPADA

**GERALD TAMUNTUAN**

sebagai **Pemakalah** Seminar Nasional Geofisika  
"Peranan Optimalisasi Geosains dalam Era MEA"  
Program Studi Geofisika  
Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin  
Makassar, 6 Agustus 2016

Dekan

Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin

Dr. Eng. Amiruddin

NIP: 197205151997021002

Ketua Panitia

Seminar Nasional Geofisika

Dr. Muhammad Hamza

NIP: 19691231199702



## Characteristics of Magnetic Susceptibility and Remanent Magnetization on Igneous Rock from North Sulawesi, Indonesia

Gerald Tamuntuan<sup>1\*</sup>, Guntur Pasau<sup>1</sup>, Melisa Rongkonusa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Sam Ratulangi University, Jl. Kampus Unsrat Manado – 95114, Indonesia

\*corresponding author's email : gtamuntuan@gmail.com

---

### ABSTRACT

---

Igneous rock is the potential object for paleomagnetic study. The cooling process of magma to be igneous rock can cause physicochemical reactions that produce magnetic minerals. Upon its formation, the minerals is influenced by the intensity and direction of the Earth's magnetic field at that time. Consequently, the analysis of the intensity and direction of magnetization of some igneous rocks in an area potentially serving its geographical position in the past. In this study, we have performed characterization of the magnetic properties of several samples of igneous rock from North Sulawesi in order to know its feasibility as paleomagnetic samples. The measurement of Anisotropy Magnetic Susceptibility in six directions shows that the anisotropy degree of all samples are more than 1 ( $P > 1$ ). The magnetic susceptibility in principal axis are  $496,15 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1} < \chi_{\text{max}} < 1486,80 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ ;  $348,48 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1} < \chi_{\text{int}} < 1379,80 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ ; and  $307,46 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1} < \chi_{\text{min}} < 1312,10 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ . Measurement of Natural Remanent Magnetization (NRM) shows that the samples had relatively stable of magnetic remanence. Primary and secondary NRM could generally be separated after the samples are given alternating field 20 mT. NRM decay profiles indicate that domain state of magnetic minerals in all samples were dominated by pseudo single-domain. The relatively high value of susceptibility as well as the stability of magnetic remanence indicates that igneous rock from several locations in North Sulawesi meet the criteria to be paleomagnetic sample and it can be used for the study of tectonic evolution of northern arm of Sulawesi.

---

**Keywords:** magnetic susceptibility, remanent magnetization, igneous rock, North Sulawesi

---



Geophysical Engineering  
Faculty of Mining and Petroleum Engineering  
Institut Teknologi Bandung



1<sup>st</sup> Southeast Asian  
Conference on Geophysics

# CERTIFICATE

This is to certify that

*Gerald Tamuntuan*

has participated as

*Presenter*

in

The 1<sup>st</sup> Southeast Asian Conference on Geophysics  
from 31 August 2016 - 3 September 2016 at Bali, Indonesia

Dr. rer. nat. M. Rachmat Sule  
Chairman of The Southeast  
Asian Conference on  
Geophysics 2016

Dr. Andri Dian Nugraha  
Head of Department of  
Geophysical Engineering

Prof. Sri Widiyantoro, Ph.D  
Dean of Faculty of  
Mining and Petroleum  
Engineering

## **Rekaman Mineral Magnetik Berukuran Sebutir Pasir dibelah 100 dan Pemanfaatannya pada Dinamika Lengan Utara Pulau Sulawesi**

Gerald Tamuntuan<sup>1\*</sup>, Guntur Pasau<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat Manado 95114

\*Email: [gtamuntuan@gmail.com](mailto:gtamuntuan@gmail.com)

### **Abstrak**

Batuan, tanah, dan sedimen pada umumnya mengandung mineral yang bersifat magnetik. Pada batuan beku, proses merekam intensitas dan arah medan magnet bumi oleh mineral magnetik terjadi saat magma mendingin menjadi batuan beku yaitu ketika suhu batuan tersebut berada sesaat dibawah suhu Curie. Dalam penelitian ini telah dilakukan analisis terhadap sifat-sifat mineral magnetik pada beberapa situs batuan beku yang ada di daerah Sulawesi Utara dan potensinya dalam menentukan pergerakan lengan utara Pulau Sulawesi. Proses analisis menggunakan beberapa metode prinsip dalam kemagnetan batuan seperti *isothermal remanent magnetization (IRM)*, *natural remanent magnetization (NRM)*, dan *anisotropy of magnetic susceptibility (AMS)*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa mineral magnetik pada sampel-sampel yang digunakan secara umum bervariasi sekitar 0,1 – 135  $\mu\text{m}$  dengan susceptibilitas magnetik sampel antara  $307,46 \times 10^{-8}$  hingga  $1486,80 \times 10^{-8} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ . Faktor bentuk anisotropi susceptibilitas magnetik umumnya adalah *prolate* mengindikasikan sampel adalah batuan beku intrusi berjenis *dyke*. Peluruhan NRM dan NRM karakteristik (ChNRM) relatif stabil sehingga sampel sangat layak dimanfaatkan untuk analisis dinamika lengan utara Pulau Sulawesi.

**Kata kunci:** Mineral magnetik, Lengan Utara Pulau Sulawesi, batuan beku.



# SERTIFIKAT



Diberikan Kepada:

Dr. GERALD TAMUNTUAN, S.Si, M.Si.

Sebagai

## PEMAKALAH ORAL

Seminar Nasional Sains dan Terapan (SEMNAS-SINTA) III:  
"Peran Sains Dalam Pengelolaan Sumber Daya Alam Untuk Kehidupan"  
23 September 2016 di Universitas Sam Ratulangi Manado

Dekan FMIPA UNSRAT,

Ketua Panitia,



Prof. Dr. Benny Pinontoan, M.Sc  
NIP. 19660604 199512 1 001



Dr. Henry F. Arintonang, S.Si., M.Si  
NIP. 19711207 200003 1 001

## LAMPIRAN 2: INSTRUMEN YANG DIGUNAKAN

1. Bor batuan, GPS, serta batuan beku yang dijadikan sampel.

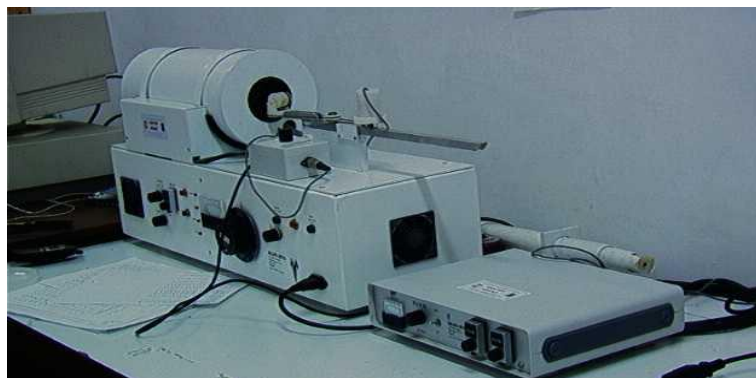




2. Bartington MS2B untuk pengukuran anisotropi suseptibilitas magnetik



3. Demagnetizer dan Minispin Magnetometer untuk pengukuran NRM



4. *Vibrating Sample Magnetometer* untuk pengukuran IRM dan Kurva Histeresis (parameter hysteresis)



5. Mikroskop Polarisasi



## LAMPIRAN 3. PERSONALIA PENELITIAN

### 1. Ketua Tim Peneliti

#### A. Identitas Diri

1.	Nama	Dr. Gerald Hendrik Tamuntuan, S.Si., M.Si.	L
2.	Jabatan Fungsional	Lektor Kepala	
3.	Jabatan Struktural	-	
4.	NIP	19710506 200003 1 001	
5.	NIDN	0006057102	
6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Bitung, 6 Mei 1971	
7.	Alamat Rumah	Jl. Pramuka no. 122 Sario Kotabaru, Manado, Propinsi Sulawesi Utara	
9.	Nomor Telepon/HP	08124450886	
10.	Alamat Kantor	Jl. Kampus Unsrat Bahu, Manado – 95115	
11.	Nomor Telepon/Faks	(0431)864346 / (0431)853715	
12.	Alamat E-mail	<a href="mailto:gtamuntuan@gmail.com">gtamuntuan@gmail.com</a>	
13.	Lulusan yang telah dihasilkan	S1 = 4 orang ; S2 = --- ; S3 = ---	
13.	Mata Kuliah yg Diampu	1. Listrik Magnet 2. Metode Elektromagnetik dan Kemagnetan Batuan 3. Fisika Komputasi 4. Geodinamika	

#### B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	Universitas Hasanuddin	Institut Teknologi Bandung	Institut Teknologi Bandung
Bidang Ilmu	Fisika	Fisika	Fisika
Tahun Masuk-Lulus	1990-1997	2007-2009	2009-sekarang
Judul Skripsi/ Thesis/ Disertasi	Prakiraan Gaya Ombak Pada Struktur Bawah Air dengan Pemodelan Numerik	Preliminary Study on The Magnetic Properties of Tectonic and Maar Lakes Sediment from Indonesia	Sifat-Sifat Magnetik Sedimen Danau Towuti, Sulawesi Selatan, dan Penerapannya sebagai Indikator Paleoklimat
Nama Pembimbing/ Promotor	Prof. Dr. Dadang Ahmad S.	Prof. Dr. Satria Bijaksana	Prof. Dr.rer.nat. Umar Fauzi

### C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir

(Bukan skripsi, thesis, dan disertasi)

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1.	2013	Analisis Perubahan Sifat Magnetik dalam Menemukan Variasi Influx dan Proses <i>Reductive Diagenesis</i> pada Sedimen Danau Towuti, Sulawesi Selatan. (Hibah Penelitian Disertasi Doktor).	Dikti	30
2.	2015	Pemanfaatan Geolistrik Resistivitas untuk Mendeteksi Rembesan Bawah Permukaan Limbah Cair TPA Sumompo, Manado	DIPA Unsrat 2015	40
3.	2015	Studi Sifat-sifat Mineral Magnetik pada Batuan Beku di Sulawesi Utara untuk Menentukan Potensinya dalam Kajian Evolusi Tektonik (HF Tahun I)	Dikti	50
4.	2015	Magnetic Properties of Soil and Sediment from Malili Lake System (PUPT ITB Tahun I)	Dikti	120
5.	2016	Studi Sifat-sifat Mineral Magnetik pada Batuan Beku di Sulawesi Utara untuk Menentukan Potensinya dalam Kajian Evolusi Tektonik (HF Tahun II)	Ristekdikti	60
6.	2016	Magnetic Properties of Soil and Sediment from Malili Lake System (PUPT ITB Tahun II)	Ristekdikti	120

### D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1.	2016	IbM Mitigasi Gempa Bumi dan Tsunami di Daerah Kema Kabupaten Minahasa Utara	PNBP Universitas Sam Ratulangi	10
2.	-	-	-	-

### E. Pengalaman Penulisan Artikel Ilmiah Dalam Jurnal Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor/ Tahun	Nama Jurnal
1	The Magnetic Properties of Indonesian Lake Sediment: A Case Study of a Tectonic Lake in South Sulawesi and Maar Lakes in East Java	42/1/2010	ITB Journal of Science (scopus)
2	Rock Magnetic Methods in Soil and Environmental Studies: Fundamental and Case Studies	6-/2012	Procedia Earth and Planetary Science
3	Magnetic Susceptibility Properties of Pesticide Contaminated of Volcanic Soil	1554-/2013	American Institute of Physics conference (AIP) proceedings (scopus)
4	Parameterization of Magnetic Viscosity and Its Application in Inferring Fine Magnetic Grains in Natural Samples	2015	American Institute of Physics (AIP) Proceedings (scopus)
5	Variation of Magnetic Properties on Sediments from Lake Towuti, Indonesia, and Its Paleoclimatic Significance	2015	Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology (Thompson, scopus)
6	The effectiveness of magnetic methods in delineating soil horizons: A case study of volcanic soil from Lembang, West Java	2015	American Institute of Physics (AIP) Proceedings (scopus)
7	Investigasi Rembesan Limbah Cair Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas: Studi Kasus TPA Sumompo, Manado	2015	Prosiding Seminar Nasional Fisika 2015 Universitas Negeri Jakarta
8	Analisis Percepatan Tanah Maksimum dengan Menggunakan Rumusan Esteva dan Donovan: Studi Kasus pada Semenanjung Utara Pulau Sulawesi	2015	Jurnal Sains MIPA Univ. Sam Ratulangi
9	Identifikasi Rembesan Limbah Cair TPA Sumompo, Manado, dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger	2015	Jurnal Sains MIPA Univ. Sam Ratulangi

**F. Pengalaman Penyampaian Makalah Secara Oral Pada Pertemuan / Seminar Ilmiah Dalam 5 Tahun Terakhir**

No	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.	The 6 <sup>th</sup> Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)	Rock Magnetic Study on Indonesian Lake Sediments: A Feasibility Study on the Use of Magnetic Parameters as Proxy Indicators of Climate Change in the Tropics. ( <b>Tamuntuan, G. H.</b> , Bijaksana, S., Gaffar, E., Russell, J. M., Safiuddin, L.)	Agustus 2009, Suntec City – Singapore
2.	Seminar Nasional <i>Paleo-Rock and Environmental Magnetism</i> (PREM)	Korelasi Sifat Magnetik <i>Core</i> Sedimen Danau Towuti (Indonesia) dengan Variabilitas Iklim Masa Lampau. ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , Satria Bijaksana, Umar Fauzi, Khoiril A. Maryunani, La Ode Safiuddin)	12 Mei 2012, Malang
3.	Asian Physics Symposium 2012	Parameterization of Magnetic Viscosity and Its Application in Inferring Fine Magnetic Grains in Natural Samples. ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , Satria Bijaksana, Umar Fauzi, Khoiril A. Maryunani)	10 – 12 Juli 2012, Bandung
4.	Asia Oceania Geosciences Society – American Geophysical Union (AOGS-AGU) joint assembly	Variation of magnetic properties on sediment core from Lake Towuti, Indonesia: Evidences for influx variation and magnetite dissolution. ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , Satria Bijaksana, Umar Fauzi, James Russell, John King, Laode Safiuddin)	13 – 17 Agustus 2012, Resort World Sentosa, Singapore
5.	The 10 <sup>th</sup> Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)	Preliminary Study on the Magnetic Responses to Paleoclimatic Events Recorded in Lake Towuti sediment. ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , Satria Bijaksana, John King, Umar Fauzi, Khoiril Maryunani, Satrio Wicaksono)	24 – 28 Juni 2013, Brisbane, Australia
6.	Seminar Nasional Fisika 2015	Investigasi Rembesan Limbah Cair Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas: Studi Kasus TPA Sumompo, Manado ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , As'ari, Friska Datunsolang)	Juni 2015, Jakarta

7.	Seminar Nasional Sains untuk Kehidupan	Analisis Remanen Magnetik pada Batuan Beku di Daerah Bitung, Sulawesi Utara: Suatu Kajian Awal Evolusi Tektonik Lengan Utara Pulau Sulawesi ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , Guntur Pasau)	Agustus 2015, Manado
8.	Workshop Cuaca Antariksa dan Pemanfaatannya III	Variasi Intensitas Medan Magnetik Bumi Masa Lalu dalam Perspektif Kemagnetan Batuan ( <b>Gerald Tamuntuan</b> )	Oktober 2015, Manado
9.	Konferensi Nasional Paleo-Rock and Environmental Magnetism	Mengungkap Masa Lalu Bumi Melalui Sifat Magnetik Batuan ( <b>Gerald Tamuntuan</b> ) ( <i>Invited Speaker</i> )	Nopember 2015, Unpad Jatinangor
10	Seminar Nasional Geofisika	Kelayakan Batuan Beku di Sulawesi Utara sebagai Sampel Paleomagnetik: Studi Anisotropi Suseptibilitas Magnetik dan Remanen Magnetik Alamiah ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , Guntur Pasau)	Universitas Hasanuddin, Makassar, 6 Agustus 2016
11	Southeast Asian Conference on Geophysics (SEACG) 2016	Characteristics of Magnetic Susceptibility and Remanent Magnetization on Igneous Rock from North Sulawesi, Indonesia ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , Guntur Pasau, Melisa Rongkonusa)	Bali, 31 Agustus – 3 September 2016
12	Seminar Nasional Sains dan Terapan	Rekaman Mineral Magnetik Berukuran Sebutir Pasir di Belah 100 dan Pemanfaatannya pada Dinamika Lengan Utara Pulau Sulawesi ( <b>Gerald Tamuntuan</b> , Guntur Pasau)	Universitas Sam Ratulangi, Manado, 23 September 2016

#### G. Pengalaman Penulisan Buku dalam 5 Tahun Terakhir

No.	Judul Buku	Tahun	Jumlah Halaman	Penerbit
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-

#### H. Pengalaman Perolehan HKI Dalam 5 – 10 Tahun Terakhir

No.	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	Nomor P/ID
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-

**I. Pengalaman Merumuskan Kebijakan Publik/Rekayasa Sosial Lainnya Dalam 5 Tahun Terakhir**

No.	Judul/Tema/Jenis Rekayasa Sosial Lainnya yang Telah Diterapkan	Tahun	Tempat Penerapan	Respons Masyarakat
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-

**J. Penghargaan yang Pernah Diraih dalam 10 tahun Terakhir (dari pemerintah, asosiasi atau institusi lainnya)**

No.	Jenis Penghargaan	Institusi Pemberi Penghargaan	Tahun
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila di kemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima risikonya. Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Penelitian Fundamental.

Manado, 15 Nopember 2016  
Pengusul,



Dr. Gerald Hendrik Tamuntuan, S.Si., M.Si.  
NIP. 19710506 200003 1 001



## 2. Anggota Tim Peneliti

### A. Identitas Diri

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Guntur Pasau, S.Si, M.Si
2	Jenis Kelamin	L/ <del>P</del>
3	Jabatan Fungsional	Lektor
4	NIP/NIK/Identitas lainnya	19700120 200604 1 001
5	NIDN	0020017006
6	Tempat dan Tanggal Lahir	Paken, 20 Januari 1970
7	E-mail	pasaujunior@gmail.com
8	Nomor Telepon/ HP	0812 2147 7629
9	Alamat Kantor	Jl. Kampus UNSRAT Kleak Manado
10	Nomor Telepon/Faks	(0431) 2031881, (0431) 2042500
11	Lulusan yang Telah Dihasilkan	S-1= 8 orang; S-2= - Orang; S-3= - Orang
12. Mata Kuliah yg Diampu		1. Fisika Dasar
		2. Seismologi
		3. Geodinamika
		4. Komputasi Fisika
		5. Pengantar Geofisika
		6. Metode Numerik
		7. Vulkanologi

### B. Riwayat Pendidikan

	S-1	S-2	S-3
Nama Perguruan Tinggi	UNHAS	ITB	-
Bidang Ilmu	GEOFISIKA	SAINS KEBUMIHAN (GEOFISIKA)	
Tahun Masuk-Lulus	1990-1997	2008-2010	
JudulSkripsi/Thesis/Disertasi	Penafsiran Data Seismik Bias Dangkal Dengan Metode Timbal Balik Umum Dalam Penentuan Struktur Bawah Permukaan Bumi	Studi Komparasi Peta Hazard Gempa Bumi dan Analisis Spektra Pulau Sulawesi Menggunakan Data USGS dan Data Hasil Relokasi	

Nama Pembimbing/Promotor	Drs. Lantu, M.Eng.Sc	Prof. Sri Widiyantoro, PhD	
--------------------------	-------------------------	-------------------------------	--

### C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir:

No	Tahun	Judul Penelitian	Pendanaan	
			Sumber	Jml (Juta Rp)
1	2012	Pengamatan Aktivitas Gempa Bumi Di Wilayah Sulawesi Utara Dan Sekitarnya Dengan Menggunakan Perubahan Nilai $a-b$	BOPTN	15
2	2011	Pemodelan Sumber Gempa Di Wilayah Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Bencana (Ketua)	PNBP	15
3	2010	Mitigasi Bencana Gempa Bumi dan Tsunami Indonesia 2010 (Anggota)	Litbang BMKG	100
4	2010	Peta Zonasi Gempa Wilayah Sulawesi Utara dan Sekitarnya Sebagai Upaya Mitigasi Bencana.(Ketua)	DIPA UNSRAT	10

### D. Publikasi Artikel Ilmiah Dalam Jurnal dalam 5 Tahun Terakhir

No	Judul Artikel Ilmiah	Nama Jurnal	Volune/Nomor/ Tahun
1	Respon Spektra Gempa Bumi Sulawesi Utara Dan Sekitarnya Dengan Model Sumber Gempa Tiga Dimensi	Jurnal Ilmiah Sains MIPA Unsrat	10 /2 /2010
2	Peta Zonasi Gempa Wilayah Sulawesi Utara Dan Sekitarnya Sebagai Upaya Mitigasi Bencana	Jurnal Ilmiah Sains MIPA Unsrat	10 /2 /2010
3	Respon Spektra Gempa Bumi di Batuan Dasar Kota Bitung Pada Periode Ulang 2500 Tahun	Jurnal Ilmiah Sains MIPA Unsrat	11 /1 /2011
4	Pemodelan Sumber Gempa di Wilayah Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Gempa Bumi	Jurnal Ilmiah Sains MIPA Unsrat	12 /2 /2012
5	Estimasi Periode Ulang Gempa Bumi Di Wilayah Sulawesi Dengan Menggunakan Distribusi Gumbel	Jurnal "MIPA UNSRAT" Online	2/2/2013
6	Analisis Distribusi Frekuensi-Magnitudo Gempa Bumi Di Wilayah Sulawesi Utara	Jurnal "MIPA UNSRAT" Online	2/2/2013
7	Identifikasi Sesar di Wilayah Gorontalo dengan Analisis Mekanisme Bola Fokus	Jurnal "MIPA UNSRAT" Online	3/1/2014

Semua data yang saya isikan dan tercantum dalam biodata ini adalah benar dan dapat dipertanggungjawabkan secara hukum. Apabila dikemudian hari ternyata dijumpai ketidaksesuaian dengan kenyataan, saya sanggup menerima sanksi.

Demikian biodata ini saya buat dengan sebenarnya untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pengajuan Hibah Penelitian Fundamental.

Manado, 20 Nopember 2016  
Anggota Pengusul

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Guntur Pasau', is written over a horizontal line. The signature is stylized and includes a large loop at the beginning.

**Guntur Pasau, SSi, M.Si.**

## LAMPIRAN 4. DRAFT ARTIKEL ILMIAH

### **ANISOTROPI SUSEPTIBILITAS MAGNETIK PADA BATUAN BEKU DI LENGAN UTARA SULAWESI**

Gerald Tamuntuan<sup>1</sup>, Guntur Pasau<sup>1</sup>, Melisa Rongkonusa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Jl. Kampus Unsrat Manado

Email: gtamuntuan@gmail.com

#### **ABSTRAK**

Telah dilakukan penelitian untuk menentukan pola anisotropi suseptibilitas magnetik dan status singkapan batuan beku dari pola yang diperoleh. Sampel batuan dibuat sedemikian rupa berbentuk kotak kemudian dimasukkan kedalam sensor alat *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* model MS2. Posisi sampel dapat disesuaikan dengan arah yang diinginkan. Sensor akan mengubah frekuensi yang kemudian dikonversi menjadi nilai suseptibilitas. Data yang diperoleh dianalisis dengan menggunakan program Matlab dan dilanjutkan dengan perhitungan parameter anisotropi serta analisis grafik.

Hasilnya menunjukkan bahwa suseptibilitas maksimum terdistribusi disekitar arah utara dan timur. Sedangkan suseptibilitas intermediet dan minimum terdistribusi disekitar Utara-Timur dan Timur-Selatan. Elipsoida suseptibilitas cenderung prolate atau lebih lonjong. Batuan beku yang dianalisis merupakan kelompok batuan terobosan.

Kata kunci : Batuan beku, kemagnetan batuan, anisotropi suseptibilitas magnetic

## 1. PENDAHULUAN

Kajian tentang mekanisme evolusi tektonik pulau-pulau di Indonesia bisa dikatakan masih kurang, sehingga masih terus dilakukan penelitian hingga saat ini. Karena letak geografisnya yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik yang besar yaitu lempeng eurasia, lempeng indo-australia, dan lempeng indo-pasifik, Pulau Sulawesi merupakan salah satu pulau di Indonesia yang cukup unik dan menarik. Proses evolusi tektonik dan geodinamika yang kompleks yang terjadi di berbagai bagian Pulau Sulawesi adalah akibat dari kondisi tersebut. Salah satu bagian Pulau Sulawesi yang mengalami kondisi di atas adalah lengan utara Pulau Sulawesi. Kajian tentang evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi sebelumnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti pada satu hingga dua dekade yang lalu, tetapi hasil yang ditunjukkan masih cenderung berbeda (Otofuji dkk, 1981 dan Surmont dkk, 1994). Hal ini membuka peluang untuk melakukan kajian yang lebih presisi dalam membangun konsep tentang rekonstruksi evolusi tektonik lengan utara Pulau Sulawesi.

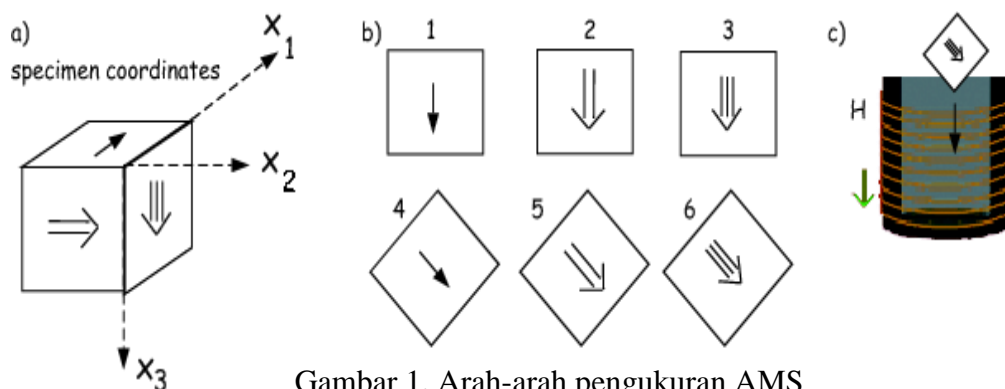
Batuan beku merupakan salah satu objek yang sangat potensial untuk kajian evolusi tektonik (Ngkoimani dkk, 2005; Tauxe, 2008). Dalam proses pembentukan batuan beku, intensitas dan arah medan magnetik bumi sangat mempengaruhi orientasi penumbuhan mineral-mineral yang bersifat magnetik yang terjadi pada batuan beku. Sehingga posisi geografis saat batuan tersebut terbentuk dapat direkam oleh mineral-mineral magnetik yang terdapat pada batuan beku. Namun demikian, tingkat stabilitas dan sifat-sifat mineral magnetik yang terkandung sangat menentukan kelayakan atau potensi batuan beku dalam menyajikan informasi geografis masa lampau (Butler, 1992). Selain itu sifat-sifat magnetik batuan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor berupa jenis, konsentrasi, jumlah domain, ukuran bulir dan derajat anisotropi.

Karakteristik sifat-sifat magnetik batuan beku yang berada pada lengan utara Pulau Sulawesi hingga saat ini belum diketahui secara mendalam. Oleh karena itu perlu dilakukan karakterisasi sifat-sifat mineral magnetik dari daerah tersebut secara mendetail dengan menggunakan metode kemagnetan batuan (*rock magnetism*). Dalam usulan penelitian ini, kajian akan difokuskan pada pengukuran dan analisis anisotropi susceptibilitas magnetik.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan sampel batuan beku yang diambil dari beberapa lokasi di Sulawesi Utara. Pengambilan sampel dapat dilakukan dengan dua cara yaitu melalui pemboran menggunakan *portable rock drill* (sampel yang diperoleh memiliki diameter 2,5 cm dan panjang sekitar 15 cm) atau dalam bentuk sampel setangan (*hand sample*) berukuran sekitar 20 x 20 x 20 cm. Untuk menjaga posisi dan orientasi sampel, maka pada saat pengambilan di lapangan terlebih dahulu ditandai orientasi geografis (arah utara-selatan), posisi atas dan bawah, serta kemiringannya. Sampel kemudian dipreparasi di laboratorium dalam bentuk *core* mini berukuran diameter 2,5 cm dan panjang 2,4 cm.

Pengukuran anisotropi suseptibilitas magnetik (ASM) dilakukan menggunakan instrumen *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* dengan sensor MS2B. Setiap sampel diukur pada enam arah berbeda menurut pola yang dikemukakan dalam Tauxe (2008). Matriks nilai suseptibilitas yang diperoleh kemudian diselesaikan dengan menggunakan metode *least square* untuk mendapatkan komponen-komponen suseptibilitas magnetik pada sumbu utama. Komponen-komponen tersebut selanjutnya digunakan untuk menghitung parameter anisotropi seperti derajat anisotropi, lineasi, foliasi, dan faktor bentuk. Selain itu akan diperoleh juga informasi konsentrasi mineral magnetik pada sampel batuan. Hasil-hasil pengukuran dan analisis akan ditampilkan dalam bentuk *Flin-type* plot dan *Stereonet* plot.

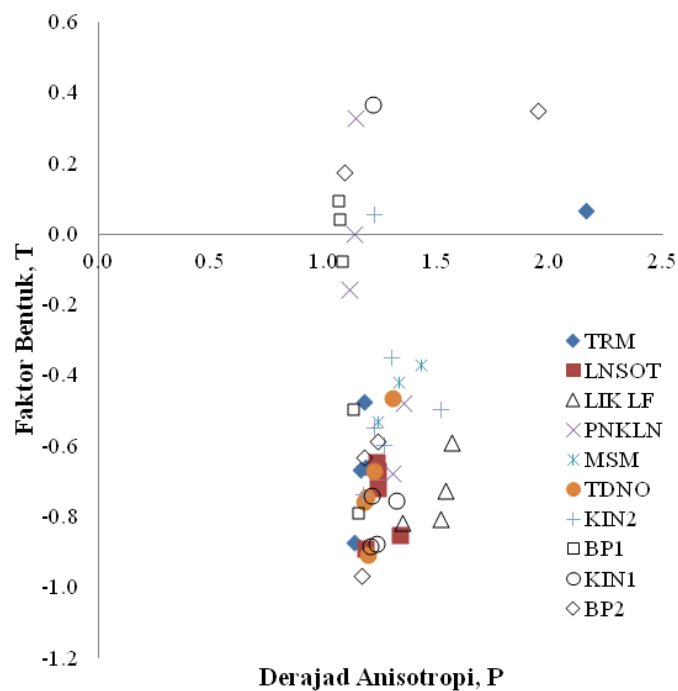


Gambar 1. Arah-arang pengukuran AMS

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

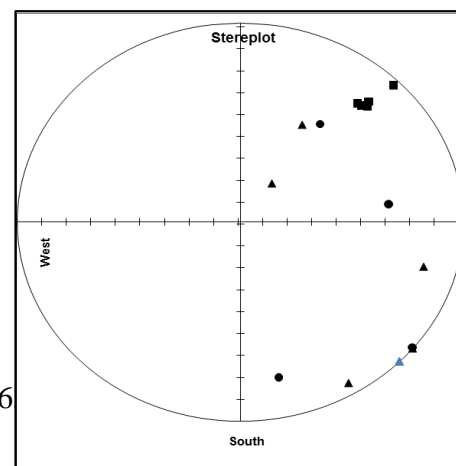
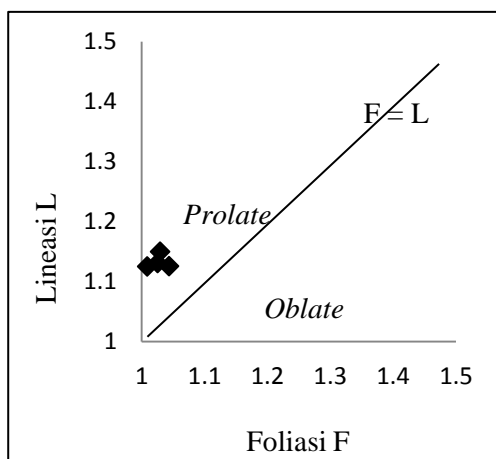
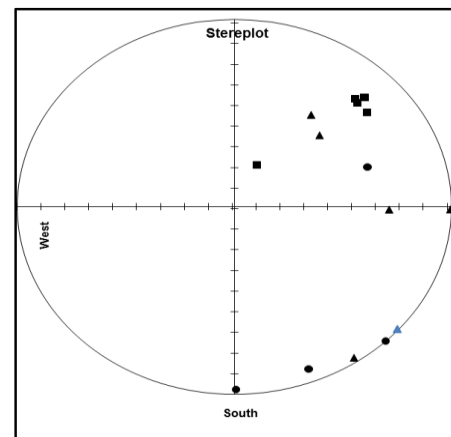
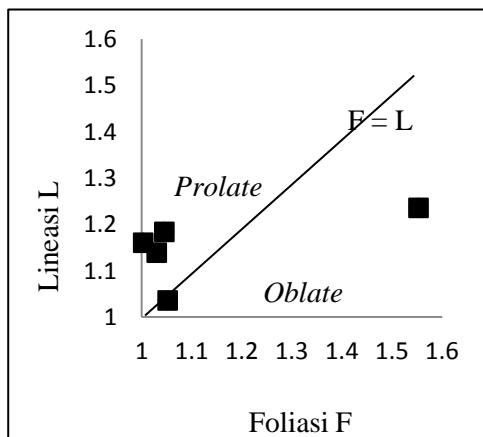
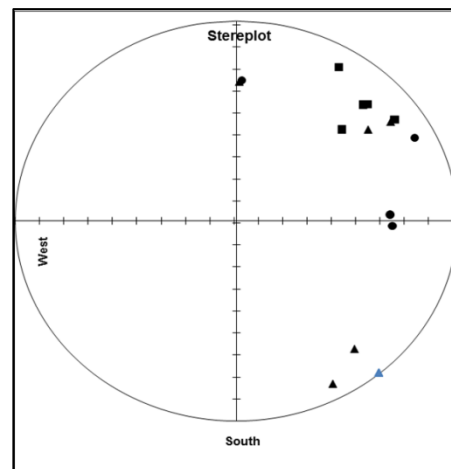
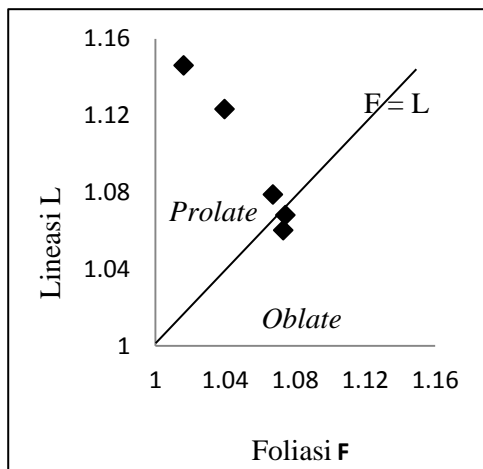
Pengukuran suseptibilitas magnetik anisotropi telah dilakukan pada 48 sampel yang diperoleh dari 10 lokasi yang tersebar di daerah Bitung, Minahasa Utara, Minahasa, dan Tomohon. Diperoleh bahwa sampel BP1 dari daerah Bitung memiliki nilai suseptibilitas magnetik tertinggi diikuti oleh sampel dari Minahasa Utara LNSOT. Nilai suseptibilitas magnetik terendah dari sampel-sampel yang diukur adalah sampel dengan kode LIK LF berasal dari Minahasa Utara. Adapun nilai suseptibilitas magnetik pada sumbu utama berdasarkan hasil perhitungan disajikan dalam bagian lampiran.

Untuk mengetahui kecenderungan anisotropi suseptibilitas magnetik dari setiap sampel, maka telah dihitung Derajat Anisotropi  $P = \chi_{\max}/\chi_{\min}$ , Lineasi magnetik  $L = \chi_{\max}/\chi_{\text{int}}$ , Foliasi Magnetik  $F = \chi_{\text{int}}/\chi_{\min}$ , serta Faktor Bentuk  $T = (\ln F - \ln L)/(\ln F + \ln L)$ . Dalam hal ini, jika  $P = 1$  maka sampel dikatakan bersifat isotropis, sedangkan semakin besar  $P$  maka suatu sampel makin bersifat anisotropis. Gambar 2 menunjukkan bahwa sebagian besar sampel adalah bersifat anisotropis. Sampel-sampel dengan tingkat anisotropi relatif tinggi adalah sampel batuan yang terbentuk dari lava flow di daerah Likupang (LIK LF). Sedangkan sampel dengan tingkat isotropi yang relatif paling tinggi adalah sampel-sampel batuan beku yang berasal dari daerah Batu Putih, Bitung.

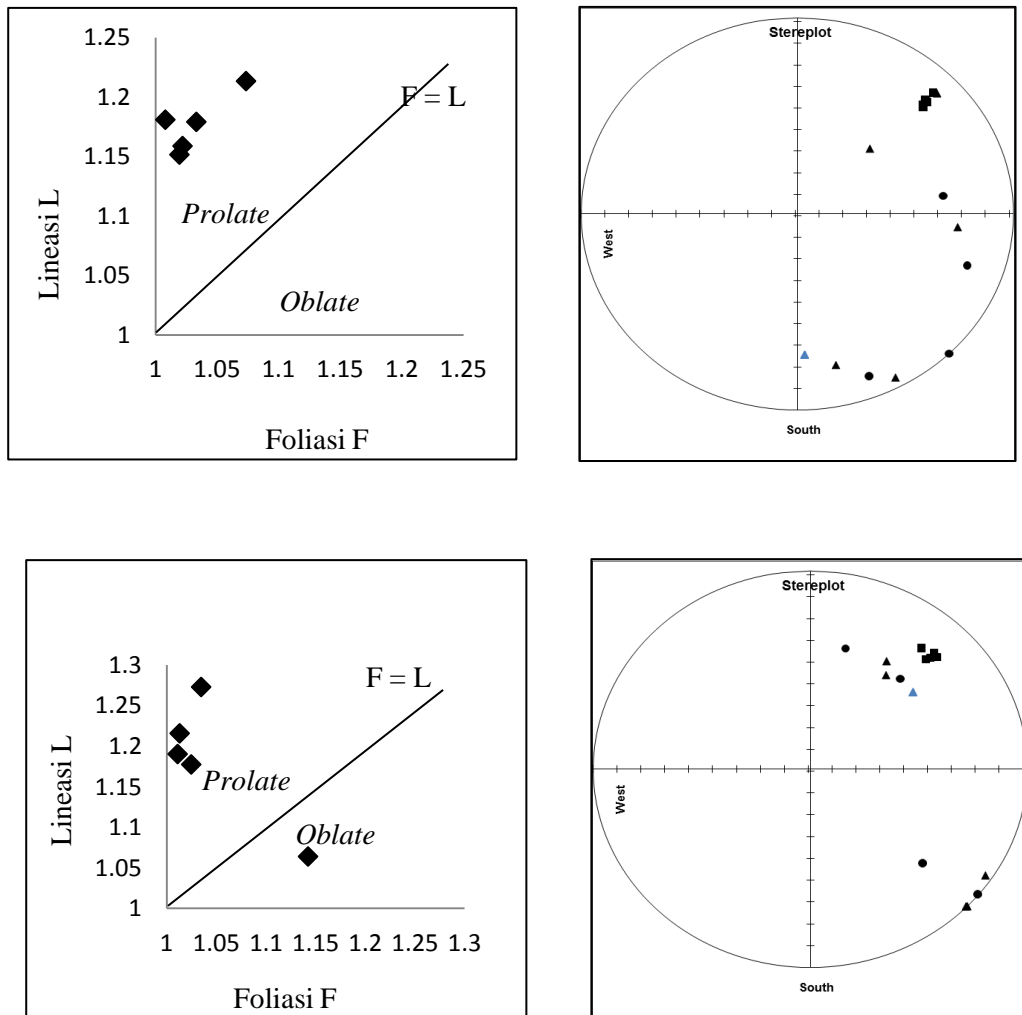


**Gambar 2.** Plot faktor bentuk terhadap derajat anisotropi untuk semua sampel.

Gambar 3a – 3j memperlihatkan hubungan antara Foliasi dan Lineasi dalam bentuk Flinn-type plot serta stereone dari sampel-sampel pada setiap situs. Gambar-gambar tersebut memberikan informasi tingkat kelonjongan/kepipihan relatif mineral-mineral magnetik pada setiap sampel. Semakin besar perbandingan Lineasi terhadap Foliasi maka tingkat kelonjongan/kepipihan semakin tinggi. Dari gambar-gambar tersebut diketahui antara lain bahwa mineral magnetik pada batuan beku yang berasal dari Minahasa Utara memiliki kelonjongan yang lebih tinggi dibandingkan dengan batuan beku yang berasal dari Bitung.







**Gambar 3 (a-j).** Flinn-type plot dan plot Stereonet dari semua (simbol kotak = suseptibilitas maksimum, segitiga = intermediat, bulat = minimum)

Berdasarkan variasi nilai faktor bentuk anisotropi suseptibilitas magnetik (T) sampel yang dianalisis lebih didominasi oleh Lineasi. Hal ini didukung oleh Flinn-type plot yang menunjukkan bahwa elipsoida suseptibilitas untuk semua situs cenderung prolate atau lebih lonjong. Pola AMS adalah bentuk kecenderungan arah-arah suseptibilitas. Semua situs menunjukkan bahwa sumbu suseptibilitas maksimum terdistribusi antara arah Utara dan Timur. Sedangkan sumbu suseptibilitas intermediet dan minimum terdistribusi antara

Utara-Timur dan Timur-Selatan. Hasil ini memberikan gambaran bahwa batuan beku yang analisis merupakan kelompok batuan terobosan (intrusi, dyke, atau sill). Jika batuan tersebut merupakan kelompok batuan lelehan, maka mekanisme lelehannya terjadi melalui rekahan yang berarah vertikal.

#### 4. KESIMPULAN

1. Nilai suseptibilitas magnetik hasil perhitungan pada sumbu utama adalah  $496,15 < \chi_{\max} < 1486,80$ ;  $348,48 < \chi_{\text{int}} < 1379,80$ ; dan  $307,46 < \chi_{\min} < 1312,10 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ .
2. Semua sampel memiliki Derajat Anisotropi lebih dari 1 (satu) mengindikasikan bahwa sampel-sampel yang diukur bersifat anisotropi.
3. Sampel-sampel batuan di daerah Minahasa Utara memiliki bentuk mineral magnetik yang lonjong/pipih dibandingkan sampel dari daerah Bitung.
4. Batuan beku yang dianalisis merupakan kelompok batuan terobosan yang mekanisme lelehannya terjadi melalui rekahan secara vertikal.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Bijaksana, S. 1991, *Magnetic Anisotropy of Cretaceous Deep Sea Sedimentary Rocks From the Pasific Plate*, Thesis, Memorial University of Newfoundland, 44 – 55
- Bijaksana, S. 2002. “Karakterisasi Magnetik”. *Himpunan Fisika Indonesia. Jurnal Fisika HFI*. Vol A5 No. 0527.
- Bijaksana, Satria, 2004, Ulasan Tentang Landasan Fisis Anisotropi Magnetik Pada Batuan, *Jurnal Geofisika*, Volume 1.
- Blackett, P.M.S., 1956. *Lectures on Rock Magnetism*. Weizmann Science Press of Israel, Jerusalem, 131 h.
- Borradaile, G.J., 1995. *Anisotropy of magnetic susceptibility: Measurement schemes*, *Geophysical Research Letters* V.22, No.15, p.1957-1960.
- Butler, R.F., 1992. *Paleomagnetism Magnetic Domains to Geologic Terranes*. Blackwell Scientific Publishing, 319 p.
- Collinson, D.W., 1983. *Methods in Rock Magnetism and Paleomagnetism*. Chapman and Hall.

- Dearing, J., 1999, *Environmental Magnetic Susceptibility, Using the Bartington MS2 System*, British Library Cataloguing in Publication data, 36 - 41.
- Dunlop, D.J., Özdemir, Ö., 1993, *Rock Magnetism, Fundamental and Frontiers*, Cambridge University Press,.
- Dunlop, D.J., Özdemir, Ö., 1997. *Rock Magnetism: Fundamental and Frontiers*. Cambridge University Press, UK, 573 p.
- Graha, 1987. *Batuan Dan Mineral*. Nova. Bandung.
- Heider, F., Zitelsberger, A. and Fabian, K. 1996 *Magnetic susceptibility and remanent coercive force in grown magnetite crystals from 0.1  $\mu\text{m}$  to 6 mm*, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 93, 239-256.
- Levi T, Weinberger R, Aifa T, Eyal Y, Marco S (2006) *Earthquake-induced clastic dikes detected by anisotropy of magnetic susceptibility*. *Geology* 34:69-72.
- Ngkoimani, L., Bijaksana, S., Mahrizal, Abdulah, C.I., Liong, T.H., 2005. *Magnetic Properties of Igneous Rocks from Banyuwangi, East Java, and Their Reliability for Paleomagnetic Study*. *Indonesian Journal of Physics* 16(2), 33–41.
- Omar, M. A., 1993, *Elementary Solid State Physics*. Addison-Wesley Publishing Company Inc., New York.
- Otofuji, O., Sasajima, S., Nishimura, S., Dharma, A., Nehuwat, F., 1981. *Paleomagnetic evidence for clockwise rotation of the northern arm of Sulawesi, Indonesia*. *Earth and Planetary Science Letters* 54, 272–280.
- O'Driscoll, B., Hargraves, R.B., Emeleus, C.H., Troll, V.R., Donaldson, C.H., Reavy, E.R.J., 2007. *Magmatic lineations inferred from anisotropy of magnetic susceptibility fabrics in Units 8, 9, and 10 of the Rum Eastern Layered Series, NW Scotland*, ScienceDirect, *Lithos* 98 (2007) 27 – 44.
- Paul A.Tipler,(2001), *Fisika untuk Sains dan Teknik*, Jilid 1, Penerbit Erlangga.
- Rochete, P., Jackson, M., Aubourg, C., 1992, *Rock magnetism and the interaction of anisotropy of magnetic susceptibility*, *American Geophysical Union*, 30, 209 -226.
- Rochette P (1987) *Magnetic susceptibility of the rock matrix related to magnetic fabric studies*. *J Struct Geol* 9:1015–1020
- Surmont, J., Laj, C., Kissel, C., Rangin, C., Bellon, H., Priadi, B., 1994. *New paleomagnetic constraints on the Cenozoic tectonic evolution of the North Arm of Sulawesi, Indonesia*. *Earth and Planetary Science Letters* 121, 629–638.
- Tarling DH, Hrouda F (1993). *The magnetic anisotropy of rocks*. Chapman & Hall, London 217 pp.

Tauxe, L, Banerjee, S.K., Butler, R.F. and van der Voo R, *Essentials of Paleomagnetism*,  
*3rd Web Edition*, 2014.

Telford, W.M., dan Sheriff, R.E., 1998, *Applied Geophysics*, Cambridge University Press,  
New York.