

LAPORAN TAHUNAN
PENELITIAN FUNDAMENTAL



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

Tahun ke-1 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
DESEMBER 2015

HALAMAN PENGESAHAN

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

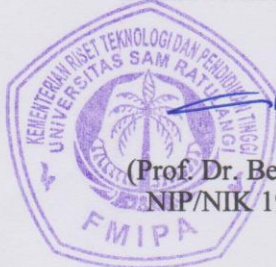
Peneliti/Pelaksana

Nama Lengkap : GERALD HENDRIK TAMUNTUAN SSi, M.Si
Perguruan Tinggi : Universitas Sam Ratulangi
NIDN : 0006057102
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Fisika
Nomor HP : 082121711198
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 1 dari rencana 2 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 50.000.000,00
Biaya Keseluruhan : Rp 125.000.000,00

Mengetahui,
Dekan FMIPA Univ. Sam Ratulangi



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

Manado, 8 - 12 - 2015
Ketua,

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

Menyetujui,
Ketua LPPM Universitas Sam Ratulangi

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

RINGKASAN

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. 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. Pada penelitian tahun pertama dari rencana dua tahun ini telah dilakukan karakterisasi sifat-sifat magnetik pada sejumlah sampel batuan beku yang diperoleh dari daerah Bitung, Minahasa Utara, Minahasa, dan Tomohon. Proses karakterisasi dilakukan melalui pengukuran nilai remanen magnetik alamiah atau *natural remanent magnetization* (NRM) dan anisotropi suseptibilitas magnetik pada enam arah. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai suseptibilitas magnetik hasil perhitungan pada sumbu utama adalah $496,15 < \chi_{\max} < 1486,80$; $348,48 < \chi_{\text{int}} < 1379,80$; dan $307,46 < \chi_{\min} < 1312,10 \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$. Semua sampel memiliki Derajat Anisotropi $P \geq 1$ mengindikasikan bahwa sampel-sampel yang diukur bersifat anisotropi dengan tingkat kelonjongan/kepipihan mineral magnetik yang bervariasi pada setiap sampel. NRM pada sampel-sampel yang diukur memiliki tingkat kestabilan yang relatif tinggi. NRM primer dan sekunder secara umum dapat terpisahkan setelah sampel diberikan medan bolak-balik 20 mT. Analisis profil peluruhan NRM pada medan bolak-balik hingga 90 mT menunjukkan bahwa mineral magnetik pada sampel memiliki domain yang tersebar mulai dari *single domain*, *pseudo single domain*, hingga *multi domain*. Relatif tingginya nilai susptibilitas dan tingkat kestabilan remanen magnetik menjadikan sampel-sampel batuan beku yang berasal dari daerah Bitung, Minahasa Utara, Tomohon dan Tondano memenuhi kriteria untuk dijadikan sampel paleomagnetik yang berguna bagi kajian evolusi tektonik lengan utara Sulawesi. Namun demikian, penelitian lanjutan masih perlu dilakukan untuk melihat efek perubahan medan dan temperatur terhadap perubahan magnetisasi. Hal ini untuk memastikan lebih lanjut tingkat kestabilan magnetisasi pada sampel sebagai efek medan dan menentukan mineral pembawa sifat magnetik yang berperan dominan beserta karakteristiknya. Sejauh ini, hasil-hasil analisis remanen magnetik dalam hal ini NRM telah didiseminasikan pada dua pertemuan ilmiah nasional. Salah satunya peneliti diberikan kesempatan sebagai *invited speaker*.

Kata kunci: Mineral magnetik, batuan beku, Sulawesi Utara

PRAKATA

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa karena atas bimbingan dan penyertaannya, kami boleh menyelesaikan penelitian yang berjudul Studi Sifat-Sifat Mineral Magnetik pada Batuan Beku di Sulawesi Utara untuk Menentukan Potensinya dalam Kajian Evolusi Tektonik. Hasil yang diperoleh kiranya boleh bermanfaat bagi pengembangan wawasan keilmuan secara khusus dibidang kemagnetan batuan serta memahami potensi batuan beku di daerah Sulawesi Utara sebagai sumber data bagi kajian evolusi tektonik. Peneliti berterima kasih kepada pihak Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi melalui Universitas Sam Ratulangi yang telah membiayai penelitian ini melalui skim Penelitian Fundamental tahun ke-1 dari rencana dua tahun yang diusulkan. Kami juga berterima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung sehingga penelitian ini boleh berjalan dengan baik.

Manado, Desember 2015

Tim Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
RINGKASAN	ii
PRAKATA	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	2
II.1. Magnetisasi pada Batuan Beku	2
II.2. Perkembangan Kajian Sifat-Sifat Magnetik Batuan dan Peta Jalan Penelitian	4
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	6
III.1. Tujuan Penelitian	6
III.2. Manfaat Penelitian	6
BAB IV METODE PENELITIAN	7
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	10
V.1. Suseptibilitas Magnetik Anisotropi pada Batuan Beku di Sulawesi Utara	10
V.2. Remanen Magnetik Batuan Beku di Sulawesi Utara	16
BAB VI RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA	21
BAB VII KESIMPULAN	23
DAFTAR PUSTAKA	24
LAMPIRAN 1. Instrumen yang Digunakan	26
LAMPIRAN 2. Personalia Peneliti dan Kualifikasinya	31
LAMPIRAN 3. Sertifikat Seminar	38

DAFTAR GAMBAR

2.1. Diagram <i>Ternary</i> untuk sistem $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$	3
2.2. Peta jalan penelitian hingga tahun 2025	5
4.1. <i>Fish bone</i> dari rancangan penelitian yang diusulkan	9
5.1. Plot faktor bentuk terhadap derajat anisotropi untuk semua sampel	14
5.2. Flinn-type plot batuan beku dari daerah Minahasa Utara	15
5.3. Flinn-type plot batuan beku dari daerah Bitung	15
5.4. Peluruhan intensitas NRM pada beberapa sampel representatif	16
5.5. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode BP1-5 dari daerah Bitung	17
5.6. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode PNKLN3 dari daerah Bitung	18
5.7. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode LNSOT2 dari daerah Minut	18
5.8. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode TRM1 dari daerah Minut	19
5.9. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode LIK LF3 dari daerah Minut	19
5.10. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode TDNO dari daerah Minahasa	20
5.11. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode KIN1-4 dari daerah Tomohon	20

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Suseptibilitas magnetik dalam enam arah pada sampel batuan beku	11
Tabel 2. Nilai suseptibilitas pada sumbu utama	12

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Instrumen yang digunakan	26
Lampiran 2. Personalia peneliti dan kualifikasinya	31
Lampiran 3. Sertifikat seminar	38

BAB I. 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 Otofuji 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 secara 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 II. TINJAUAN PUSTAKA

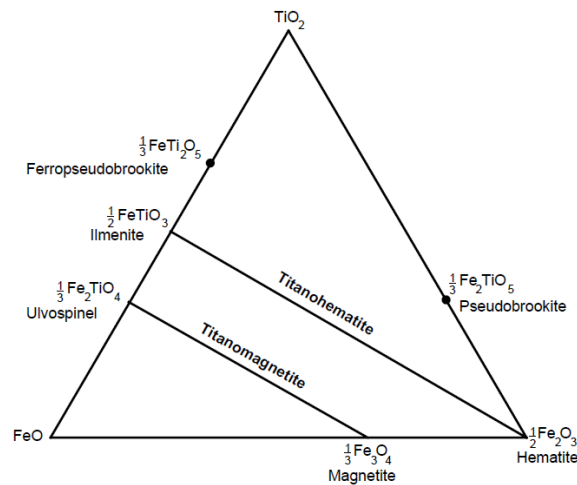
II.1. Magnetisasi pada Batuan Beku

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 2.1. 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 (Fe_3O_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 2.1. 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).

II.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).

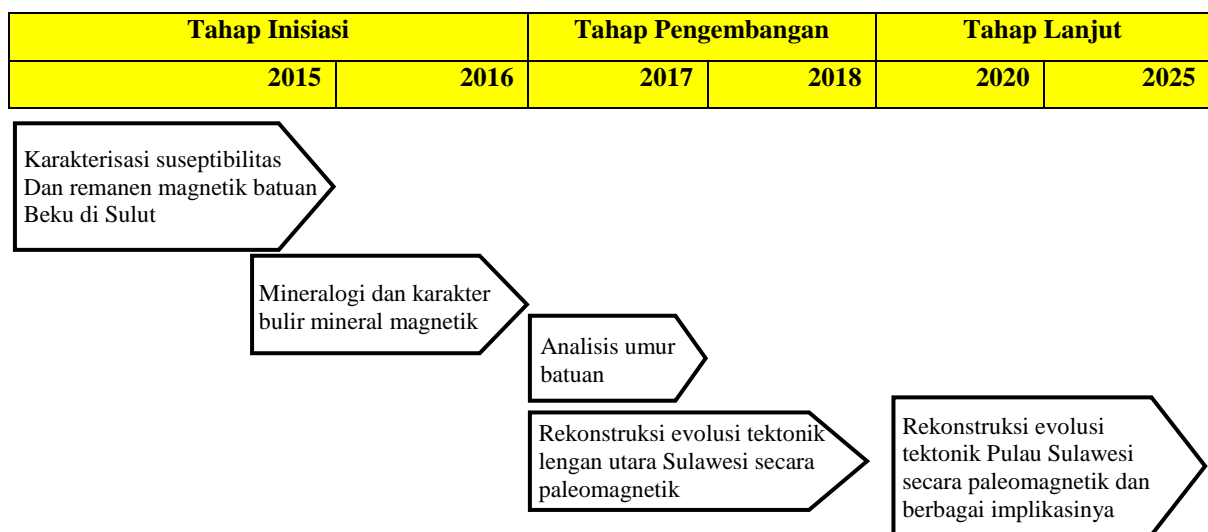
Kajian tentang NRM pada batuan selanjutnya berkembang pesat dan mulai digunakan untuk meneliti fenomena kemagnetan purba (*Paleomagnetism*) dalam bentuk kajian untuk menentukan posisi suatu daerah dimasa lalu dan evolusi tektonik sejak empat dekade yang lalu (lihat Reynolds dan Kellogg, 1974) hingga 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 2.2.



Gambar 2.2. Peta jalan penelitian hingga tahun 2025.

BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

III.1. Tujuan

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.

III.1. 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 IV. 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 *Anhyseretic Remanent Magnetization* (ARM). Adapun pengukuran-pengukuran dan analisis tersebut secara umum dapat dijelaskan sebagai berikut:

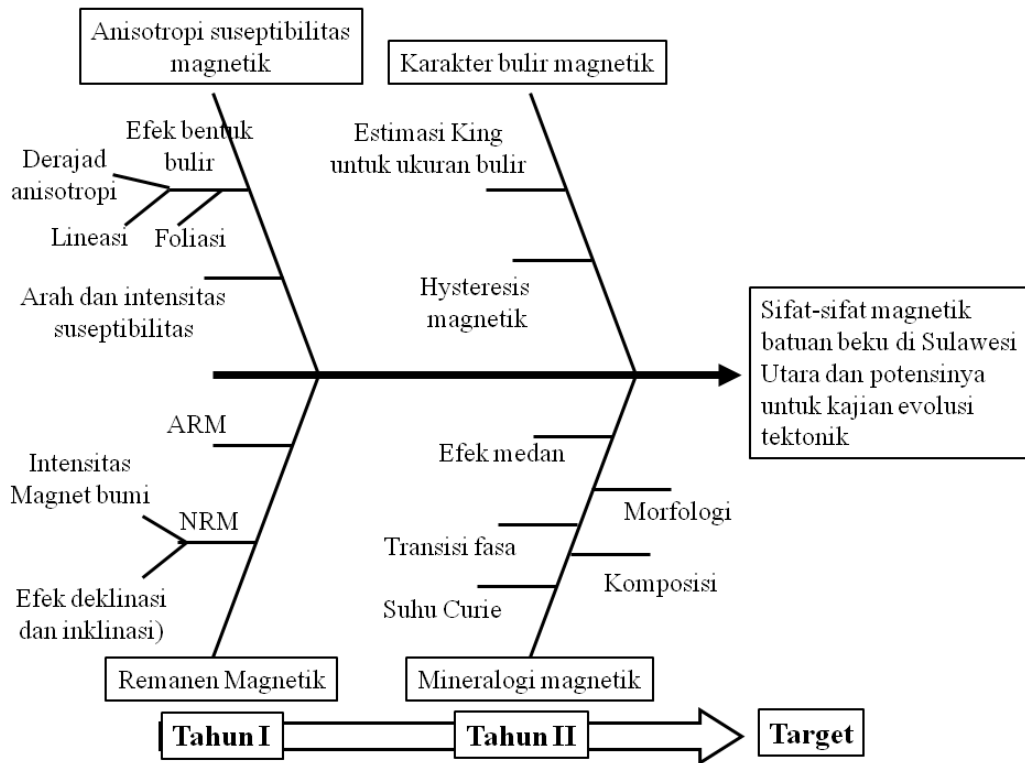
- Pengukuran ASM dilakukan dengan menggunakan instrumen *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* dengan sensor MS2B. Setiap sampel diukur pada enam arah berbeda menurut pola yang dikemukakan dalam Tauxe (2008). Matriks nilai suseptibilitas yang diperoleh kemudian diselesaikan dengan menggunakan metode *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 ARM dilakukan dengan menggunakan instrumen *AF Demagnetizer*, *partial anhysteretic remanent magnetization* (pARM), dan *Minispin Magnetometer*. Proses pengukuran diawali dengan mendemagnetisasi sampel pada medan bolak-balik 100 mT yang dilanjutkan dengan pengukuran dalam bentuk pemberian medan searah 0,1 mT bersamaan dengan medan bolak-balik 80 mT untuk mendapatkan intensitas awal ARM. Proses pengukuran selanjutnya serupa dengan pengukuran NRM, yaitu demagnetisasi secara bertahap namun hanya diikuti oleh pengukuran intensitas. Tujuan pengukuran ini selain untuk melihat tingkat stabilitas magnetisasi juga untuk analisis domain dan ukuran bulir mineral magnetik dengan menggunakan estimasi King melalui analisis rasio ARM dan susceptibilitas magnetik (King dkk, 1982; Evans dan Heller, 2003).

Penelitian ini merupakan bagian pertama dari rencana dua bagian penelitian selama dua tahun dengan tujuan mendapatkan karakteristik sifat-sifat mineral magnetik dari batuan beku yang berada di daerah Sulawesi Utara untuk menentukan potensinya sebagai sumber data paleomagnetik bagi kajian evolusi tektonik. Posisi dari penelitian ini dalam rancangan kajian lengkap yang diusulkan dapat dilihat pada Gambar 4.1. Adapun target capaian/luaran yang dapat menjadi indikator keberhasilan dalam penelitian tahun pertama ini adalah :

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



Gambar 4.1. Fish bone dari rancangan penelitian yang diusulkan.

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

V.1. Suseptibilitas Magnetik Anisotropi pada Batuan Beku di Sulawesi Utara

Pada penelitian tahun pertama dari usulan dua tahun ini telah dilakukan beberapa hal seperti: (i) Survey pendahuluan, (ii) pengambilan sampel batuan di daerah Bitung, Minahasa Utara, Minahasa, dan Tomohon, (iii) pengukuran Anisotropy Magnetic Susceptibility (AMS) dan Natural Remanent Magnetization pada sampel-sampel batuan (Pengukuran dilaksanakan di Lab. Kemagnetan Batuan ITB), (iv) pengolahan data dan analisis, (v) diseminasi hasil penelitian dalam hal ini sudah dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pertama dalam Seminar Nasional "Sains untuk Kehidupan" pada tanggal 25 Agustus 2015 di Manado. Judul presentasi " Analisis Remanen Magnetik pada Batuan Beku didaerah Bitung, Sulawesi Utara: Suatu Kajian Awal Evolusi Tektonik pada Lengan Utara Pulau Sulawesi". Kedua, presentasi sebagai *invited speaker* dilaksanakan dalam *The 6th National Conference of Paleo-Rock and Environmental Magnetism (PREM)* pada tanggal 11 Nopember 2015. Judul presentasi adalah "Mengungkap Masa Lalu Bumi melalui Sifat Magnetik Batuan", serta (vi) persiapan draft artikel jurnal nasional.

Pengukuran suseptibilitas magnetik anisotropi telah dilakukan pada 48 sampel yang diperoleh dari 10 lokasi yang tersebar di daerah Bitung, Minahasa Utara, Minahasa, dan Tomohon. Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran suseptibilitas magnetik anisotropi pada sampel batuan beku pada setiap lokasi tersebut. Terlihat 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 Tabel 2.

Tabel 1. Suseptibilitas magnetik enam arah pada sampel batuan beku (**data tidak ditampilkan semua**)

No	Kode Sampel	Massa (gr)	Arah	χ_{LF} (m^3kg^{-1})	SD
1	TRM	15.5751	1	804.6	1.3
			2	811.6	0.1
			3	810.4	1.4
			4	837.4	0.9
			5	848.8	0.3
			6	840.4	1.4
2	LNSOT	12.0697	1	1000.3	0.6
			2	948.8	1
			3	959.4	0.1
			4	1054.4	3.3
			5	1041.1	0.9
			6	1044.5	0.4
3	LIK LF	6.6697	1	386.2	0.6
			2	391.9	0.7
			3	384.6	2.4
			4	430.1	2.4
			5	454.7	4.8
			6	439.8	4.3
4	PNKLN	15.9088	1	718.7	0.8
			2	755	0.4
			3	701	0.3
			4	741.7	0.7
			5	745.6	2.1
			6	741.9	1.3

5	TDNO	14.792	1	612.1	2.1
			2	616	2.3
			3	613.5	1.7
			4	646	1.2
			5	650.5	1.2
			6	659	1.7
6	KIN1	12.9081	1	559.7	0.9
			2	559	1
			3	566.7	0.7
			4	597	1.6
			5	593.5	0.1
			6	596.2	0.4
7	BP1	15.3244	1	1193	0.3
			2	1216.1	1.8
			3	1192.8	0.6
			4	1251.3	1.7
			5	1254	2.1
			6	1263.4	1.6

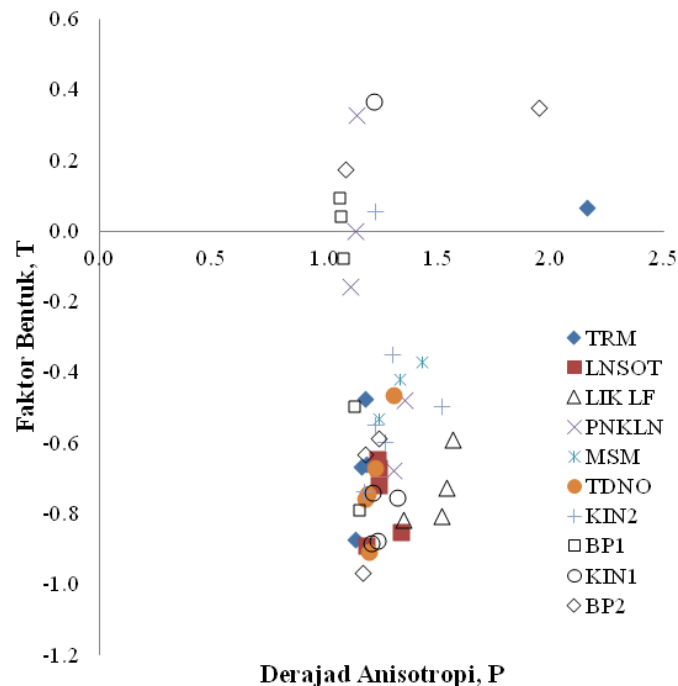
Tabel 2. Nilai suseptibilitas pada sumbu utama

No.	Kode Sampel-Sub sampel	χ_{\max} (m^3kg^{-1})	χ_{int} (m^3kg^{-1})	χ_{\min} (m^3kg^{-1})
1	TRM-1	875,64	778,60	772,36
2	TRM-2	909,41	804,32	784,67
3	TRM-3	848,64	738,19	717,37
4	TRM-4	911,80	637,09	422,80
5	TRM-5	673,47	598,37	573,57
6	LNSOT-1	1112,80	932	899,70
7	LNSOT-2	1107,20	849,40	831,60
8	LNSOT-3	1033	862,70	837,50

9	LNSOT-4	924,59	779,16	750,94
10	LNSOT-5	1046,10	892,90	884,60
11	LIK LF-1	496,15	348,48	318,07
12	LIK LF-2	525,33	362,79	342,19
13	LIK LF-3	513,78	353,23	339,19
14	LIK LF-4	413,26	315,98	307,46
15	PNKLN-1	765,70	733,99	675
16	PNKLN-2	1063,30	999,90	956,10
17	PNKLN-3	785,97	629,93	603,69
18	PNKLN-4	773,74	620,81	574,21
19	PNKLN-5	958,56	901,10	847,04
20	MSM-1	1477,30	1159	1036,40
21	MSM-2	691	588,66	560,33
22	MSM-3	853,67	697,47	641,96
23	TDNO-1	690,01	585,21	566,38
24	TDNO-2	655,89	566,02	553,79
25	TDNO-3	623,79	528,23	523,98
26	TDNO-4	662,37	575,45	564,29
27	TDNO-5	710,19	585,31	545,19
28	KIN1-1	629,35	534,46	521,58
29	KIN1-2	703,92	552,91	534,37
30	KIN1-3	734,85	690,81	604,64
31	KIN1-4	785,30	645,85	637,55
32	KIN1-5	800,68	672,61	665,30
33	KIN2-1	669,10	574,48	549,42
34	KIN2-2	673,25	564,88	518,97
35	KIN2-3	681,08	620,75	559,37
36	KIN2-4	683,69	596,22	583,90
37	KIN2-5	720,88	528,53	475,79
38	KIN2-6	714,61	593,97	566,72
39	BP1-1	1311,60	1167,60	1122,70
40	BP1-2	1266,20	1194,40	1112,90

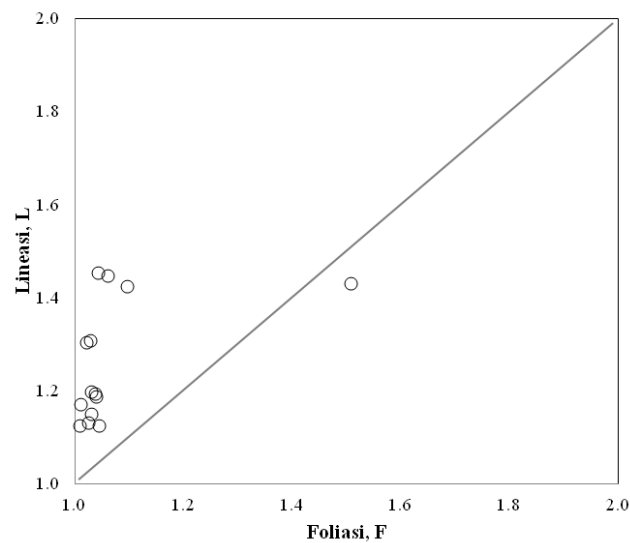
41	BP1-3	1297,70	1202,80	1127,10
42	BP1-4	1331,80	1246,80	1160,60
43	BP1-5	1211,60	1057,10	1040,30
44	BP2-1	1462,80	1260,40	1257,10
45	BP2-2	1416,50	1243,70	1207,70
46	BP2-3	1429,50	1379,80	1312,10
47	BP2-4	1486,80	1255,90	1201,80
48	BP2-5	1438,60	1159	739

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 5.1 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.

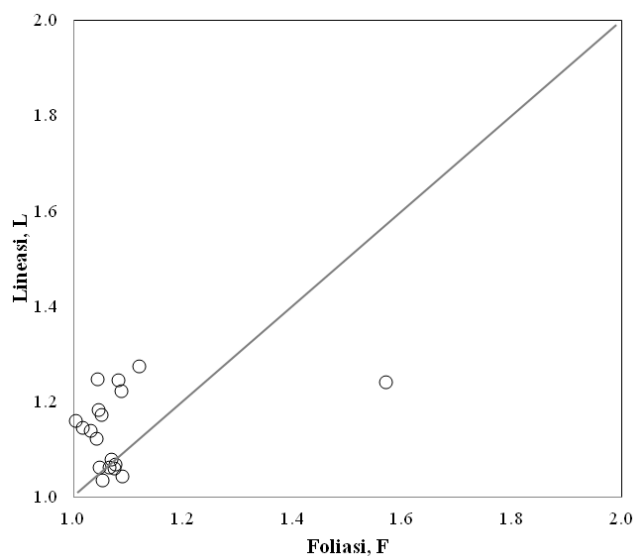


Gambar 5.1. Plot faktor bentuk terhadap derajat anisotropi untuk semua sampel.

Gambar 5.2 dan 5.3 memperlihatkan hubungan antara Foliasi dan Lineasi dalam bentuk Flinn-type plot dari sampel-sampel batuan beku yang masing-masing berasal dari wilayah Minahasa Utara dan Bitung. 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 kedua gambar tersebut diketahui bahwa mineral magnetik pada batuan beku yang berasal dari Minahasa Utara memiliki kelonjongan yang lebih tinggi dibandingkan dengan batuan beku yang berasal dari Bitung.



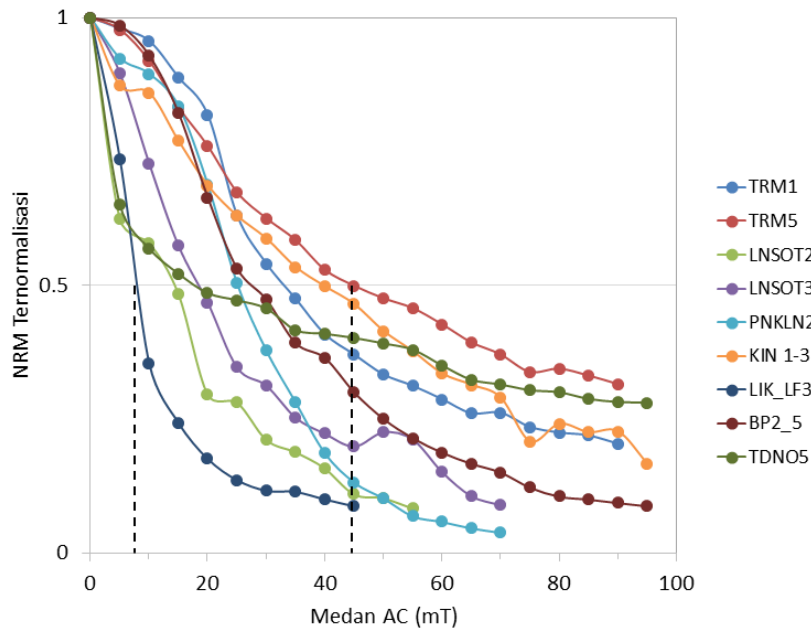
Gambar 5.2. Flinn-type plot batuan beku dari daerah Minahasa Utara



Gambar 5.3. Flinn-type plot batuan beku dari daerah Bitung

V.2. Remanen Magnetik Batuan Beku di Sulawesi Utara

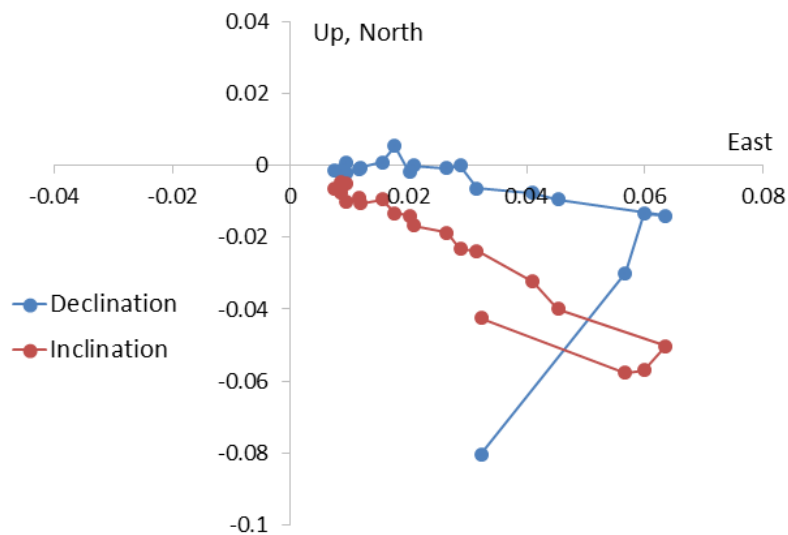
Hasil pengukuran remanen magnetik pada sampel digunakan untuk menentukan beberapa hal yaitu domain magnetik, intensitas magnetisasi remanen alamiah atau *natural remanent magnetization* (NRM), serta deklinasi dan inklinasi. Gambar 5.4 menunjukkan peluruhan NRM pada beberapa sampel representatif. Nilai 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).



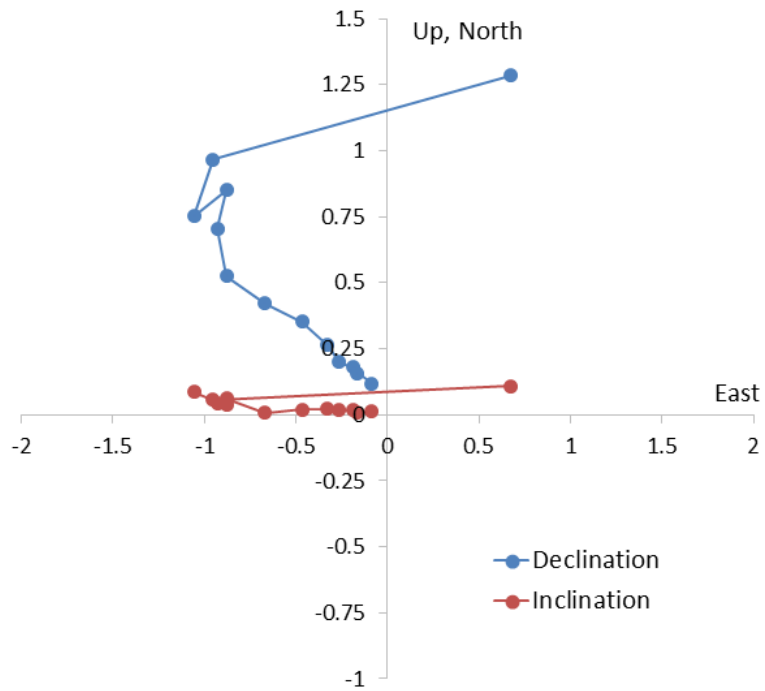
Gambar 5.4. Peluruhan intensitas NRM pada beberapa sampel representatif

Gambar 5.5 hingga Gambar 5.10 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

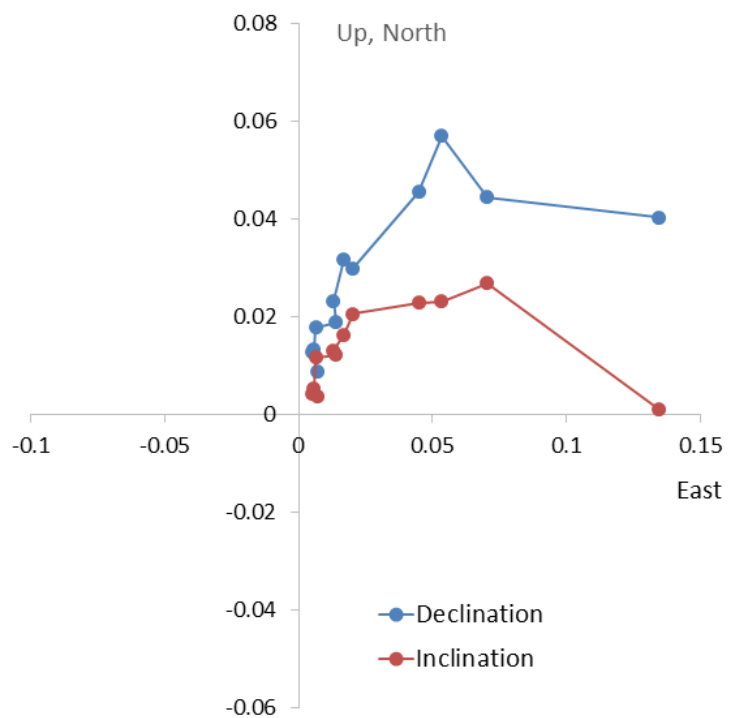
terlihat dari arah nilai remanen magnetik dalam arah Utara – Timur (deklinasi) dan arah vertikal (inklinasi) mulai relatif stabil pada pemberian medan bolak-balik 20 mT terhadap sampel. Kecenderungan stabilnya arah remanen magnetik setelah pemberian medan bolak-balik 20 mT bersesuaian dengan Butler (1992) 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.



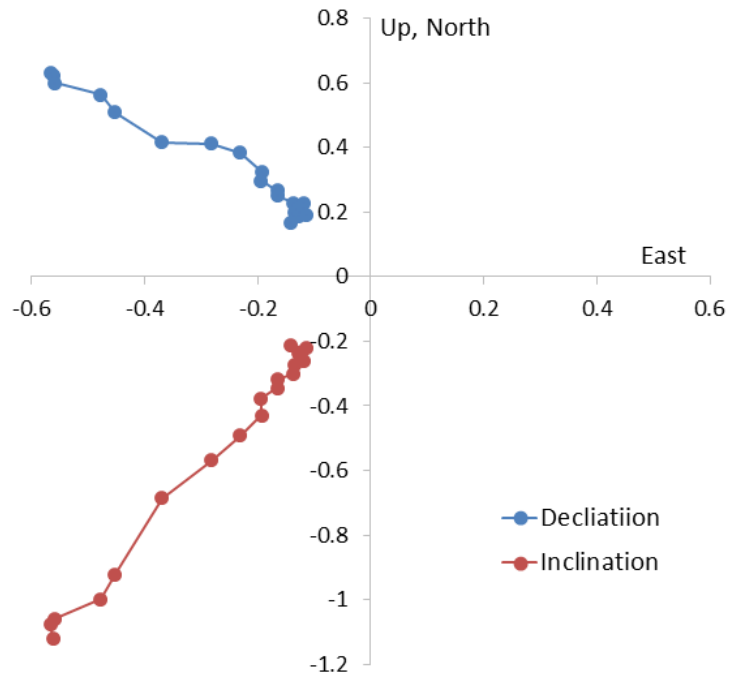
Gambar 5.5. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode BP1-5 dari daerah Bitung



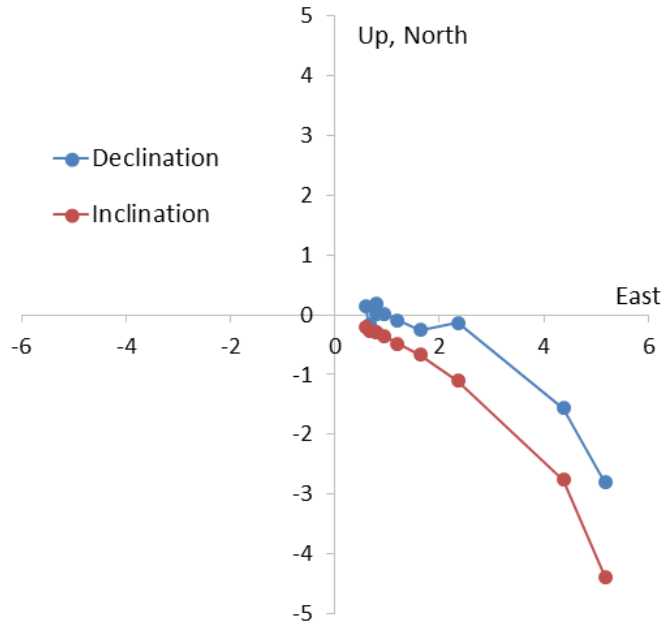
Gambar 5.6. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode PNKLN3 dari daerah Bitung



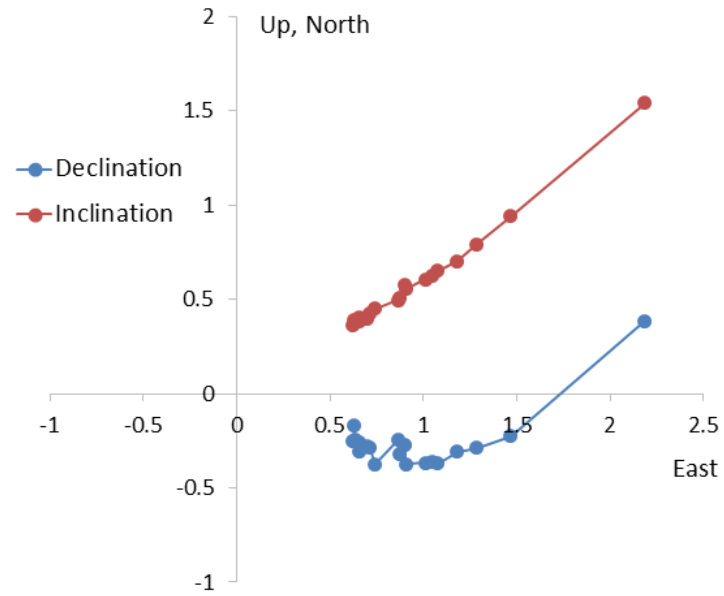
Gambar 5.7. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode LNSOT2 dari daerah Minahasa Utara



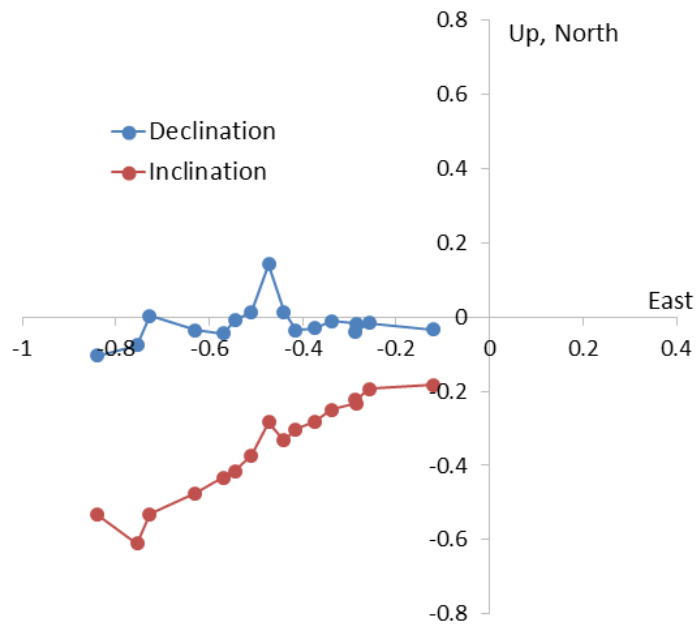
Gambar 5.8. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode TRM1 dari daerah Minahasa Utara



Gambar 5.9. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode LIK LF3 dari daerah Minahasa Utara



Gambar 5.10. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode TDNO dari daerah Minahasa



Gambar 5.11. Plot zijderfield untuk sampel dengan kode KIN1-4 dari daerah Tomohon

BAB VI. RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

Hingga saat ini telah dilakukan pengukuran dan analisis tentang susceptibilitas dan remanen magnetik batuan beku yang berasal dari beberapa daerah di lengan utara Pulau Sulawesi. Berdasarkan analisis kedua parameter tersebut beserta turunannya dapat diketahui bahwa sampel batuan beku di daerah lengan utara Pulau Sulawesi dalam hal ini yang berasal dari daerah Bitung, Minahasa Utara, Minahasa (Tondano), dan Tomohon telah memenuhi kriteria sebagai sampel paleomagnetik untuk kajian evolusi tektonik. Namun kelayakan sampel-sampel masih perlu dianalisis lebih lanjut untuk melihat efek medan dan temperatur terhadap perubahan magnetisasi. Hal ini untuk memastikan tingkat kestabilan magnetisasi pada sampel serta menentukan mineral pembawa sifat magnetik yang berperan dominan. Oleh sebab itu penelitian masih diusulkan untuk dilanjutkan pada tahun kedua dengan fokus kajian pada penentuan tingkat magnetisasi sebagai efek medan serta penentuan mineralogi pembawa sifat magnetik pada sampel batuan beku yang telah diukur/dianalisis (**lihat Gambar 4.1, rencana penelitian tahun ke-II atau tahun 2016**).

Pada tahun ke-II (tahun 2016), pengukuran-pengukuran yang akan dilakukan adalah pengukuran parameter-parameter histeresis magnetik yang meliputi magnetisasi saturasi, magnetisasi remanen saturasi, koersivitas, dan koersivitas remanen. Parameter-parameter tersebut diukur menggunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) yang terdapat di Badan Tenaga Atom Nasional (BATAN) Serpong. Pengukuran ini untuk melihat perubahan magnetisasi terhadap perubahan efek medan yang berimplikasi diketahuinya tingkat kestabilan magnetisasi serta domain magnetik yang dominan pada sampel batuan. Analisis domain magnetik dalam hal ini akan menggunakan estimasi *King* dan estimasi *Day*. Selanjutnya adalah pengukuran termomagnetik. Pengukuran ini untuk melihat efek suhu terhadap magnetisasi, menentukan suhu Curie dari sampel, serta mengetahui perubahan fasa. Penentuan suhu Curie digunakan untuk mendiskriminasi mineral magnetik utama pada sampel, sedangkan perubahan fasa digunakan untuk melihat pengaruh mineral magnetik lainnya (bukan utama) dalam sampel. Pengukuran termomagnetik akan dilaksanakan di Laboratorium Kemagnetan Batuan dan Paleomagnetik Institut Teknologi Bandung (ITB). Alternatif lokasi pengukuran termomagnetik adalah di Universitas Halu Oleo, Kendari. Dalam mendukung pengukuran-pengukuran magnetik dan analisisnya, maka peneliti juga merencanakan untuk melakukan kajian petrologi pada sampel batuan

beku dengan cara observasi *Scanning Electron Microscopy* (SEM) yang akan dilakukan di ITB Bandung ataupun di Universitas Negeri Malang.

Hasil-hasil penelitian yang diperoleh hingga saat ini telah didiseminasikan pada dua seminar nasional, yaitu di Universitas Sam Ratulangi pada bulan Agustus 2015, dan di Universitas Padjajaran Bandung pada bulan Nopember 2015. Data dan analisis yang telah diperoleh pada tahun ini rencananya akan digabung dengan data dan analisis pada tahun berikut (2016, jika perpanjangan penelitian diterima). Gabungan dari data dan analisis pada dua tahun penelitian tersebut diharapkan menghasilkan data dan analisis yang komprehensif dan berkualitas untuk diseminasikan pada seminar internasional serta dipublikasikan pada jurnal internasional bereputasi (terindeks Thomson dan Scopus) ditahun 2016.

Untuk mencapai target penelitian secara tepat waktu maka telah dilakukan perencanaan pembiayaan serta skema waktu penelitian untuk tahun 2016 sebagai berikut:

No	Jenis Pengeluaran	Biaya yang Diusulkan (Rp.)
		Tahun II (2016)
1	Honor pegawai/pembantu peneliti	2.000.000,-
2	Bahan habis pakai dan peralatan	44.500.000,-
3	Perjalanan	17.000.000,-
4	Lain-lain (Seminar, publikasi, dan laporan)	11.500.000,-
Jumlah		75.000.000,-

No.	Kegiatan	Waktu (bulan) di Tahun 2016											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Preparasi sampel		■	■	■								
2	Pengukuran Termomagnetik			■	■	■							
3	Pengukuran Histeresis Magnetik				■	■	■						
4	Observasi SEM				■	■	■						
5	Pengolahan dan analisis data			■	■	■	■	■					
6	Seminar Internasional					■	■	■	■				
7	Penulisan dan Publikasi jurnal internasional						■	■	■	■			
8	Pelaporan										■	■	■

BAB VII. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

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. Domain magnetik sampel tersebar mulai dari *single domain* hingga *multi domain*.
5. Remanen magnetik pada semua sampel batuan memiliki tingkat stabilitas yang tinggi.
6. Sampel-sampel batuan beku yang berasal dari daerah Bitung, Minahasa Utara, Tomohon dan Tondano memenuhi kriteria untuk dijadikan sampel paleomagnetik yang berguna bagi kajian evolusi tektonik lengan utara Sulawesi
7. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk melihat efek perubahan medan dan temperatur terhadap perubahan magnetisasi. Hal ini untuk memastikan lebih lanjut tingkat kestabilan magnetisasi pada sampel sebagai efek medan dan menentukan mineral pembawa sifat magnetik yang berperan dominan beserta karakteristiknya.

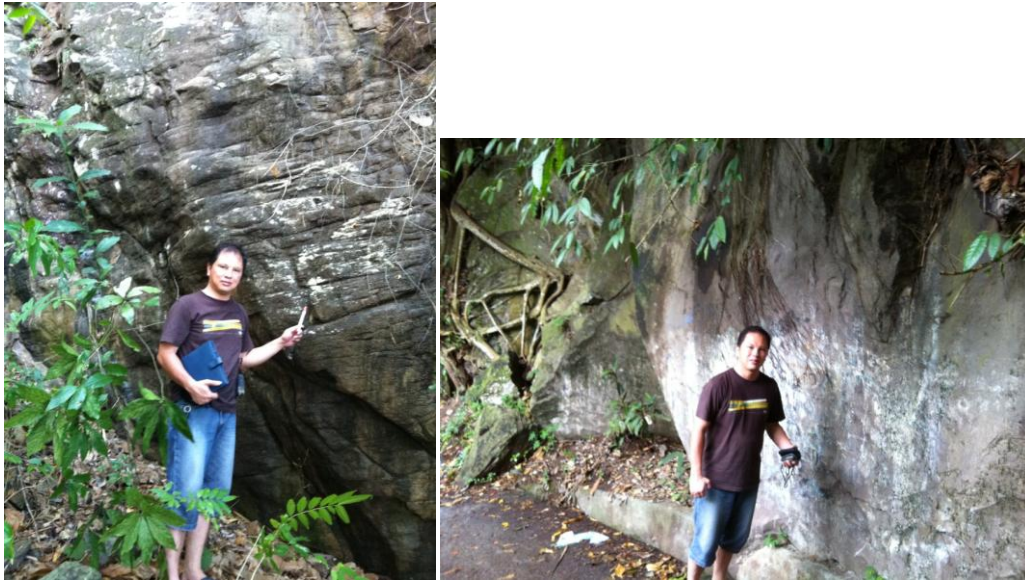
DAFTAR PUSTAKA

- 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: Instrumen-instrumen yang digunakan

1. Batuan beku dan alat-alat yang digunakan untuk pengambilan sampel



Gambar L1. Batuan sampel di daerah Bitung



Gambar L2. Batuan sampel di daerah Minahasa Utara



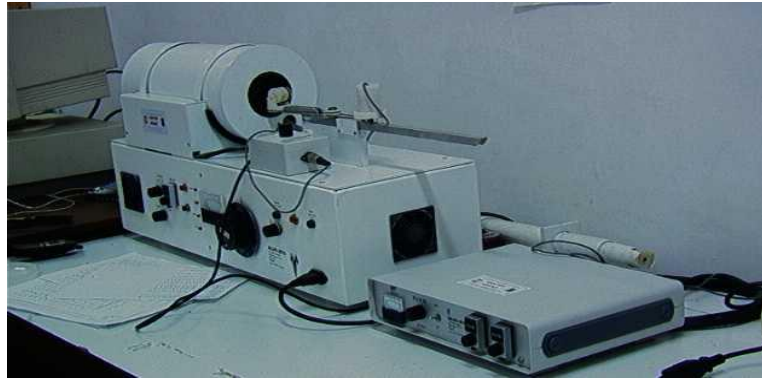
Gambar L3. Batuan sampel di daerah Minahasa



Gambar L4. Batuan sampel di daerah Tomohon



Gambar L5. Alat bor batu (atas), dan GPS (bawah)



Gambar L6. Alat-alat ukur magnetik yang digunakan (a) Demagnetizer, (b) Minispin Magnetometer, (c) Suseptibilitas Meter

LAMPIRAN 2: Personalia peneliti dan kualifikasinya

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	Ketua Jurusan Fisika FMIPA Univ. Sam Ratulangi	
4.	NIP	197105062000031001	
5.	NIDN	0006057102	
6.	Tempat dan Tanggal Lahir	Bitung, 6 Mei 1971	
7.	Alamat Rumah	Jl. Pramuka no. 122 Sario Kotabaru, Manado, Provinsi 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	gtamuntuan@gmail.com	
13.	Lulusan yang telah dihasilkan	S1 = 2 orang ; S2 = --- ; S3 = ---	
13.	Mata Kuliah yg Diampu	1. Seismologi 2. Fisika Komputasi 3. Fisika Modern 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	Kemagnetan Batuan sebagai Indikator Iklim Purba pada Sedimen Danau Towuti, Sulawesi Selatan
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 Menemukenali 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	Dikti	50
4.	2015	Magnetic Properties of Soil and Sediment from Malili Lake System	Dikti	120

D. Pengalaman Pengabdian Kepada Masyarakat Dalam 5 Tahun Terakhir

No	Tahun	Judul Pengabdian Kepada Masyarakat	Pendanaan	
			Sumber*	Jml (Juta Rp)
1.	-	-	-	-
2.	-	-	-	-

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

No	Judul Artikel Ilmiah	Volume/Nomor/ Tahun	Nama Jurnal
1.	Interpretasi Data Geolistrik Tahanan Jenis Menggunakan Perangkat Lunak RES1DINV	6/1/2006	Jurnal Ilmiah Sains (ISSN 1412-3770)
2	Pencitraan Vertikal Tanah secara 2D dengan Metode Geolistrik Tahanan Jenis	5/1/2007	Soil Environment (ISSN 1412-9108)
3	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)
4	Rock Magnetic Methods in Soil and Environmental Studies:	6/-/2012	Procedia Earth and Planetary Science

	Fundamental and Case Studies		
5	Magnetic Susceptibility Properties of Pesticide Contaminated of Volcanic Soil	1554/-/2013	American Institute of Physics conference (AIP) proceedings (scopus)
6	Parameterization of Magnetic Viscosity and Its Application in Inferring Fine Magnetic Grains in Natural Samples	2015	American Institute of Physics (AIP) Proceedings (scopus)
7	Variation of Magnetic Properties on Sediments from Lake Towuti, Indonesia, and Its Paleoclimatic Significance	2015	Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology (Thompson, scopus)
8	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)
9	Investigasi Rembesan Limbah Cair Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas: Studi Kasus TPA Sumompo, Manado	2015	Prosiding Seminar Nasional Fisika 2015 Universitas Negeri Jakarta
10	Identifikasi Rembesan Limbah Cair TPA Sumompo, Manado, dengan Menggunakan Metode Geolistrik Resistivitas Konfigurasi Wenner-Schlumberger	2015	Jurnal Sains MIPA Unsrat

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

No	Nama Pertemuan Ilmiah / Seminar	Judul Presentasi	Waktu dan Tempat
1.	The 6 th 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. (Tamuntuan, G. H. , 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. (Gerald Tamuntuan , Satria Bijaksana, Umar Fauzi, Khoiril A.	12 Mei 2012, Malang

		Maryunani, La Ode Safiuddin)	
3.	Asian Physics Symposium 2012	Parameterization of Magnetic Viscosity and Its Application in Inferring Fine Magnetic Grains in Natural Samples. (Gerald Tamuntuan , 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. (Gerald Tamuntuan , Satria Bijaksana, Umar Fauzi, James Russell, John King, Laode Safiuddin)	13 – 17 Agustus 2012, Resort World Sentosa, Singapore
5.	The 10 th Annual Meeting of Asia Oceania Geosciences Society (AOGS)	Preliminary Study on the Magnetic Responses to Paleoclimatic Events Recorded in Lake Towuti sediment. (Gerald Tamuntuan , 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 (Gerald Tamuntuan , 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 (Gerald Tamuntuan , Guntur Pasau)	Agustus 2015, Manado
8.	Workshop Cuaca Antariksa dan Pemanfaatannya III	Variasi Intensitas Medan Magnetik Bumi Masa Lalu dalam Perspektif Kemagnetan Batuan (Gerald Tamuntuan)	Oktober 2015, Manado
9.	Konferensi Nasional Paleo-Rock and Environmental Magnetism	Mengungkap Masa Lalu Bumi Melalui Sifat Magnetik Batuan (Gerald Tamuntuan) (<i>Invited Speaker</i>)	Nopember 2015, Unpad Jatinangor

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	-	-	-

2. Anggota Peneliti

1	Nama Lengkap (dengan gelar)	Guntur Pasau, S.Si, M.Si
2	Jenis Kelamin	L/ P
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	
Judul Skripsi/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	

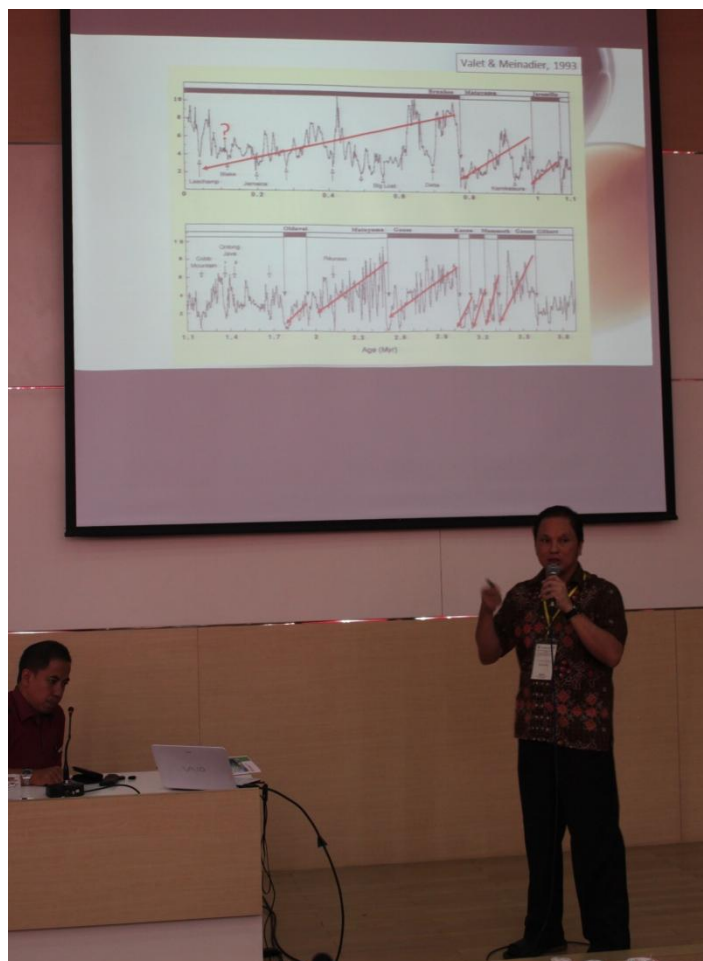
C. Pengalaman Penelitian Dalam 5 Tahun Terakhir:

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	Volume/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

LAMPIRAN 3: Diseminasi hasil penelitian dan sertifikat



Gambar L7. Presentasi hasil penelitian sebagai *invited speaker* di Unpad Jatinangor, 11 Nopember 2015.



**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

Himpunan Kimia Indonesia
Dr. Indraguna Runtuwene, M.Si.
NIP. 19650330 198903 1 003



Gambar L8. Sertifikat seminar nasional di Unsrat Manado dan di Unpad Jatinangor.