

Vol. 1 No. 3 September 2010

ISSN 2086-5589

MEGASAINS

Buletin Meteorologi, Klimatologi, Kualitas Udara, Geofisika, dan Lingkungan



BMKG

Diterbitkan oleh:

STASIUN PEMANTAU ATMOSFER GLOBAL BUKIT KOTOTABANG
Jl. Raya Bukittinggi – Medan Km. 17 Palupuh Sumatera Barat

**ANISOTROPI MAGNETIK BATUAN BEKU
ANDESITIK AKIBAT PEMANASAN**
Studi Kasus Batuan Gunung Sekopiah dan Lava Bantal Watu Adeg
Daerah Istimewa Yogyakarta

Khumaedi Sastrawiharja¹ dan Yuyu I. Arifin²

¹ Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang, Semarang
e-mail: mediasas@staf.unnes.ac.id

² Jurusan Fisika, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo

ABSTRACT

A series of experiment have been done to study effect of heating to anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) and anisotropy of remanent magnetization (ARM). The series of experiment include measurement of AMS, ARM and successive demagnetization of intensity of ARM of "fresh" rocks and after heating treatment. The samples igneous rock collected from site of Gunung Sekopiah and Watu Adeg. Both of sites located in Yogyakarta. The AMS fabric sites of SKP accordant to assumption that the rock from this site is dyke. Grain size estimation of sites was located in the range from 5 μ m up to 20 μ m. It also confirmed that this rock is plutonic rock. Heating treatment on the samples at temperature range between 25-300°C doesn't take effect on the initial susceptibility and the intensity of ARM. However, the initial susceptibility and intensity of ARM and grain size decreases if sample heated at higher temperature. Decreasing of grain size was associated to mineralogical change from ferrimagnetic to paramagnetic or antiferromagnetic.

Keywords: Anisotropy, ARM, AMS, demagnetization, Gunung Sekopiah, Watu Adeg.

PENDAHULUAN

Studi AMS (*anisotropy of magnetic susceptibility*) dan AAS (*anisotropy of anhysteretic susceptibility*) pada batuan beku di pulau Jawa telah banyak dilakukan oleh peneliti (Amir, 2002; Budiman, 2003; Purnama, 2003; Bernadus, 2003; Sandra 2004; Mahrizal, 2005). Pada studi ini AMS and AAS secara bersamaan digunakan untuk mengetahui fabrics batuan pada tiap tingkat pemanasan. Pemanasan di laboratorium digunakan untuk memodifikasi fabric magnetik batuan sehingga informasi lebih jauh tentang petrofabric batuan dapat diketahui. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan fabric magnetik seperti apa setelah pemanasan. Metode pemanasan ini telah banyak dilakukan oleh banyak peneliti (e.g. Abouzakhm and Tarling, 1975; Kropacek, 1976; Urrutia-Fucugauchi, 1981; Schultz-Krutisch and Heller, 1985; Peraneau and Tarling, 1985; Ellwood *et al.*, 1986; Jelenska and Kadziako-Hofmohl, 1990; Hirt and Gehring, 1991; Xu *et al.*, 1991; Li *et al.*, 1998; Borradaile and Lagroix, 2000; Trincade *et al.*, 2001; Souque *et al.*, 2002; Henry *et al.*, 2003; Mi Nguema *et al.*, 2002), tetapi semua pengukuran mereka dilakukan pada saat kondisi panas. Dalam penelitian ini pengukuran dilakukan setelah batuan didinginkan sampai temperatur kamar. Dalam studi ini dipelajari evolusi dan perubahan anisotropi magnetik pada batuan beku sebagai akibat pemanasan.

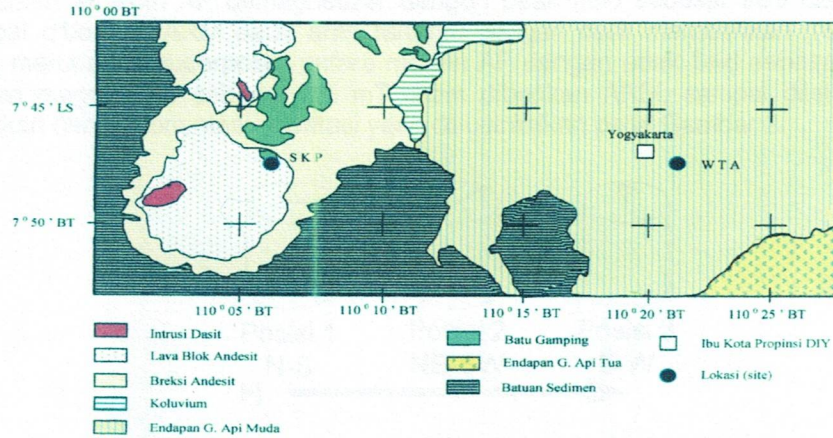
METODE PENELITIAN

Sampel

Sampel penelitian diperoleh dari dua site di Daerah Istimewa Yogyakarta. Posisi dari site ini diketahui melalui pembacaan GPS (*Global Positioning System*) dan memiliki data umur (K-Ar dating) seperti nampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Posisi lokasi and umur mutlak (dari Bernadus, 2003)

Lokasi	Posisi		Absolute Dating (Ma)
	Lintang	Bujur	
Gunung Sekopiah (SKP)	07°46.841'	110°06.041'	25,98 ± 0.55
Watu Adeg (WTA)	07°47.548'	110°21.905'	56,32 ± 3.8



Gambar 1. Peta pengambilan sampel (Bernadus, 2003)

Tipe batuan yang digunakan sebagai sample adalah dyke (SKP) dan lava (WTA) (Amir, 2002 and Bernadus, 2003). Dalam penelitian ini, masing-masing site diambil 5 sampel silinder (diameter 2.5 cm dan tinggi 2.2 cm) untuk memperoleh data anisotropi magnetik.

Eksperimen Pengukuran Anisotropi Magnetik

Pengukuran magnetik yang dilakukan meliputi pengukuran susseptibilitas magnetik pada medan lemah, hal ini diperlukan untuk memperoleh informasi mengenai susseptibilitas magnetik dan anisotropinya (AMS). Karena AMS merupakan respon dari seluruh fraksi mineral di dalam batuan maka interpretasi terhadap fabrik AMS masih sangat umum. Untuk memisahkan kontribusi masing-masing fraksi mineral dalam batuan maka diusulkan pengukuran bentuk anisotropi magnetik lain yaitu anisotropy of remanence magnetization (ARM). Hasil pengukuran anisotropi magnetisasi remanen (ARM) hanya merupakan respon fraksi mineral-mineral yang memiliki remanen (ferrimagnetik dan spin-canted antiferromagnetik). Selain remanen, medan koersif juga merupakan parameter penting dalam mineral ferromagnetik, untuk mendapatkan informasi mengenai distribusi mineral berdasarkan medan koersifnya maka dilakukan pengukuran intensitas ARM sebagai fungsi dari medan demagnetisasi AF.

Proses pembentukan batuan beku erat kaitannya dengan proses pendinginan dimana batuan beku memiliki NRM yang di dominasi oleh *Thermo Remanent Magnetization* (TRM) atau partial TRM. Selama proses pendinginan terjadi perubahan mineral, kristalisasi, dsb. Untuk menyelidiki bagaimana perubahan anisotropi magnetik terhadap pemanasan, maka sampel akan dipanaskan secara bertahap dari temperatur kamar sampai 600°C, dengan kenaikan 100°C. Pada setiap tahap sampel dipanaskan selama 50 menit kemudian didinginkan pada udara luar kemudian dilakukan pengukuran AMS, ARM dan demagnetisasi ARM.

Pengukuran suseptibilitas magnetik medan lemah (AMS)

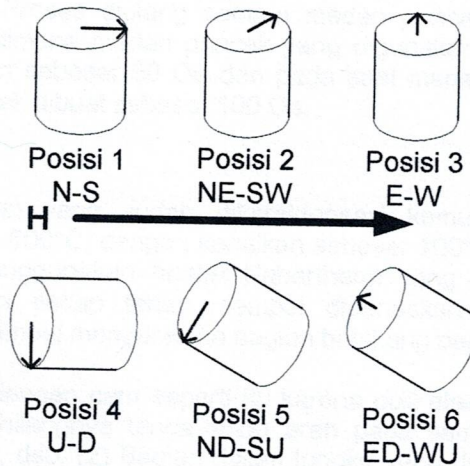
Pengukuran AMS dilakukan dengan menggunakan instrumen *Bartington Magnetic Susceptibility Meter* model MS (Bartington Instrument Ltd. Oxford, United Kingdom) di Laboratorium Fisika Bumi ITB. Proses pengukuran dimulai dengan memasukkan nilai volume atau massa sampel, dalam pengukuran ini nilai susseptibilitas dihitung per satuan volume (11 mL). Seluruh proses pengukuran dan perhitungan dilakukan dengan menggunakan *software*. Pengukuran susseptibilitas untuk melihat anisotropinya

menggunakan metode pengukuran 8 arah yang telah lazim digunakan di Laboratorium Fisika Bumi ITB (lihat Sandra 2004) dan Mahrizal 2005).

Magnetisasi remanen tak histeretik (ARM)

Pemberian ARM

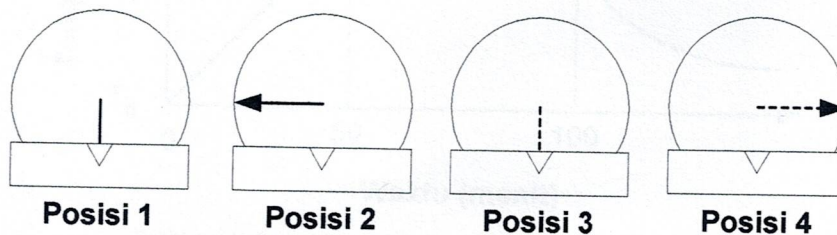
Sebelum diberikan ARM sampel-sampel batuan didemagnetisasi dengan menggunakan Instrumen Molspin AF demagnetizer dengan peak field sebesar 999 Oe. Kemudian sampel diberikan ARM pada arah tertentu dengan cara memberikan medan magnet yang merupakan superposisi antara medan AF dengan peak field sebesar 70 mT dan medan magnet DC sebesar 0.5 mT. Saat diberikan ARM, sampel diletakkan dalam kedudukan dengan orientasi-orientasi yang diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema orientasi sampel saat diberikan ARM (arah medan H ditunjukkan oleh arah panah besar, sedangkan anak panah kecil pada permukaan silinder menunjukkan arah North sampel)

Pengukuran intensitas ARM

Pengukuran intensitas ARM dilakukan dengan menggunakan alat Minispin Magnetometer yang dikontrol dengan Microprosesor Rockwell 6502. Prinsip kerja alat ini adalah dengan membangkitkan sinyal AC 780 Hz sebanding dengan komponen momen magnetik yang paralel dengan sumbu fluxgate. Rasio sinyal terhadap noise ditingkatkan dengan memutar sampel dalam fluxgate dengan frekuensi 6 Hz. Kemudian sinyal output didigitalisasi dengan alat ADC (*Analog Converter Digital*) dan disimpan dalam memori komputer. Untuk putaran pendek jumlah putaran ditetapkan 24 dan untuk putaran panjang ditetapkan 120. Pengukuran dilakukan dengan melakukan perubahan posisi sampel dalam empat posisi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Posisi sampel di dalam Minispin Magnetometer (anak panah menunjukkan arah north)

Proses Demagnetisasi Intensitas ARM

Proses demagnetisasi intensitas ARM dilakukan dengan menggunakan alat Molspin AF Demagnetizer yang menggunakan medan bolak-balik. Harga medan tertinggi yang dapat diberikan pada alat ini adalah 1000 Oe (100 mT) dengan frekuensi 180 Hz. Proses demagnetisasi dimulai dengan mengaktifkan alat molspin AF Demagnetizer selanjutnya atur posisi medan pada 25 Oe setelah itu sampel dimasukkan ke dalam

dudukan yang berada dalam kereta holder pemutar. Selanjutnya kereta holder didorong ke dalam tabung yang terdiri dari coil dan tiga lapis numetal. Setelah itu kita putar posisi switch rotating ke posisi on. Setelah itu tekan tombol start yang menandakan proses demagnetisasi akan dimulai. Setelah lampu stop menyala kemudian tekan tombol stop yang diikuti dengan memutar switch rotating ke posisi off yang berarti proses demagnetisasi untuk step tersebut telah selesai. Selanjutnya sampel dikeluarkan dari dudukannya.

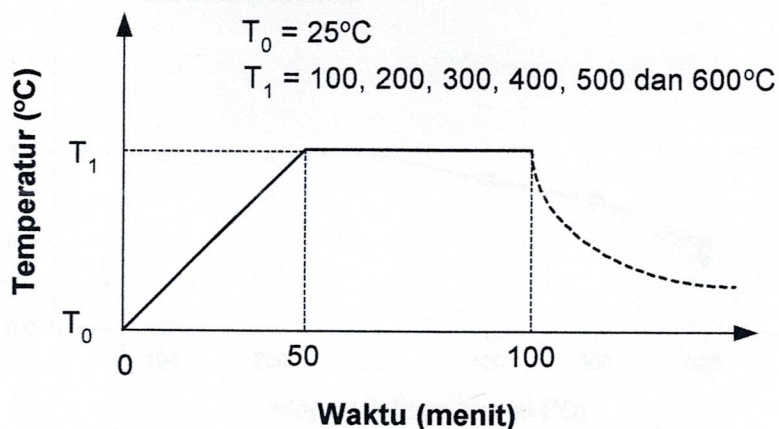
Sampel yang telah didemagnetisasi kemudian diukur nilai deklinasi, inklinasi dan intensitasnya dengan menggunakan alat Molspin Magnetometer dengan langkah-langkah seperti diuraikan pada bagian Pengukuran Intensitas ARM di atas. Setelah mencatat berapa nilai yang diperoleh sampel dimasukkan lagi ke dalam alat Molspin AF Demagnetizer untuk didemagnetisasi pada medan puncak yang lebih besar 25 Oe dari medan sebelumnya. Proses diulang sampai medan puncak mencapai ~ 1000 Oe. (Catatan: pada step dimana medan puncak yang digunakan sudah mencapai 250 Oe, maka kenaikan medan sebesar 50 Oe dan pada saat medan sebesar 600 Oe, maka kenaikan medan puncak dibuat sebesar 100 Oe.

Pemanasan Sampel

Sampel-sampel batuan yang sudah dikarakterisasi kemudian dipanaskan secara bertahap sampai suhu 600°C, dengan kenaikan sebesar 100°C. Pemanasan sampel ini dilakukan dengan menggunakan *heater* Nabertherm yang terdapat di Laboratorium Superkonduktor. Pada setiap tahap, sampel dipanaskan diatur sedemikian rupa sehingga arah utara sampel mengarah ke bagian belakang pemanas.

Penempatan sampel dengan cara seperti itu karena dua alasan yaitu: (1) Pemanasan akan mengakibatkan hilangnya tanda-tanda arah pada sampel yang dibuat dengan menggosokkan marker, dsb. (2) Bagian dalam tungku yang dipakai ini tidak bebas dari medan magnet. Sehingga dengan pengarahannya sampel seperti itu bisa memberikan suatu garansi bahwa kita memberikan perlakuan yang sama pada semua sampel.

Sampel-sampel dipanaskan selama 100 menit (50 menit pertama digunakan untuk menaikkan temperatur dari temperatur kamar ke temperatur yang diinginkan, kemudian temperatur ini dipertahankan konstan selama 50 menit. Gambar 5. menunjukkan ilustrasi proses pemanasan yang diberikan pada sampel.



Gambar 4. Diagram perlakuan pemanasan pada sampel

Pengolahan Data

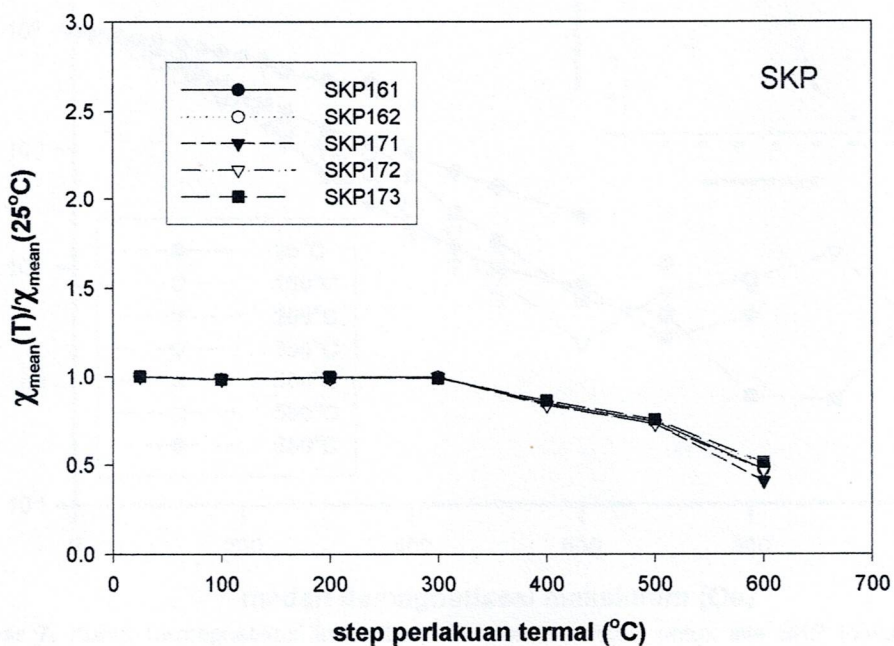
Data-data yang diperoleh dari hasil kajian paleomagnetik, studi kemagnetan batuan biasanya berupa vektor, sehingga diperlukan statistik khusus yaitu statistik vektor. Statistik Fisher merupakan suatu metode statistik vektor yang mengambil anggapan bahwa data-data vektor terdistribusi Fisher (analogi dari distribusi Gauss pada data skalar) (Tauxe, 1998).

HASIL DAN PEMBAHASAN

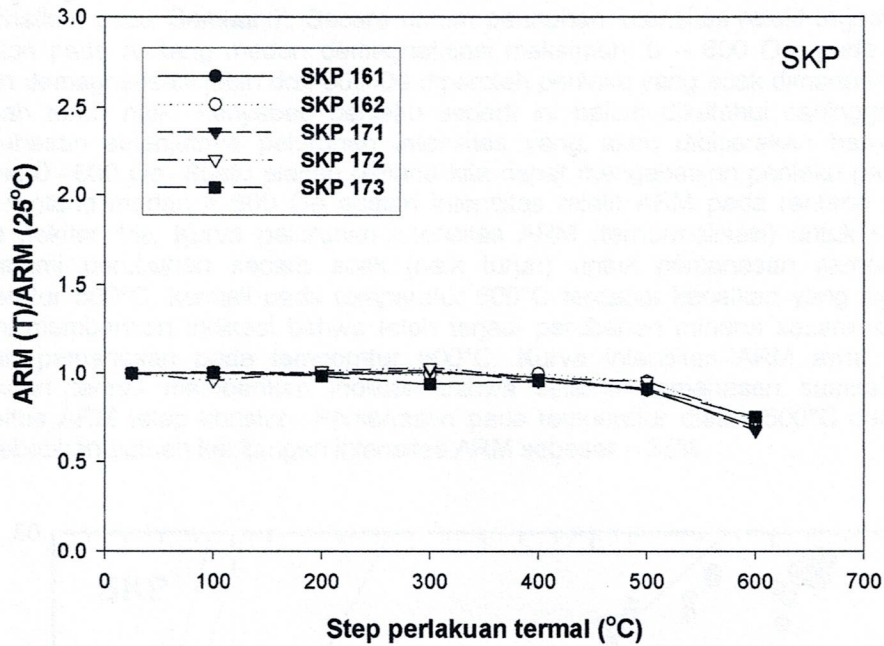
Fabrik AMS sampel-sampel dari site SKP sebelum dipanaskan menunjukkan arah sumbu maksimum mendekati vertikal sedangkan sumbu-sumbu lainnya terdistribusi mendekati horisontal, hal ini sesuai dengan pengamatan di lapangan dimana sampel-sampel dari site SKP diambil dari batuan beku yang berbentuk dike. Pengaruh perlakuan pemanasan terhadap suseptibilitas, fabrik dan parameter-parameter anisotropi AMS dapat dilihat pada Gambar 7. Suseptibilitas rata-rata (K_{mean}) bernilai konstan sampai 300°C dan kemudian meluruh secara linier dengan temperatur. Orientasi sumbu-sumbu utama suseptibilitas tampak tidak berubah sampai 300°C. Pada temperatur 400°C orientasi sumbu-sumbu utama menjadi lebih terhambur di sekitar arah rata-rata sebelumnya. Selanjutnya pada temperatur 500°C, sumbu-sumbu utama menempati arah rata-rata yang baru dan pada temperatur 600°C dapat dilihat bahwa sumbu-sumbu utama masing-masing lebih mengumpul di sekitar arah rata-rata.

Plot (T vs P_j) menunjukkan bahwa selama pemanasan bentuk ellipsoida suseptibilitas berevolusi dari fabrik prolate ($T < 0$) menjadi oblate ($T > 0$). Perubahan dari faktor bentuk dari prolate ke oblate terjadi diantara temperatur 300°C dan 400°C. Anisotropi sampel meningkat pada rentang temperatur (25°C–200°C) dan (500°C–600°C) hal ini juga berkenaan dengan mengumpulnya sumbu-sumbu utama suseptibilitas di sekitar arah rata-ratanya.

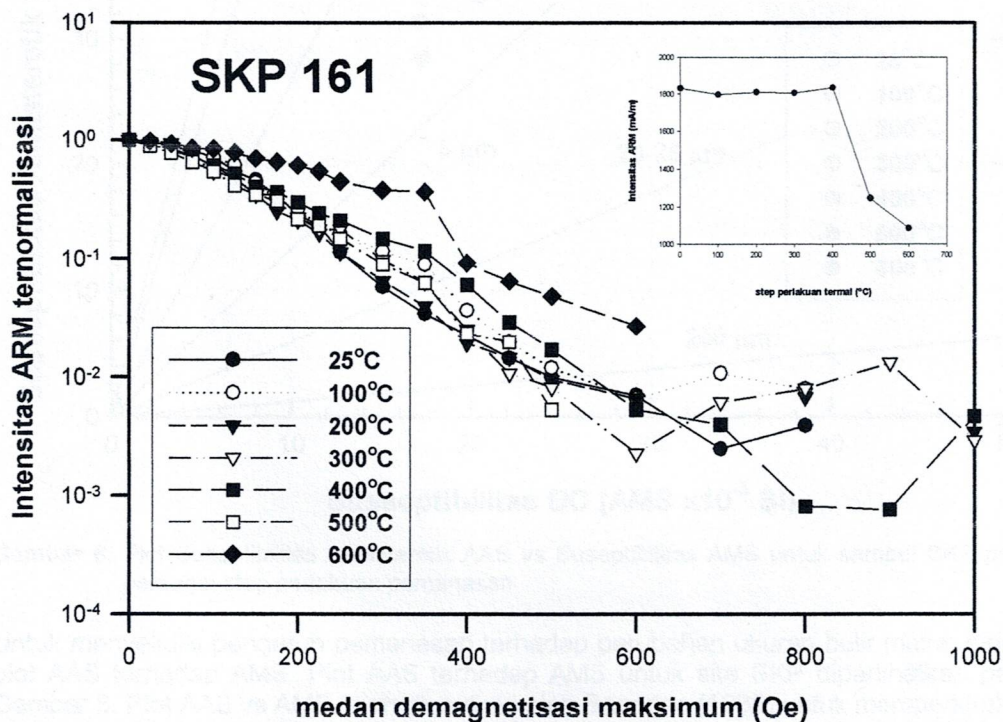
Hasil pengukuran ARM (Gambar 6) menunjukkan bahwa intensitas ARM rata-rata berubah dengan tren yang sama dengan AMS (Gambar 5), kesamaan tren AMS dan AAS ini menunjukkan bahwa penurunan suseptibilitas rata-rata disebabkan oleh hilangnya fasa-fasa ferromagnetik karena pemanasan. Perlakuan pemanasan bisa mengakibatkan proses oksidasi yang menyebabkan transformasi fasa-fasa ferrimagnetik (misalnya magnetite) menjadi paramagnetik (misalnya Hematite).



Gambar 5. Evolusi AMS selama pemanasan untuk site Gunung Sekopiah (SKP)



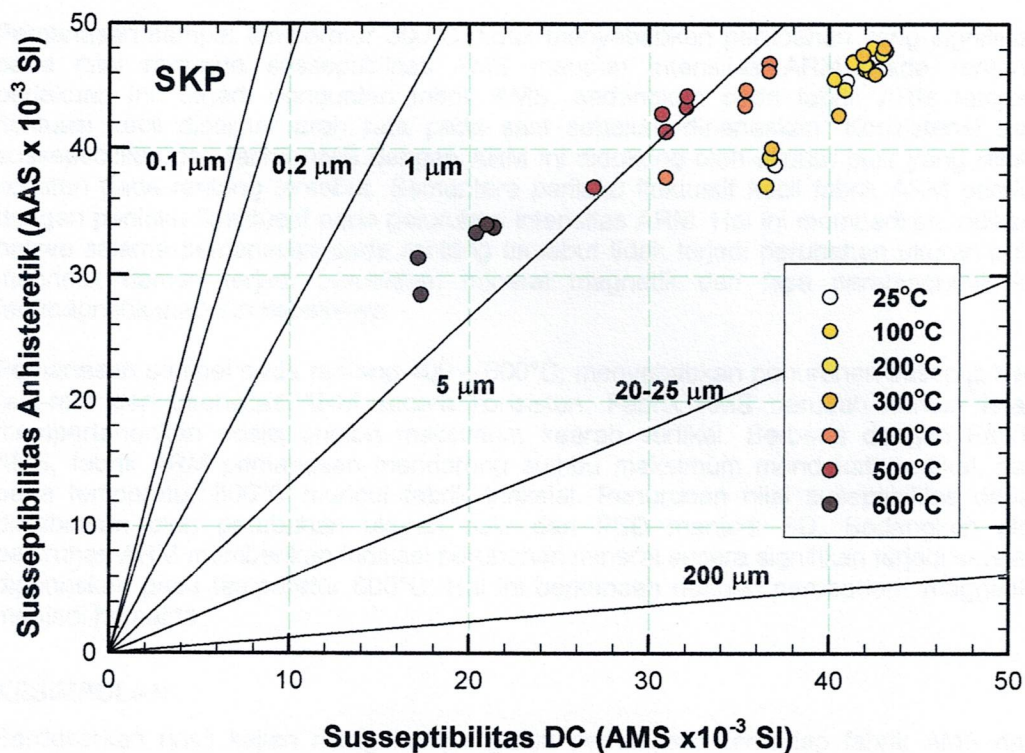
Gambar 6. Evolusi ARM selama pemanasan untuk site Gunung Sekopiah (SKP)



Gambar 7. Kurva Demagnetisasi intensitas ARM ternormalisasi untuk site SKP (diwakili oleh sampel SKP 161) (Inset plot Intensitas ARM awal vs step perlakuan termal)

Proses pemanasan membuat arah sumbu-sumbu maksimum berubah sedikit dari arah rata-rata pada saat sebelum dipanaskan. Pada temperatur 400°C arah-arrah sumbu maksimum mengalami rotasi sekitar 90° (berlawanan arah jarum jam) terhadap sumbu vertikal. Setelah pemanasan pada temperatur 500°C fabrik triaksial muncul. Fabrik ini kembali berubah menjadi triaksial dengan sumbu-sumbu utama yang telah berotasi sekitar 90° berlawanan arah jarum jam terhadap sumbu vertikal setelah pemanasan pada temperatur 600°C.

Hasil pengukuran demagnetisasi intensitas ARM untuk site Gunung Sekopiah diperlihatkan pada Gambar 7. Secara umum peluruhan intensitas relatif terjadi secara monoton pada rentang medan demagnetisasi maksimum 0 – 600 Oe, pada rentang medan demagnetisasi lebih dari 600 Oe diperoleh perilaku yang acak dimana intensitas berubah turun naik. Penyebab perilaku seperti ini belum diketahui sehingga dalam pembahasan selanjutnya peluruhan intensitas yang akan dibicarakan hanya pada rentang 0 –600 Oe. Suatu alasan dimana kita dapat mengabaikan perilaku perluruhan pada rentang medan > 600 Oe adalah intensitas relatif ARM pada rentang tersebut hanya sekitar 1%. Kurva peluruhan intensitas ARM (ternormalisasi) untuk site SKP mengalami perubahan secara acak (naik turun) untuk pemanasan sampai pada temperatur 500°C, kecuali pada temperatur 600°C terdapat kenaikan yang signifikan. Hal ini memberikan indikasi bahwa telah terjadi perubahan mineral secara signifikan setelah pemanasan pada temperatur 600°C. Kurva intensitas ARM awal vs step perlakuan termal memberikan indikasi bahwa selama pemanasan sampai 400°C intensitas ARM tetap konstan. Pemanasan pada temperatur diatas 500°C dan 600°C menyebabkan batuan kehilangan intensitas ARM sebesar ~ 33%.



Gambar 8. Plot Suseptibilitas Anhisteretik AAS vs Suseptibilitas AMS untuk sampel SKP pada berbagai step perlakuan pemanasan

Untuk menyelidiki pengaruh pemanasan terhadap perubahan ukuran bulir maka, dibuat plot AAS terhadap AMS. Plot AAS terhadap AMS untuk site SKP diperlihatkan pada Gambar 8. Plot AAS vs AMS telah diusulkan oleh Banarjee (1982) untuk memperkirakan ukuran bulir magnetik. Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa plot AAS vs AMS untuk sampel yang mengalami perlakuan pemanasan dengan temperatur 100-300°C, bertumpuk ditempat yang sama diantara kurva ukuran bulir 5 μm dan 20-25 μm. Pemanasan pada temperatur diatas 400°C dan lebih membuat plot AAS vs AMS bergeser mendekati kurva 5 mm. Bahkan lebih jauh lagi untuk pemanasan pada temperatur 600°C plot AAS vs AMS sudah berada diantara kurva 1 μm dan 5 μm. Hasil ini memberikan indikasi bahwa bulir magnetik sampel-sampel dari site SKP berkurang dengan bertambahnya temperatur perlakuan pemanasan. Perubahan ukuran bulir ini akan menyebabkan transformasi bulir-bulir *Multi Domain* (MD), *Pseudo Single Domain* (PSD) dan *Super Paramagnetisme* (SP) menjadi bulir *Single Domain* (SD). Perubahan

ini selanjutnya akan menyebabkan penurunan suseptibilitas karena suseptibilitas bulir-bulir SD lebih kecil dibandingkan suseptibilitas SP, PSD dan MD (Henry, 2003).

Berdasarkan pengamatan di lapangan saat pengambilan sampel batuan, sampel batuan dari site SKP diperkirakan berupa dike. Perkiraan ini diperkuat oleh fakta hasil pengukuran AMS dimana fabrik AMS menunjukkan bahwa sumbu-sumbu maksimum sampel sebelum dipanaskan memiliki inklinasi yang besar (mendekati vertikal). Selain itu hasil estimasi ukuran bulir dengan menggunakan plot AAS vs AMS menunjukkan bahwa ukuran bulir magnetik pada sampel batuan dari site SKP sebelum dipanaskan berkisar diantara 5 dan 20 μm . ukuran bulir yang relatif besar didapatkan dari proses pendinginan yang lambat (yang hanya terjadi pada batu beku intrusi seperti jenis dike ini).

Fabrik ARM dari sampel sebelum dipanaskan menunjukkan pola yang berbeda dengan fabrik AMS. Hal ini mungkin disebabkan oleh fasa antiferromagnetik spin miring yang cukup dominan, hal ini diperkuat oleh suseptibilitas AMS cukup besar namun intensitas ARM kecil.

Pemanasan sampai temperatur 300°C, tidak menyebabkan perubahan yang signifikan pada nilai rata-rata suseptibilitas AMS maupun intensitas ARM. pada rentang perlakuan ini, terjadi penguatan fabrik AMS, sedangkan pada fabrik ARM tampak fluktuasi kecil disekitar arah rata pada saat sebelum dipanaskan. Konsistensi tren suseptibilitas dan fabrik AMS dengan ARM ini didukung oleh ukuran bulir yang relatif konstan pada rentang tersebut. Sementara perilaku fluktuatif kecil fabrik ARM paralel dengan perilaku fluktuatif pada peluruhan intensitas ARM. Hal ini memberikan indikasi bahwa selama pemanasan pada rentang tersebut tidak terjadi perubahan ukuran bulir magnetik namun terjadi perubahan mineral magnetik dari fasa paramagnetik ke ferrimagnetik maupun sebaliknya.

Pemanasan sampel pada rentang 400 – 600°C, menyebabkan penurunan suseptibilitas rata-rata dan intensitas ARM secara konsisten. Fabrik AMS berubah namun tetap mempertahankan posisi sumbu maksimum kearah vertikal. Berbeda dengan Fabrik AMS, fabrik ARM pemanasan mendorong sumbu maksimum mendekati vertikal, dan pada temperatur 500°C muncul fabrik triaksial. Penurunan nilai suseptibilitas dapat diakibatkan oleh perubahan ukuran bulir dari PSD menjadi SD. Sedangkan plot peluruhan ARM memberikan indikasi perubahan mineral secara signifikan terjadi setelah dipanaskan pada temperatur 600°C. Hal ini berkenaan dengan perubahan magnetite menjadi hematite.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian mengenai pengaruh pemanasan terhadap fabrik AMS dan ARM/AAS maka dapat disimpulkan beberapa hal sbb:

1. Fabrik AMS dari sampel sebelum dipanaskan memperkuat dugaan bahwa sampel batuan ini berupa dike, sedangkan fabrik ARM tidak.
2. Suseptibilitas AMS dan intensitas ARM tidak berubah selama pemanasan sampai 300°C, diatas temperatur tersebut suseptibilitas AMS dan intensitas ARM meluruh dengan naiknya temperatur.
3. Ukuran bulir sampel dari site SKP relatif lebih besar (5-20 μm), hal ini memperkuat dugaan bahwa batuan ini merupakan batuan beku intrusi.
4. Ukuran bulir sampel konstan selama perlakuan pemanasan sampai temperatur 300°C, diatas temperatur ini ukuran bulir menjadi semakin kecil.
5. Mengecilnya ukuran bulir ini berhubungan dengan perubahan mineral-mineral ferri- dan antiferromagnetik menjadi antiferromagnetik dan/atau paramagnetik.

DAFTAR PUSTAKA

Amir, H. 2002. *Studi Paleomagnetik Batuan Beku berumur Oligo-Miosen dari Daerah Istimewa Yogyakarta*. Tesis Magister Fisika. Institut Teknologi Bandung.

- Bernadus. 2003. *Kajian Anisotropi Susseptibilitas Magnetik pada Batuan Beku dari Daerah Istimewa Yogyakarta*. Tesis Magister Fisika. Institut Teknologi Bandung.
- Bijaksana, S. 1991. *Magnetic Anisotropy of Cretaceous Deep Sea Sedimentary Rocks from the Pacific Plate*, MSc. Thesis, University of Newfoundland.
- Bijaksana, S. 2004. Ulasan tentang landasan fisis anisotropi magnetik pada batuan, *Jurnal Geofisika*, Institut Teknologi Bandung.
- Borradaile, G. J., F. Lagroix. 2000. Thermal enhancement of magnetic fabrics in high grade gneisses. *Geophys. Res. Lett.* 27(16): 2413-2416.
- Budiman, A. 2003. *Kajian paleomagnetik dan anisotropi magnetik pada batuan beku dari Daerah Istimewa Yogyakarta*. Tesis Magister Fisika. Institut Teknologi Bandung.
- Dunlop, D. J. and Ö. Özdemir. 1997. *Rock Magnetism Fundamentals and Frontiers*. Cambridge University Press.
- Henry, B., D. Jordanova, N. Jordanova, C. Souque, P. Robion. 2003. Anisotropy of magnetic susceptibility of heated rocks. *Tectonophysics*. 366: 241-258.
- Hunt, C.P., B. M. Moskowitz and S.K. Banarjee. 1995. Magnetic properties of rocks and minerals in Rock physics and phase relations, A Handbook of Physical Constants. *AGU Reference shelf* 3: 1989-204.
- Mahrizal. 2005. *Kajian Paleomagnetik dan Anisotropi Suseptibilitas Magnetik pada Batuan Beku dari Kabupaten Jember dan Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur*. Tesis Magister Fisika. Institut Teknologi Bandung.
- Mi Nguema, T. M., R.I.F. Trindade, J.L. Bouchez, P. Launeau. 2002. Selective Thermal Enhancement of Magnetic Fabrics from the Carnmenellis Granite (British Cornwall). *Phys. and Chem. of the Earth*. 27: 1281-1287.
- Purnama, W. 2003. *Pengukuran Magnetisasi Remanen pada Batuan Beku Andesit dari Daerah Istimewa Yogyakarta*, Tesis Magister Fisika, Institut Teknologi Bandung.
- Sandra. 2004. *Pengukuran Anisotropi Magnetik pada Batuan Beku dari Daerah Istimewa Yogyakarta*, Tesis Magister Geofisika Terapan. Institut Teknologi Bandung.
- Souque, C., P. Robion, D.F. de Lamotte. 2002. Cryptic magnetic fabric of tectonic origin revealed by heating of sedimentary samples from the Corbières, France. *Phys and Chem. of the Earth* 27: 1253-1262.
- Tauxe, L. 1998. *Paleomagnetic Principles and Practice*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht.