

**Karakterisasi Mineral Magnetik Batuan Beku Wilayah Kulawi Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah Dengan Menggunakan Metode *Isothermal Remanent Magnetization (IRM)***

**Characterization Mineral Magnetic of Igneous Rocks in Kulawi Region Sigi Regency of Central Sulawesi Using *Isothermal Remanent Magnetization (IRM)* Method**

**Maskur, Annisa Utami, Sandra**

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Tadulako

**ABSTRACT**

Characterization of magnetic minerals of igneous rock in Kulawi Region Sigi Regency of Central Sulawesi. The purpose of this research is to know the type of magnetic minerals in a rock sample from each such place as Namo Village, Lonca Village, Toro Village and Sungku Village. Determination of magnetic mineral type of rock is done by *Isothermal Remanent Magnetization (IRM)* method. Based on the measurements seen on the saturation curve of IRM issue on Namo, Lonca, Toro, and Sungku specimens, indicated that the magnetic minerals contained in all specimens studied were *magnetite* magnetic minerals. This is because the saturation process occurs faster than the *hematite* type magnetic mineral, where the four specimens start to saturate in a magnetic field between 100 mT to 300 mT.

**Keywords:** *Hematite, Igneous Rocks Isothermal Remanent Magnetization (IRM), Magnetite, Saturation Curve*

**ABSTRAK**

Telah dilakukan karakterisasi mineral magnetik batuan beku di Wilayah Kulawi Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jenis mineral magnetik yang terdapat pada suatu sampel batuan dari masing-masing tempat seperti Desa Namo, Desa Lonca, Desa Toro dan Desa Sungku. Penentuan jenis mineral magnetik batuan dilakukan dengan menggunakan metode *Isothermal Remanent Magnetization (IRM)*. Berdasarkan hasil pengukuran yang terlihat pada kurva saturasi pemberian IRM terhadap spesimen Namo, Lonca, Toro, dan Sungku, mengindikasikan bahwa mineral magnetik yang terkandung pada semua specimen yang diteliti adalah mineral magnetik jenis *Magnetite*. Hal ini disebabkan karena proses saturasinya terjadi lebih cepat, dibandingkan mineral magnetik jenis *hematite*, dimana keempat spesimen tersebut mulai tersaturasi pada medan magnet antara 100 mT - 300 mT.

**Kata Kunci :** *Batuan Beku, Hematite, Isothermal Remanent Magnetization (IRM), Kurva Saturasi, Magnetite*

## I. PENDAHULUAN

Pada umumnya, bahan mineral dikelompokkan dalam bahan Diamagnetik, Paramagnetik dan Feromagnetik (termasuk Ferimagnetik dan Antiferomagnetik), hal ini didasarkan pada sifat magnetik suatu mineral. Istilah mineral magnetik biasanya digunakan untuk bahan mineral yang tergolong Feromagnetik. Misalnya dalam batuan (*soils*), mineral Feromagnetik umumnya berasal dari keluarga besi-titanium oksida, sulfide-besi, dan hidrooksida besi (Sandra, 2004).

Berdasarkan sifatnya, kemagnetan batuan sangat bergantung pada intensitas kandungan mineral magnetik yang dimiliki. Sehingga, kelimpahan mineral magnetik pada batuan sangatlah kecil jika dilihat dari segi kuantitasnya. Umumnya kuantitas mineral magnetik hanya berkisar 0,1% dari massa total batuan. Tetapi sangat mempengaruhi sifat kemagnetan dari batuan tersebut. Dengan demikian, sifat magnetik batuan terkadang cukup rumit karena batuan dapat mempunyai beberapa mineral magnetik secara sekaligus (Bijaksana, 2002).

Mineral magnetik jenis *magnetite* merupakan mineral yang banyak ditemukan dalam batuan beku, metamorf dan sedimen. Mineral *Magnetite* merupakan bijih besi yang paling sering ditambang. *Magnetite* juga sangat mudah untuk diidentifikasi, sebab mineral jenis ini merupakan salah satu dari beberapa mineral yang tertarik pada magnet.

Mineral magnetik jenis *Hematite* merupakan mineral pembentuk yang umumnya ditemukan pada batuan sedimen, metamorf dan batuan beku. *Hematite* sendiri lebih banyak digunakan untuk menghasilkan pigmen bahkan bahan pelindung radiasi.

Untuk menentukan mineral magnetik suatu bahan, salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *Isothermal Remanent Magnetization (IRM)*. Alat ini

dapat digunakan untuk menentukan jenis mineral magnetik suatu batuan (Sesa, 2001).

Penelitian ini dilakukan di Wilayah Kulawi Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah dengan mengambil sampel batuan beku. Pemilihan batuan beku sendiri dikarenakan batuan beku dapat dengan mudah merekam sifat magnetik yang terjadi saat batuan itu terbentuk.

Penelitian serupa pernah dilakukan oleh Maskur (2010) di Daerah Tojo Unauna Sulawesi Tengah. Hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa, mineral magnetik jenis *magnetite* merupakan mineral yang paling dominan.

Batuan beku merupakan batuan yang paling efektif untuk kajian paleomagnetik, karena batuan beku dapat merekam sifat magnetik yang terjadi saat batuan itu terbentuk (Purnama, 2016). Berdasarkan tempat pembentukannya batuan beku terbagi atas 2 jenis yaitu batuan beku ekstrusif dan batuan beku intrusif. Batuan beku ekstrusif merupakan hasil pembentukan magma yang terjadi di atas permukaan bumi baik di daratan maupun di permukaan laut. Sedangkan batuan beku intrusif merupakan hasil pembentukan magma didalam permukaan bumi atau dapat juga mencapai permukaan bumi akan tetapi memotong per lapisan dari batuan induk seperti *dike* dan *silk* (Fisher, 1984).

Pembentukan remanen magnetisasi dari suatu batuan bergantung pada jenis mineral batuanya. Jika pada temperatur terjadi perubahan mineral yang bersifat paramagnetik kemudian berubah menjadi feromagnetik, dimana magnetik pada batuan tersebut memiliki magnetisasi remanen, hal inilah yang disebut sebagai *Temperature Curie* (Kittel, 1996).

Magnetisasi terdiri atas 2 komponen yaitu magnetisasi induksi (**MI**) dan magnetisasi remanen (**MR**) dengan rumus sebagai berikut:

$$\mathbf{M} = \mathbf{M}_I + \mathbf{M}_R \dots\dots\dots (1)$$

Dimana  $\mathbf{M}_I$  ditimbulkan oleh medan magnet luar, sedangkan  $\mathbf{M}_R$  merupakan magnetisasi spontan yang terjadi akibat adanya interaksi kuat antara spin-spin tetangga yang terdekat dalam kristal tertentu dari bahan tersebut (Sandra, 2004).

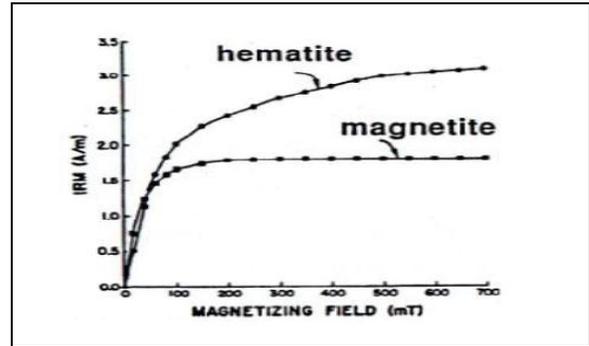
Magnetisasi ( $\mathbf{M}$ ) dalam suatu bahan dapat terjadi sebagai suatu respon bahan tersebut terhadap medan magnet luar ( $\mathbf{H}$ ). Suseptibilitas magnetik ( $\chi$ ) suatu bahan merupakan ukuran kuantitatif bahan tersebut untuk dapat termagnetisasi jika dikenai medan magnet. Hubungan ketiga besaran tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

$$\mathbf{M} = \chi \mathbf{H} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai suseptibilitas magnetik dipengaruhi oleh kandungan sifat magnetik bahan, yang dapat bernilai positif dan negatif. Nilai positif menunjukkan intensitas magnetisasi  $\mathbf{M}$  yang searah dengan medan  $\mathbf{H}$ , yang terdapat pada bahan paramagnetik dan feromagnetik. Sedangkan nilai negatif menunjukkan bahwa magnetisasi  $\mathbf{M}$  berlawanan arah dengan medan  $\mathbf{H}$ , yang merupakan sifat bahan diamagnetik (Mufit dkk, 2013).

*Isothermal Remanent Magnetization (IRM)* merupakan bentuk remanen yang dihasilkan melalui eksperimen histerisis dan bulir magnetik yang merekamnya mempunyai energi koersif yang lebih kecil dari medan yang digunakan. Untuk membedakan antara *magnetite* ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) dan *hematite* ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dapat kita ketahui dari pola saturasi yang dihasilkan (Syafriana, 2013). Secara teoritis (Hunt, 1991) telah mengkaji tentang proses IRM mineral magnetik pada batuan dan merekomendasikan bahwa mineral *magnetite* dicirikan dengan lebih cepatnya mencapai medan saturasi yaitu sekitar 300-500 mT, sedangkan *hematite* mencapai medan saturasi diatas 500 mT. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Hal ini berbeda dengan Butler

(1998), dimana menurut Butler, mineral magnetik jenis *magnetite* dicirikan dengan lebih cepatnya mencapai medan saturasi yaitu sekitar 100-300 mT, sedangkan mineral magnetik jenis *hematite* lebih sulit mencapai medan saturasi yaitu diatas 800 mT.



Gambar 1 Kurva perbedaan saturasi antara *Magnetite* dan *Hematite* pada proses pemberian IRM.

Untuk mendapatkan medan magnet yang kuat, tentu saja diperlukan arus listrik yang besar dan untuk menjaga efek panas yang ditimbulkan dari arus yang besar tersebut maka *Elektromagnetik Weiss* didinginkan dengan air yang dialirkan melalui pipa pendingin dengan pompa (Purnama, 2016).

## II. METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian:

- a. Sampel Batuan
- b. Gips

Pengambilan sampel dilakukan di 4 lokasi berbeda di Wilayah Kulawi Kabupaten Sigi Sulawesi Tengah yaitu Desa Namo yang terletak pada koordinat 1° 24' 10.8" LS dan 119° 59' 38.4" BT. Desa Lonca terletak pada koordinat 1° 29' 31.2 LS dan 119° 58' 44.4" BT. Desa Toro terletak pada koordinat 1°30'50.4" LS dan 120° 2' 24" BT. Dan Desa Sungku yang terletak pada koordinat 1° 29' 31.2" LS dan 120° 0' 32.4" BT. Adapun metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Metode *Isothermal Remanent Magnetization (IRM)*. Persipan sampel batuan

dilakukan di Laboratorium Fisika Kebumihan dan Kelautan, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Tadulako. Sementara proses pengukuran IRM dilakukan di Laboratorium Kemagnetan Batuan dan Paleomagnetik Gedung Basic Science A, Institut Teknologi Bandung.

### III. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran medan magnetik setiap sampel dilakukan dengan cara memberikan arus dan medan magnet tertentu hingga intensitas magnetik sampel mencapai medan saturasi. Setelah intensitas magnetik mengalami saturasi, pemberian arus yang lebih besar tidak akan mempengaruhi keadaan saturasinya intensitas magnetik (Sudarningsih, dkk. 2013).

Hasil pengukuran IRM untuk Spesimen Namo dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran IRM

Nama Spesimen:		Namo		
No.	I (A)	Medan (mT)	Intensitas ( $\times 10^{-3}$ A/m)	intensitas relatif ( $\times 10^{-3}$ A/m)
1	0	0	53	1
2	0,56	46,54	2704,760	51,03
3	1,31	108,87	3711,65	70,03
4	1,33	110,53	4997,51	94,29
5	2,01	167,04	5034,10	94,98
6	2,02	167,87	4901,70	92,48
7	2,11	175,35	4909,78	92,64
8	2,66	221,06	4932,15	93,06
9	2,88	239,34	4878,00	92,04
10	3,65	303,33	4909,80	92,64

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa pada pemberian arus yang berkisar antara 0 A hingga 3,65 A dan pemberian medan yang berkisar antara 0 mT hingga 303,33 mT menghasilkan nilai intensitas berkisar antara 53 A/m hingga 4.909,80 A/m.

Hasil pengukuran IRM untuk Spesimen Lonca dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran IRM

Nama Spesimen:			Lonca		
No.	I (A)	Medan (mT)	Intensitas 1 ( $\times 10^{-3}$ A/m)	Intensitas 2 ( $\times 10^{-3}$ A/m)	intensitas relatif ( $\times 10^{-3}$ A/m)
1	0	0	67	83	0,61
2	0,56	46,54	5547,96	3953,47	51,13
3	1,31	108,87	9916,58	5937,22	91,39
4	1,33	110,53	9971,14	5798,76	91,89
5	2,01	167,04	9877,94	5918,13	91,04
6	2,02	167,87	10055,27	5819,92	92,67
7	2,11	175,35	9989,15	5721,71	92,06
8	2,66	221,06	10169,35	5806,58	93,72
9	2,88	239,34	10018,7	5922,96	92,33
10	3,65	303,33	10195,01	5788,18	93,96

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada pemberian arus yang berkisar antara 0 A hingga 3,65 A dan pemberian medan yang berkisar antara 0 mT hingga 303,33 mT menghasilkan intensitas berkisar antara 67 A/m hingga 10.195,01 A/m untuk Intensitas 1 dan 83 A/m hingga 5.788,18 A/m untuk Intensitas 2.

Hasil pengukuran IRM untuk Spesimen Toro dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran IRM

Nama Spesimen:		Toro		
No.	I (A)	Medan (mT)	Intensitas ( $\times 10^{-3}$ A/m)	intensitas relatif ( $\times 10^{-3}$ A/m)
1	0	0	21	1
2	0,56	46,54	2635,91	125,52
3	1,31	108,87	6121,86	291,52
4	1,33	110,53	6328,04	301,34
5	2,01	167,04	6291,38	299,59
6	2,02	167,87	6320,11	300,96
7	2,11	175,35	6388,49	304,21
8	2,66	221,06	6289,95	299,52
9	2,88	239,34	6296,19	299,82
10	3,65	303,33	6295,02	299,76

Berdasarkan Tabel 4.3 dapat dilihat bahwa pada pemberian arus yang berkisar antara 0 A hingga 3,65 A dan pemberian medan yang berkisar antara 0 mT hingga 303,33 mT menghasilkan intensitas berkisar antara 21 A/m hingga 6.295,02 A/m.

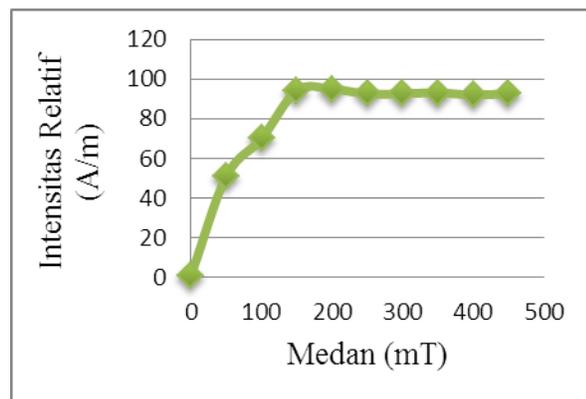
Hasil pengukuran IRM untuk Spesimen Sungku dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil pengukuran IRM

Nama Spesimen		Sungku		
No.	I (A)	Medan (mT)	Intensitas ( $\times 10^{-3}$ A/m)	intensitas relatif ( $\times 10^{-3}$ A/m)
1	0	0	97	1
2	0,56	46,54	3236,3	33,36
3	1,31	108,87	7046,02	72,64
4	1,33	110,53	6943,67	71,58
5	2,01	167,04	7032,22	72,50
6	2,02	167,87	6845,00	70,57
7	2,11	175,35	7084,43	73,04
8	2,66	221,06	7011,75	72,29
9	2,88	239,34	6824,99	70,36
10	3,65	303,33	7037,97	72,56

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa pada pemberian arus yang berkisar antara 0 A hingga 3,65 A dan pemberian medan yang berkisar antara 0 mT hingga 303,33 mT menghasilkan intensitas berkisar antara 97 A/m hingga 7.037,97 A/m.

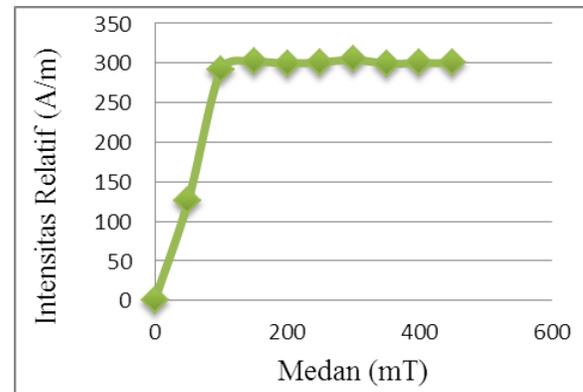
Dalam penentuan jenis mineral magnetik, data medan magnetik dan intensitas relatif dihubungkan dalam grafik untuk melihat ketercapaian saturasi pada setiap sampel seperti yang terlihat pada Gambar 2 di bawah ini :



Gambar 2 Kurva Saturasi IRM Spesimen Nama

Berdasarkan gambar kurva saturasi IRM di atas, terlihat bahwa saturasi tercapai pada medan antara 150 mT hingga 300 mT.

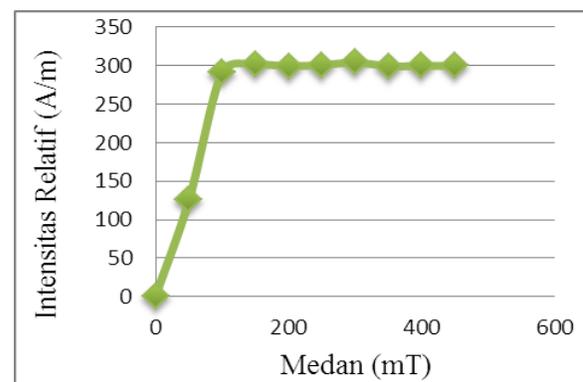
Hasil dari pengukuran IRM jika diplot antara medan dan intensitas relatifnya akan diperoleh hasil seperti pada Gambar 3 dibawah ini :



Gambar 3 Kurva Saturasi IRM Spesimen Lonca

Berdasarkan gambar kurva saturasi IRM di atas, terlihat bahwa saturasi tercapai pada medan antara 100 mT hingga 300 mT.

Hasil dari pengukuran IRM jika diplot antara medan dan intensitas relatifnya akan diperoleh hasil seperti pada Gambar 4 dibawah ini :

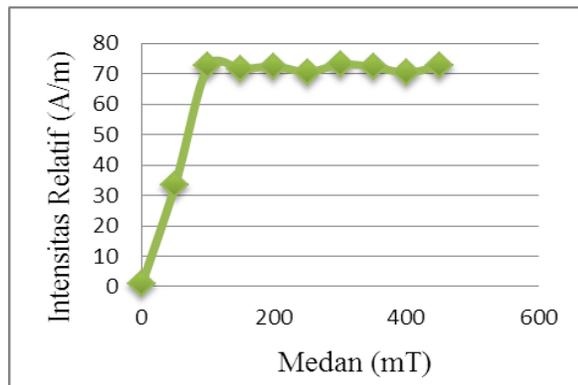


Gambar 4 Kurva Saturasi IRM Spesimen Toro

Berdasarkan gambar kurva saturasi IRM di atas, terlihat bahwa saturasi tercapai pada medan antara 100 mT hingga 300 mT.

Hasil dari pengukuran IRM jika diplot antara medan dan intensitas relatifnya akan

diperoleh hasil seperti pada Gambar 5 dibawah ini :



Gambar 5 Kurva Saturasi IRM Spesimen Sungku

Berdasarkan gambar kurva saturasi IRM di atas, terlihat bahwa saturasi tercapai pada medan antara 100 mT hingga 300 mT.

Nilai intensitas magnetik remanen dalam semua grafik pengukuran IRM untuk masing-masing sampel yang diteliti telah mengalami normalisasi dengan cara membagi masing-masing nilai intensitas magnetik remanen pada setiap parameter pengukuran terhadap nilai intensitas magnetik remanen yang paling besar. Normalisasi ini dilakukan dengan tujuan untuk memudahkan pembuatan gambar grafik pengukuran IRM untuk masing-masing sampel (Sudarningsih, dkk, 2013).

Berdasarkan kurva saturasi IRM pada Spesimen Namo, Lonca, Toro dan Sungku diketahui bahwa nilai medan saturasi pada penelitian ini adalah sama yaitu  $\leq 300$  mT. Perilaku mineral magnetik dengan harga saturasi rendah ini mengindikasikan koersifitas magnetik yang rendah. Rendahnya nilai saturasi dan koersifitas ini menunjukkan bahwa mineral pembawa sifat magnetik pada keempat sampel tersebut termasuk dalam jenis mineral *Magnetite* ( $Fe_3O_4$ ). Mineral *Magnetite* merupakan bijih besi yang paling sering ditambang. *Magnetite* juga sangat mudah untuk diidentifikasi, sebab mineral

jenis ini merupakan salah satu dari beberapa mineral yang tertarik pada magnet. Mineral magnetik jenis ini adalah salah satu mineral ekonomis yang biasanya digunakan dalam industri logam berat seperti besi dan baja.

Serupa dengan hasil penelitian Butler (1998), bahwa mineral *Magnetite* mencapai saturasi pada medan 100 mT hingga 300 mT, sedangkan mineral *Hematite* tersaturasi pada medan sekitar 800 mT atau dapat pula dikatakan bahwa mineral *Hematite* sulit untuk mencapai saturasi. Dalam diagram segitiga Ternary, jika dilihat dari segi kemagnetan biasanya hanya dua deret komposisi (*solid solution series*) yang benar-benar penting (Tauxe, 2002). Kedua deret tersebut adalah deret *Titanomagnetite* ( $Fe_{3-x}Ti_xO_4$ ) yang terdiri dari larutan padat atau komposisi yang berbeda dari bahan *Magnetite* ( $Fe_3O_4$ ) dengan kisaran kisaran  $x = 0,0$  dan *ulvospinel* ( $Fe_2TiO_4$ ) dengan kisaran  $x = 1,0$ . Serta *Titanohematite* ( $Fe_{2-x}Ti_xO_3$ ) yang mempunyai kisaran *ilmitite* ( $x = 1$ ) dan *Hematite* ( $x = 0$ ). *Magnetite* ( $Fe_3O_4$ ) dan *Hematite* ( $Fe_2O_3$ ) adalah mineral dari keluarga oksida besi-titanium yang paling dominan dalam sampel batuan (Tauxe, 2002).

Menurut Purnama, (2016) karakter khusus *magnetite* merupakan mineral bertekstur kubus, berwarna gelap dan memiliki sifat magnetik yang kuat dengan saturasi magnetisasi beragam kecuali besi. Sedangkan *ulvospinel* merupakan anggota terakhir dari *titanomagnetite* yang bersifat ferimagnetik lemah dengan *Temperature Neel* 120 K. Pada temperature ruang, *ulvospinel* merupakan paramagnetik dan dapat mengoksidasi *ilmenite* dan *magnetite*. Selain itu, menurut Purnama (2016) Hasil pengukuran IRM ini memperlihatkan hubungan yang linear antara medan magnet dan arus. Dari hasil pengukuran didapatkan hubungan antara arus dan medan magnet yang diberikan, menurut hubungan :  $M = 80,26i + 12,03$  dimana  $i$  merupakan besarnya arus (dalam Ampere)

dan M merupakan besarnya medan yang dihasilkan (dalam mT).

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran yang terlihat pada kurva saturasi pemberian IRM terhadap spesimen Namo, Lonca, Toro, dan Sungku, mengindikasikan bahwa mineral magnetik yang terkandung pada semua spesimen yang diteliti adalah mineral magnetik jenis *Magnetite*. Hal ini disebabkan karena proses saturasinya terjadi lebih cepat, dibandingkan dengan mineral magnetik jenis *hematite*, dimana keempat sampel tersebut mulai tersaturasi pada medan antara 100 mT hingga 300 mT.

#### Daftar Pustaka

- Bijaksana, S. (2002). *Analisa Mineral Magnetik dalam Masalah Lingkungan, Jurnal Geofisika*. Vol 1. Hlm. 19-27 : ITB
- Butler, R.F. (1998). *Paleomagnetism, Magnetic Domain To Geologic Terranes*. Blackwell.
- Fisher, R. V and Schmincke, H. U. *Pyroclastic Rocks*. Berlin. Spinger-Verlag.
- Hunt, C. P. (1991). *Environmental Magnetism Workshop*. University of Minnesota.
- Kittel, C. (1996). *Introduction to Solid State Physics Seventh Edition*. New York: John Willey & Sons.
- Mufit, F., Fadhilah, H, Amir, S. Bijaksana. (2013). *Kaitan Sifat Magnetik Dengan Tingkat Kehitaman (Darkness) Pasir Besi di Pantai Masang Sumatera Barat. Jurnal Eksakta*. Vol.2 : ITB.
- Purnama, W. (2016). *Ishothermal Remanent Magnetization*. Jurnal Teknik Elektro, Komputer dan Informatika. Vol. 14 No. 1. Hal. 26-54: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Sandra. (2004). *Analisis Kelayakan Sampel Batuan Berdasarkan Nilai Anisotropi Suseptibilitas Dari Berbagai Daerah di Sulawesi Tengah Sebagai Bahan Kajian Paleomagnetik. Jurnal gravitasi*. Vol. 9 No.2 H. 35-42: UNTAD.
- Sesa, E. (2001). *Perancangan dan Pembuatan Hysteresis Loop Tracer Berbasis Pencuplik Berputar*. Tesis: ITB
- Sudarningsih, Siregar, S.S dan Ghofallena, W.H. (2013). *Penentuan Nilai Saturasi Magnetik Batuan Peridotit Asal Desa Awang Bangkal Barat Kabupaten Banjar Kalimantan Selatan*. Jurnal Fisika FLUX. Vol. 10 No.1. Hal 13-21 : UNLAM.
- Syafrina, P, Mahrizal, Amir, H. (2013). *Analisis Jenis Mineral Magnetik Dari Polutan Kendaraan Bermotor Menggunakan Metode Ishothermal Remanent Magnetization (IRM) di Kota Padang. Journal Pillar Of Physics*. Vol. 1. H.09-15: Universitas Negeri Padang.
- Tauxe, L. (2000). *Rock and Paleomanetism*. Scrips Institution of Oceanography. Cambridge University Press. Cambridge.

#### Ucapan Terimakasih

Terimakasih sebesar-besarnya untuk : Bapak Moh. Rusli dan Ibu Kartika yang telah mengukur sampel batuan di Lab. ITB, Tim yang membantu dalam pengambilan sampel batuan, Dosen-dosen dan Staf Jurusan Fisika, Angkatan 2011 dan Angkatan 2001-2017.

