

**PENGARUH WAKTU MILLING TERHADAP STRUKTUR KRISTAL
MAGNETIT (Fe_3O_4) BERBAHAN MINERAL VULKANIK DARI GUNUNG
MARAPI SUMATERA BARAT**

Maya Sri Anggraini.M¹⁾, Ramli¹⁾, Hidayati¹⁾

¹FMIPA, Universitas Negeri Padang

email: mayang.maryan@gmail.com

Abstract

Indonesia is one of the archipelago countries rich in the abundant natural resources potential one of them is iron sand. Iron sand can be found in Mount Marapi located in West Sumatera Indonesia. Gunung is classified as the active volcano in Sumatra located in the district Agam. The existence of iron sand is only in the exploitation in the raw state (raw material) so it has a high selling value that is by knowing its characteristics. The characteristics of iron sand based on Crystal structure, the size of crystals and know the magnetite elements of iron sand that exist in the region Agam regency. This research is a type of experimental research conducted in the Materials Laboratory of Physics Department. In this study variations were performed on milling time. X-Ray Diffraction (XRD) is used to identify the phase, structure and size of crystals. X-Ray Fluorescence (XRF) is used to obtain data of magnetite content in iron basest before and after milling. In this study obtained XRD test data that due to increased time milling phase changes from hematite to magnetite. The increasing variation in milling time causes the change of magnetite structure from cubic structure to cubic structure. Increased milling time, magnetite crystal size increases up to a certain milling time and then decreases. As in the magnetite crystals before dimilling, 1.08 nm, after dimilling with 25 hours, 30 hours, 35 hours and 40 hours variations were obtained at 1.14 nm, 1.20 nm, 1.23 nm and 1.61 nm respectively. Furthermore, there was a decrease in the variation of mill-ing time of 45 hours obtained by 1.29 nm..

Kata kunci: X-Ray Diffraction (XRD), X-Ray Fluorescence (XRF), phase Magnetite , Crystal Structure , Crystal Size and Variation Of Milling Time.

PENDAHULUAN

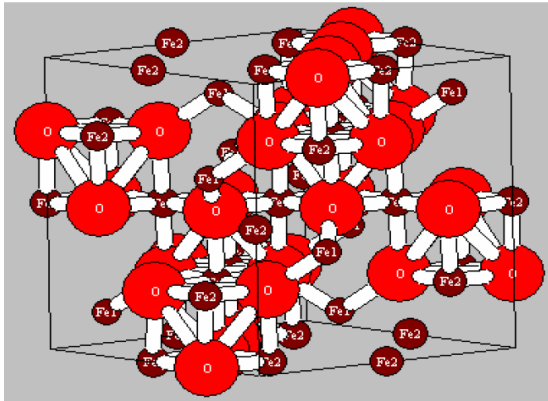
Pasir besi merupakan salah satu endapan besi yang selain telah dimanfaatkan sebagai bahan campuran dalam industri semen juga mempunyai prospek untuk dikembangkan sebagai bahan baku besi baja dimana bahan alam ini yang sangat banyak di Indonesia. sampai saat ini *eksplorasi* pasir besi sudah banyak dilakukan baik oleh pihak swasta maupun pemerintah ,namun belum ada pedoman baku eksplorasi pasir besi yang bisa dipakai sebagai acuan teknis, terutama dalam penyusunan laporan hasil eksplorasi pasir besi. Pedoman teknis eksplorasi pasir besi dapat dipakai sebagai bahan acuan bagi pemerintah dan swasta dalam melakukan eksplorasi endapan pasir

besi agar ada keseragaman dalam melakukan eksplorasi dan pelaporan.(pusat sumber daya geologi,2005).

Pasir besi merupakan mineral yang terbentuk dari unsur besi yang bercampur dengan unsur lainnya seperti, titanium oksida, nikel, silikat, kwarsa, vanadium dan lain- lainnya. Kandungan disetiap lokassi berbeda dengan daerah lainnya. misalnya di Sulawesi banyak mengandung nikel, namun di cilacap mengandung titanium dioksida atau TiO_2 . Kandungan unsur besi Fe di pasir besi hematit biasanya mempunyai kandungan berkisar 57% sedang logam lain sekitar 43% dan pengotor lainnya. Pasir besi titan (mengandung oksida besi Fe_3O_4) pasir besi spat (Fe_2CO_3) atau yang disebut

speroseiderit yang mengandung 40% besi bercampur dengan tanah liat. Namun kebanyakan di Jawa pasir besi berjenis *Hematit* atau Fe_2O_3 paling banyak mengandung pasir besi 47% (Sulistyo, 2015).

Secara detail struktur Fe_3O_4 ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur spinel Fe_3O_4 berdasarkan ICSD dengan kode 30860 (Fuad dkk, 2010).

Penelitian nanopartikel terus berkembang dan menjadi fokus para peneliti dalam beberapa tahun terakhir. Menurut Abdullah (2010), menyatakan bahwa partikel dalam ukuran nanometer memiliki luas permukaan yang besar. Ukuran partikel yang diperkecil membuat produk memiliki sifat yang berbeda sehingga dapat meningkatkan kualitas dari material. Salah satu jenis mineral yang menjadi perhatian para peneliti adalah nanopartikel magnetit (Fe_3O_4). Hal ini dikarenakan magnetit memiliki sifat magnetis, yaitu sifat yang dapat ditarik oleh medan magnet dan sifat inilah yang berguna bagi kehidupan manusia dalam berbagai bidang (R.Sari, 2012).

Sifat nanopartikel magnetik sebagian besar bergantung pada ukuran butir dari nanopartikel magnetik. Ukuran partikel yang relatif kecil menyebabkan material tersebut sangat reaktif dengan medan magnet luar, namun jika medan magnet luar pengaruhnya dihilangkan pengaruhnya secara perlahan-lahan maka sifatnya akan sangat mirip

dengan material paramagnetik. Hasil pengukuran *vibrating sample magnetometer* (VSM) menunjukkan semakin kecil ukuran kristal (*crystallite size*) nanopartikel Fe_3O_4 maka nilai respon magnetik semakin tinggi. Dan semakin kecil diameter butirnya maka nilai koertivitas nanopartikel tersebut semakin menurun (Masarrang, 2015).

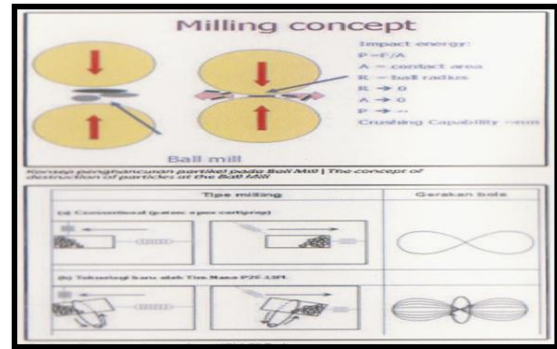
Partikel Fe_3O_4 berukuran nano memiliki sifat Ferimagnetik serta peluang aplikasi yang luas. Pengaplikasian Fe_3O_4 (*magnetit*) berukuran nano merupakan alternatif yang diperlukan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku bidang industri yang dalam perkembangan dan kebutuhannya yang kian meningkat. Magnetit berukuran nano memiliki aplikasi seperti : sebagai Katalis, *Energy storage*, *magnetic data storage*, *fero fluida*, maupun dalam diagnosis medis (Sholihah, 2010). Dengan demikian selama beberapa tahun terakhir banyak perhatian yang diberikan teknologi nano. Nanopartikel magnetit Fe_3O_4 dapat disintesis dengan metode *Kopresipitasi* berbasis magnetik. Penelitian tentang Nanopartikel akan memberi peluang yang lebih besar kepada pengaplikasian teknologi.

Pengaplikasian Fe_3O_4 berukuran nano merupakan alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan baku bidang industri. Untuk mengoptimalkan pengolahan pada mineral magnetit alam (Fe_3O_4), maka penulis akan melakukan penelitian tentang pengaruh waktu *milling* dari mineral magnetit (Fe_3O_4) agar dapat meningkatkan nilai jual dan kualitasnya. Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kualitasnya adalah dengan cara memberikan perlakuan seperti memvariasikan waktu *milling* pada mineral magnetit yang berasal dari Gunung Marapi. Pada penelitian yang dilakukan Mutlu, dkk (2010) dan Carvalho, dkk (2013) dengan menggunakan metode *milling* yang memvariasikan waktu didapatkan kemurnian sampel magnetit yang

tinggi serta ukuran partikel menurun seiring dengan waktu penggilingan. Dalam penelitian ini alat yang digunakan untuk menjadikan magnetit (Fe_3O_4) berukuran nano adalah *High Energy Milling Ellipse 3D* (HEM-E3D). Dengan alat ini akan mempermudah untuk menjadikan serbuk magnetit dalam bentuk nanopartikel.

HEM E3D merupakan mesin untuk menghasilkan nanopartikel yang didesain dan dikembangkan para pakar nanoteknologi Indonesia melalui berbagai inovasi, test dan pengalaman. Desain *high energy ballmill* yang bergerak *ellips* secara tiga dimensi dapat meningkatkan kinerjanya menjadi lebih efisien. *High energy ballmill* ini memiliki pola gerakan ellips tiga dimensi yang mengoptimalkan tumpukan bola-bola dalam jar sehingga meningkatkan efektifitas penghancuran dan mempersingkat waktu milling. Sesuai untuk pembuatan fungsional nanomaterial dalam waktu relative singkat. Kompleksitas gerakan mesin ini sangat ideal untuk skala penelitian pada laboratorium institusi riset/ akademis hingga R&D pada industri.

Prinsip kerja *HEM E3D* pada dasarnya adalah penghancuran yang terjadi karena penggerusan bubuk yang terdapat di permukaan bola pada saat berbenturan dengan bola lain sehingga besar dampak yang diberikan oleh bola adalah sebesar gaya benturan persatuan luas permukaan bola yang bertumbukan. Bola yang luas area benturannya semakin kecil, akan memberikan dampak yang semakin besar, sehingga kemampuan penghancuran menguat dengan pengecilan area sentuhan. Oleh karena itu, bubuk nanopartikel lebih mudah dibentuk dengan menggunakan bola-bola yang lebih kecil. Disamping itu, frekuensi benturan merupakan faktor pemercepat penghancuran. Menurut Suryanarayana (2010) HEM merupakan alat penggiling bola sederhana dan tersusun rapi yang mampu menghancurkan sampel pada range 10-20 gr.



Gambar 2. Konsep Penghancuran Partikel

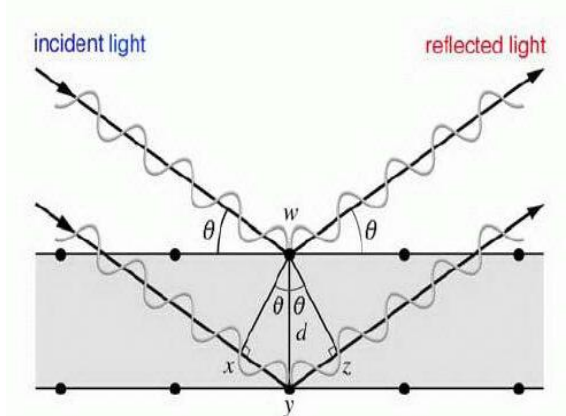
Keunggulan HEM E3D (1) dapat digunakan untuk melakukan pencampuran homogenisasi (keseragaman), mechano kimia (membuat reaksi mekanik-kimia), penggilingan mekanik, mekanik paduan dan emulasi. jadi akan dihasilkan nanopartikel dengan cara penghalusan material hingga skala nanometer. (2) Laju penghancuran yang tinggi, pengkondisian system milling yang mudah sehingga mekanisme proses amorfisasi dan pembentukan nanopartikel lebih cepat dan efektif. (3) Menjadi peralatan untuk membuat nano powder dengan harga murah dan meningkatkan efisiensinya. (4) Terdapat sistem elektronik terpadu meliputi sistem pengendali motor, dan pengatur waktu (Nanotech Indonesia).

Pengujian tetang struktur Kristal menggunakan XRD. Alat ini sering digunakan untuk mengidentifikasi material kristalit maupun non-kristalit. Sebagai contoh untuk mengidentifikasi struktur kristalit (kualitatif) dan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar X.. Ada berbagai macam bentuk teknik pengukuran yang telah digunakan untuk mengetahui ukuran kristal seperti *transmission electron microscopy* (TEM), *scanning probe microscopy* (SPM), *scanning electron microscopy* (SEM), dan *x-ray diffraction* (XRD). Dibandingkan dengan alat-alat lainnya, XRD memiliki kelebihan yaitu dengan preparasi yang lebih sederhana dan informasi dari lebar setengah puncak dapat diketahui besar rata-rata dari

ukuran kristalit.

Tahapan kerja *X-ray diffraction* (XRD) terdiri dari empat tahap, yaitu: produksi, difraksi, deteksi dan interpretasi. Untuk dapat melakukan fungsinya, *X-ray diffraction* (XRD) dilengkapi oleh komponen-komponen penting seperti: tabung sinar-X, monochromator, detector dan lain-lain (reza, 2008).

Pada tahap produksi, elektron yang dihasilkan ketika *filamen* (katoda) dipanaskan akan dipercepat akibat perbedaan tegangan antara *filamen* (katoda) dan logam target (anoda) sehingga terjadi tumbukan dengan logam target. Tumbukan antara elektron yang dipercepat tersebut dengan logam target akan menghasilkan radiasi sinar-X yang akan keluar dari tabung sinar-X dan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji. Sinar X merupakan salah satu radiasi elektromagnetik yang mempunyai energi antara 200 eV-1MeV dengan panjang gelombang antara 0,5-2,5 Å. difraksi adalah gejala khusus dari hamburan, apabila gelombang yang terhambur berinterferensi menguatkan maka fasenya sama, hal ini terjadi jika gelombang mempunyai jarak lintasan yang sama atau berbeda sebesar kelipatan bulat panjang gelombang (ordenya sama) (hasan,2008)



Gambar 3. Difraksi Bidang Kisi radiasi sinar-X yang telah dihasilkan oleh tabung sinar-X akan berinteraksi dengan struktur kristal material yang diuji. Material yang akan dianalisis struktur

kristalnya harus berada dalam fasa padat karena dalam kondisi tersebut kedudukan atom-atomnya berada dalam susunan yang sangat teratur sehingga membentuk bidang-bidang kristal. Ketika suatu berkas sinar-X diarahkan pada bidang-bidang kristal tersebut, maka akan timbul pola-pola difraksi ketika sinar-X melewati celah-celah kecil diantara bidang-bidang kristal tersebut. Interferensi konstruktif tersebut terjadi sesuai dengan hukum bragg berikut:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \quad (1)$$

Dimana, n = urutan difraksi; λ = panjang gelombang sinar-X; d = jarak antara bidang kristal; dan θ = sudut difraksi. Pada Deteksi Interferensi konstruksi radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal material yang diuji, selanjutnya akan dideteksi oleh detektor. Agar detektor dapat mendeteksi interferensi konstruksi radiasi sinar-X hasil difraksi struktur kristal material yang diuji dengan tepat, maka posisinya harus berada tepat pada arah sudut pantul radiasi sinar-X tersebut. Sedangkan pada Interpretasi konstruktif radiasi sinar-X (gambar d) yang telah dideteksi oleh detektor selanjutnya akan diperkuat gelombangnya dengan menggunakan *amplifier*. Selanjutnya interferensi konstruktif radiasi sinar-X tersebut akan terbaca secara spektroskopi sebagai puncak-puncak grafik yang ditampilkan oleh layar komputer. Dengan menganalisis puncak-puncak grafik tersebut struktur kristal suatu material dapat diketahui.

METODE PENELITIAN

Sampel yang digunakan yaitu *mineral vulkanik* dari Gunung Marapi yang terletak di Sumatera Barat Indonesia tepatnya di kawasan kabupaten Agam memiliki ketinggian 2.891 m, secara Secara *geografis koordinat* berada pada posisi 0°22'50'' *Lintang Utara* dan 100°28'24'' *Bujur Timur*. Perjalanan ke puncak dilakukan dari lereng utara atau dari lereng selatan dengan

waktu tempuh lebih kurang enam jam (Kriswati,2010).kemudian digerus sampai halus dan ditarik menggunakan magnet permanen sebanyak 30 kali, ini dilakukan untuk memisahkan antara pasir yang mengandung besi dengan bahan-bahan campuran lainnya yang tidak mengandung unsur besi. selanjutnya dicuci menggunakan aquadest. Setelah dicuci, pasir besi dikeringkan terlebih dahulu dan ditarik kembali menggunakan magnet permanen sebanyak 20 kali.

Sampel yang telah dimurnikan, kemudian ditimbang menggunakan timbangan digital dengan perbandingan antara sampel dan bola milling sebanyak 1 : 10 (6 gram pasir besi dan bola *milling* sebanyak 60 gram). Selanjutnya sampel tersebut *dimilling* menggunakan alat HEM-E3D dengan variasi waktu 25 jam,30 jam, 35 jam, 40 jam dan 45 jam Dengan menset waktu *time OFF* dan *time ON* dengan lama waktu *off* atau waktu istirahat selama 1 menit dan waktu hidup atau waktu jalan selama 30 detik.Sampel yang telah *dimilling* selanjutnya dicuci menggunakan aquadest untuk membersihkan atau menghilangkan unsur pengotor kemudian dikeringkan. selanjutnya sampel yang telah kering disaring. Setelah itu ditarik kembali dengan menggunakan magnet permanen.selanjutnya sampel dikarakterisasi meggunakan struktur Kristalnya.

Berdasarkan data karakterisasi menggunakan XRD dilanjutkan dengan menganalisa struktur Kristal dan ukuran Kristal dari nano partikel magnetit. Langkah-langkah yang ditempuh dalam analisis data adalah sebagai berikut : (1) Berdasarkan harga sudut 2θ dan I yang diperoleh dalam karakterisasi menggunakan XRD dianalisis struktur Kristal dari magnetit.(2) Berdasarkan nilai FWHM untuk setiap puncak pada grafik yang diperoleh dalam karakterisasi menggunakan XRD, maka dapat dihitung ukuran butir

Kristal magnetit menggunakan persamaan scherrer.

$$D = K \frac{\lambda}{B \cos \theta}$$

Dimana D adalah ukuran butir Kristal (Å), K adalah konstanta dengan nilai 0,9, λ adalah panjang gelombang sinar-X (Å) nilainya 1,541874 Å untuk Cu. B adalah lebar setengah puncak maksimum FWHM (rad), dan θ adalah sudut bragg(°).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan *milling* sampel *magnetit* menggunakan HEM-E 3D dengan variasi waktu *milling* yaitu 25 jam, 30 jam, 35 jam, 40 jam, dan 45 jam. Kemudian struktur dan ukuran kristal magnetit diidentifikasi menggunakan XRD. Pengujian dengan XRD bertujuan untuk mendapatkan struktur serta ukuran kristal dari masing-masing sampel. Pengujian XRD merupakan pengujian difraksi serbuk dengan menguji sampel serbuk hasil *milling*. Data yang didapatkan adalah struktur kristal yang meliputi parameter kisi (α , β , γ , a, b, dan c), grup ruang, sistem kristal untuk waktu *milling* 25 jam, 30 jam, 35 jam, 40 jam, dan 45 jam.

Pengaruh waktu milling terhadap perubahan Struktur Kristal Sampel adalah Data hasil pengukuran XRD yang telah dicocokkan dengan *database* diperoleh struktur kristal yang meliputi parameter kisi (α , β , γ , a, b, dan c), grup ruang, sistem kristal yang terdapat pada masing-masing sampel mineral vulkanik gunung merapi tersebut. Setelah dilakukan pencocokan data dengan *database* pada Lampiran 3, maka diperoleh struktur kristal dari setiap sampel secara langsung. Waktu *milling* yang digunakan dapat mempengaruhi struktur kristal dari sampel tersebut.

Pada saat sampel sebelum dilakukan proses milling, sampel memiliki 3 fasa yaitu magnetite dengan struktur kristal cubic, maghemite dengan struktur kristal

tetragonal, dan hematite dengan struktur kristal rhombohedral. Setelah sampel di-milling selama 25 jam, sampel memiliki 2 fasa yaitu magnetite dan anorthite. Dimana struktur kristal magnetite pada waktu milling 25 jam berubah menjadi Orthorombic. Setelah itu struktur kristal magnetite berubah kembali menjadi monoclinic ketika sampel di-milling selama 30 jam, 35 jam, 40 jam, dan 45 jam.

Hasil XRD sampel menunjukkan adanya penurunan dan pelebaran intensitas puncak dimana penurunan dan pelebaran puncak sampel pada penelitian ini diakibatkan karena ukuran butiran yang mengecil akibat adanya deformasi mekanis yang hebat ketika proses *milling* dilakukan. Dimana selama proses ini terjadi tumbukkan yang sangat hebat antara bola-bola *milling*, serbuk *sampel*, dan dinding *vial* yang terjadi terus menerus sehingga dari tumbukkan itu akan dihasilkan energi tumbukkan yang dapat memperkecil ukuran butiran. Dengan mengecilnya ukuran butiran sampel, maka data yang terbaca XRD akan menghasilkan puncak yang menurun dan melebar.

Dari hasil pengukuran tersebut didapatkan hasil dari ukuran kristal sampel. Untuk waktu milling selama 25 jam, 30 jam, 35 jam, dan 40 jam ukuran kristal sampel terjadi peningkatan ukuran. Hal ini terjadi karena sampel mengalami *agglomeration* (penggumpalan) yang disebabkan karena peningkatan ukuran butir pada saat proses *milling* dilakukan. Pemberian waktu *milling* yang lama akan menyebabkan temperatur *vial* meningkat karena kecepatan perputaran *ball mill* yang terjadi terus menerus maka energi tumbukkan yang dihasilkan semakin besar sehingga temperatur yang dihasilkan juga semakin tinggi. Dengan meningkatnya temperatur di dalam *vial* maka terjadi peningkatan energi thermal yang menyebabkan pertumbuhan kristal,

sehingga inti tumbuh dengan menarik atom-atom lain atau berdifusi dari inti lain yang belum sempat tumbuh untuk mengisi tempat kosong pada kisi yang akan dibentuk. Dengan demikian, semakin bertambahnya energi thermal pertumbuhan kristal berjalan terus hingga terjadi transformasi akhir kristal (Rizky dan Rindang, 2013).

Pada saat sampel dilakukan milling selama 45 jam terjadi penurunan ukuran kristal. Ini disebabkan karena serbuk sampel mengalami gaya tumbukan dengan bola-bola baja yang memiliki energi yang kuat sehingga serbuk *sampel* tersebut menjadi tergerus kembali dan menjadi berukuran kecil. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan waktu *milling* akan menghasilkan reduksi ukuran partikel dan menghasilkan distribusi ukuran partikel yang semakin kecil. Hal ini sesuai dengan tujuan pengecilan ukuran butir serbuk dengan metode *milling*.

Pengaruh waktu milling terhadap perubahan ukuran Kristal nanopartikel magnetit dari mineral vulkanik Gunung Marapi Hasil karakterisasi sampel menggunakan XRD didapatkan hubungan 2θ dengan intensitas. Setiap variasi waktu *milling* terlihat ada puncak-puncak yang muncul dan menghilang dan juga terlihat terjadinya penurunan intensitas. Puncak yang menghilang dikarenakan atom-atom pada fasa lain tidak ada sehingga tidak ada hamburan atom oleh struktur tertentu. Intensitas yang terukur pada XRD merupakan hasil dari intensitas hamburan oleh struktur atom tertentu. Besarnya intensitas relatif dari deretan puncak-puncak tersebut bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada, dan distribusinya di dalam sel satuan pada material tersebut (Istiyono, 1969). Penurunan intensitas dikarenakan adanya perubahan ukuran kristal, perubahan ini juga mengakibatkan struktur kristal dari unsur pembentuk berubah. Tabel merupakan hasil dari

penelitian yang penulis lakukan terhadap sampel mineral vulkanik gunung Marapi.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: (1)Pengaruh waktu milling terhadap perubahan struktur Kristal magnetite terlihat pada saat waktu milling 25 jam dan 30 jam yaitu dari system Kristal kubik menjadi orthorombik dan monoclinic. Selanjutnya system Kristal magnetite tetap monoclinic pada saat waktu milling 35 jam, 40 jam, dan 45 jam. (2)Pengaruh waktu milling terhadap perubahan ukuran Kristal magnetite yaitu ukuran kristalnya meningkat ketika sampel dimilling selama 25 jam, 30 jam, 35 jam, dan 40 jam menjadi sebesar 1,14 nm; 1,20 nm; 1,23 nm; dan 1,61 nm. Kemudian ukuran Kristal magnetite kembali mengecil ketika sampel dimilling selama 45 jam yaitu menjadi sebesar 1,29 nm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kemristekdikti yang telah mendanai penelitian ini melalui Proyek Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi Tahun Anggaran 2017 dengan judul ‘Fungsionalisasi Magnetit yang disintesis dari Mineral Alam Sumatera Barat, analisis laboratorium jurusan fisika Universitas Negeri Padang, analisis laboratorium dan semua pihak yang telah membantu penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulloh, fuad; Renik, Wulansari; Ahmad, Taufiq; Sunaryono. 2010. “Sintesa dan Karakterisasi sifat Struktur Nano Partikel $Fe_3-xMnxO_4$ dengan Metode Kopersipasi”. Universitas Negeri Malang: Malang.
- Ansori, dkk.2011 “Distribusi Mineralogi Pasir Besi pada Jalur Pantai Selatan Kabupaten Kutoarjo”. Peneliti Madya. Pusat Geoteknologi-LIPI.
- De Carvalho, J, F; S, N, De Medeiros; M, A, Morales; A, L, Dantas; A, S, Carrico. 2013. *Synthesis of Magnetite Nanoparticles by High Energy Ball Milling* : Brazil
- Dwi, Pujiastuti; Andikel, Permata; Badrul, Mustafa.2009. “Studi Kegempaan vulkanik Gunung Marapi Sumatera Barat”. Jurusan Fisika FMIPA: Universitas Andalas.
- Febie, Angelia Perdana._. Sintesis dan Karakterisasi Partikel Nano Fe_3O_4 dengan Template PEG-1000”. ITS : Surabaya.
- Handayani, A., dkk. 2007. Pengamatan Struktur mikro dengan Mikroskop Optik dan *Scanning Electron Microscope* (SEM-EDAX). Pusdiklat. Jakarta. 21 – 31 Mei 2007.
- Hasan. 2008. “Studi Sifat Magnetik Alloy $Fe_{97-x}Si_3Al_x$ ($x=4.5$ dan 6% At) “. FMIPA :UI.
- Irvan, M. 2008. Mineralogi Magnetik Lumpur Sidoarjo. ITB : Bandung (Tesis). www.merdeka.com (didownload tanggal 20 Desember 2016).
- Jonal, Lia. 2014. *Pengaruh Frekuensi Gelombang Ultrasonik Terhadap Struktur Kristal Dan Sifat Magnet Nano Partikel Magnetit (Fe_3O_4)*. Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga : Yogyakarta.
- Kriswati, E ; Y, E, Pamitro; A, Basuki. 2010. “Mekanisme Gempa Vulkanik Gunung Talang Pasca Gempa Tektonik Mentawai tahun 2007-2009, Sumatra Barat”. *Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana geologi, Badan Geologi*: Bandung.
- Lalang. 2015.*laju pertumbuhan linear krang porites lutea menggunakan sinar x dipulau*

- tunda.kabupaten.Serang.Profinsi Banten.Bogor:IPB.
- Masarrang, Adriany, Dkk. 2015. *Sintesis Fe_3O_4 (Magnetite) Menggunakan Metode Kopresipitasi dan Karakterisasi Sifat Strukturnya dengan Memvariasikan Suhu Sintesis*. Makassar : Universitas Hasanuddin.
- Mutlu, Musa, Can; Sadan, Ozcan; Abdullah Ceylan; Tezer, Firat. 2010. *Effect of Milling Time on the Synthesis of Magnetite Nanoparticles by Wet Milling* : Turkey.
- Nanotech Indonesia. 2014. *High Energy Milling E3D (HEM E3D)*. Banten : PUSPIPTEK Serpong.
- Parno. 2006. *Fisika Zat Padat*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Sholihah, Lia Kurnia. 2010. *Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano Fe_3O_4 yang Berasal dari Pasir Besi dan Fe_3O_4 Bahan Komersial (Aldrich)*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Smallman R.E.,R.J. Bishop. 2002. *Metalurgi fisik Modern dan Rekayasa Material*. Jakarta: Erlangga.
- Sri, susanti. 2014. “Kajian Struktur Kristal Nanopartikel Magnetite (Fe_3O_4) sebagai fungsi temperatur dari hasil Sintesis dengan menggunakan Metode Sonokimia”. Universitas Islam Sunan Kalijaga: Yogyakarta
- Sulistyo, Joko Suryono; Aji, Wiyoko. 2015. “Peleburan tradisional Pasir Besi Bengawan Solo dan Pasir Besi Merapi untuk Bahan Baku Besi Keris dan Pamor Keris”. Penelitian Hibah Bersaing. Institut Seni Indonesia Surakarta.
- Perdana, Febie Angelia. 2010. *Sintesis dan Karakterisasi Partikel Nano Fe_3O_4 dengan Template PEG-1000*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Rahman, Reza. 2008. “Pengaruh Proses Pengeringan Anil dan Hidrotermal terhadap Kristalinitas Nanopartikel TiO_2 Hasil Proses Sol-Gel”. Fakultas Teknik: UI.
- R.Sari., dan K.Abraha.. Simulasi Respon Biosensor Berbasis Surface Plasmon Resonance (SPR) Terlapisi Nanopartikel Magnetik (Fe_3O_4) Untuk Deteksi DNA.Fisika. UGM. Yogyakarta. 2012.
- Teja, Aryn S. And Koh, Pei Yoong, “*Synthesis Properties and Applications of Magnetic Iron Oxide Nanoparticles*”, Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials”, xx:1-24. 2008.