

Penyerap Gelombang Mikro pada X-Band Berbahan Magnetit (Fe_3O_4) yang Dibuat dengan Metode Penggilingan

Wahyuni Lestari dan Mashuri

Jurusan Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: mashuri@physiscs.its.ac.id

Abstrak— Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh proses penggilingan (*milling*) terhadap ukuran kristal, sifat kemagnetan dan penyerapan gelombang mikro pada bahan magnetit yang berasal dari pasir besi Lumajang yang telah diekstraksi menggunakan magnet permanen. Proses penggilingan dilakukan dengan mencampurkan magnetit, alkohol sebagai pelarut polar dan bola zircon ke dalam *jar Planetary Ball Mill* dengan perbandingan masing-masing 1:5:5/3 dan digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF), Difraktometer Sinar-X (XRD), *Scanning Electron Microscopy* (SEM), *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) dan *Vector Network Analysis* (VNA). Analisa data XRD dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Match!, Rietica dan Material Analysis Using Diffraction (MAUD). Hasil perlakuan penggilingan dengan kecepatan 200 rpm dalam waktu 4 jam menunjukkan adanya perubahan ukuran butir, bentuk butir dan ukuran kristal yang semakin berkurang atau mengecil dengan bentuk yang pipih dan homogen. Ukuran kristal yang mengecil mempengaruhi sifat kemagnetan dan penyerapan gelombang mikro karena banyaknya dipol magnetik dan pembatas domain serta luas permukaan yang semakin lebar. Ukuran kristalin terkecil sebesar 77 nm untuk sampel dengan perlakuan kecepatan penggilingan sebesar 200 rpm selama 4 jam dengan nilai saturasi magnetik (Ms), remanensi magnetik (Mr) dan koersivitas (Hc) masing-masing sebesar 39,3 emu/gr, 16,7 emu/gr dan 0,054 T. Sedangkan penyerapan gelombang mikro pada frekuensi X-Band sebesar -9,27 dB pada frekuensi maksimum 7,49 GHz.

Kata Kunci— magnetit, milling, penyerap gelombang mikro, sifat magnetik, ukuran kristal.

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi material dalam dunia sains dan teknologi saat ini adalah pengembangan material absorber diantaranya penyerapan radar gelombang mikro serta perlindungan bahan dari gangguan gelombang elektromagnetik atau yang biasa disebut dengan *Electromagnetic Interference* (EMI) yang mampu merusak komponen, fungsi dari aplikasi elektronik serta mengganggu kesehatan tubuh manusia [1]. Material absorber ini banyak diaplikasikan sebagai bahan penyerap gelombang radar atau *Radar Absorber Material* (RAM) karena bersifat meredam pantulan atau menyerap gelombang mikro sehingga mampu menyamarkan kendaraan atau struktur dari radar yang dipantulkan, sehingga sangat bagus bila dilapiskan pada badan pesawat, kapal selam dan banyak alat dalam bidang militer agar tidak mampu terdeteksi oleh radar yang memancarkan gelombang radar. Dengan demikian sangat

berguna dalam pengembangan teknologi pertahanan Negara. Material absorber tersebut harus mengandung bahan yang bersifat magnetik untuk penyerapan yang optimal [2]. Material magnetik merupakan material yang sangat kompleks karena dapat diaplikasikan dalam berbagai kriteria seperti sifat listrik, magnetik dan optik [3]. Salah satu bahan magnetik tersebut antara lain material magnetit (Fe_3O_4) yang berasal dari pasir besi [4].

Pasir besi merupakan pasir yang kaya akan kandungan besi (Fe) yang umumnya dalam keadaan teroksidasi dan membentuk besi oksida. Kandungan bahan magnetik terbesar dari pasir besi adalah magnetit (Fe_3O_4). Adapun salah satu pasir besi yang banyak mengandung kadar Fe dan magnetit (Fe_3O_4) yang cukup tinggi dan terbaik di Indonesia adalah pasir besi Lumajang, selain harganya yang cukup murah dan mudah didapat di sepanjang pesisir sungai di daerah Lumajang maupun di toko material bangunan. Sehingga pasir besi Lumajang ini banyak digunakan untuk mendapatkan kandungan Fe_3O_4 yang cukup banyak dengan sifat kemagnetan yang tinggi dan mampu digunakan sebagai bahan penyerap gelombang mikro [5].

Magnetit (Fe_3O_4) atau fasa *magnetite* (Fe_3O_4) merupakan salah satu material yang memiliki sifat magnetik yang tinggi, kebanyakan digunakan sebagai bahan dasar penyerap gelombang mikro yang baik [6]. Magnetit memiliki fasa kubus dan mempunyai rumus kimia Fe_3O_4 atau sering ditulis dalam bentuk FeO , Fe_2O_3 dimana satu bagian adalah wustit (FeO) dan bagian lainnya adalah hematit (Fe_2O_3). Magnetit mempunyai struktur kristal spinel dengan sel unit kubik yang terdiri dari 32 ion oksigen, dimana celah-celahnya ditempati oleh ion Fe^{2+} dan ion Fe^{3+} . Delapan ion Fe^{3+} dalam tiap sel berada pada bagian tetrahedral (a), karena berlokasi di tengah sebuah tetrahedron yang keempat sudutnya ditempati ion oksigen. Sisanya delapan ion Fe^{3+} dan delapan ion Fe^{2+} berada pada bagian oktahedral (b), karena ion-ion oksigen disekitarnya menempati sudut-sudut sebuah oktahedron yang sudut-sudutnya ditempati oleh enam atom oksigen [7].

Banyak sekali penelitian yang telah dilakukan untuk menciptakan bahan penyerap gelombang mikro dengan bahan dasar magnetit, seperti pembentukan partikel magnetit berorde mikro dengan menggunakan teknologi mikronisasi yaitu *spray drying* dan *milling* yang cukup sederhana menurut konsep meskipun memerlukan energi yang besar dan menghasilkan distribusi ukuran partikel yang luas [8] dan pembentukan magnetit berorde nano serta dilakukan pembentukan material komposit dengan bahan polimer konduktif untuk penyerapan gelombang mikro yang cukup optimal [2]. Proses *milling* yaitu proses penggilingan suatu

material untuk mereduksi ukuran partikel sehingga menjadi lebih kecil [9]. Ukuran partikel magnetit mampu mempengaruhi sifat dari bahan magnetit dan penyerapan gelombang mikro [5].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyerapan gelombang mikro pada X-band bahan magnetit akibat dari proses penggilingan.

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, sampel berasal dari pasir besi Lumajang. Pasir besi diayak dan dibersihkan menggunakan aquades sebanyak 5 kali untuk memisahkan dari kerikil dan impuritas (pengotor) lain. Kemudian dikeringkan di bawah sinar matahari untuk menghindari kehilangan sifat magnetik dan dilanjutkan dengan ekstraksi menggunakan magnet permanen sebanyak 10 kali untuk memisahkan bahan magnetit (Fe_3O_4) dari bahan non magnetik hingga didapatkan pasir besi yang menempel kuat pada magnet. Lalu pasir hasil ekstraksi dicuci kembali dengan aquades dan dikeringkan. Karakterisasi serbuk hasil ekstraksi dilakukan dengan uji XRF untuk menentukan kandungan unsur dan uji difraksi sinar-X untuk memastikan bahwa bahan pasir besi tersebut mempunyai kandungan fasa Fe_3O_4 yang dominan.

Reduksi ukuran kristal magnetit (Fe_3O_4) dilakukan melalui proses penggilingan (*milling*). Serbuk magnetit (Fe_3O_4) ditimbang seberat 15 gram dengan neraca digital dan dicampur dengan alkohol dan bola zircon dengan perbandingan sampel : alkohol : bola zircon masing-masing sebesar 1:5/3:5 sehingga untuk sampel Fe_3O_4 seberat 15 gr dibutuhkan alkohol sebanyak 25 ml sebagai pelarut polar dan bola zircon seberat 75 gram atau sebanyak 25 bola dengan berat masing-masing 3 gram. Semua bahan digiling menggunakan *Planetary Ball Mill Fritsch Pulverisette 5* bertemperatur ruang (37°C) dengan kecepatan 20 rpm selama 4 jam. Hasil penggilingan dioven pada temperature 130°C untuk menghilangkan alkohol hingga kering dan dimortar hingga sampel berukuran kecil dan halus.

Karakterisasi komposisi fasa, ukuran kristal dan morfologi struktur mikro magnetit menggunakan uji difraksi sinar-X (XRD) dan *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Karakterisasi sifat kemagnetan dan penyerapan gelombang mikro pada X dan Ku-band masing-masing menggunakan *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM) dan *Vector Network Analysis* (VNA).

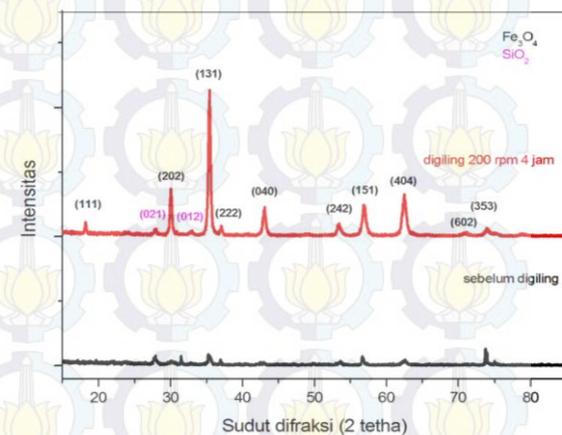
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Sintesis dan reduksi ukuran melalui proses penggilingan

Pasir besi Lumajang yang telah diayak, dibersihkan menggunakan aquades, dikeringkan dan diekstraksi menggunakan magnet permanen berulang-ulang didapatkan serbuk besi yang menempel kuat pada sisi magnet permanen yang mengindikasikan serbuk besi tersebut memiliki sifat kemagnetan yang tinggi atau kuat karena mampu tertarik kuat pada magnet permanen. Sampel hasil ekstraksi yang kemudian direduksi melalui proses penggilingan dengan kecepatan 200 rpm dalam waktu 4 jam didapatkan serbuk pasir besi yang ukurannya semakin kecil dan lebih halus bila dipegang dan dilihat menggunakan kasat mata.

Tabel 1.
Hasil uji XRF pasir besi (*iron sand*)

Senyawa	Komposisi (%)
Fe	$82,63 \pm 1,08$
Ti	$5,53 \pm 0,02$
Si	$3,40 \pm 0,10$
Al	$2,00 \pm 0,40$
Ca	$1,97 \pm 0,01$
Ni	$1,73 \pm 0,03$
V	$0,55 \pm 0,05$
Eu	$0,50 \pm 0,04$
Mn	$0,48 \pm 0,01$
K	$0,42 \pm 0,01$
Rb	$0,41 \pm 0,02$
Re	$0,30 \pm 0,02$
Br	$0,29 \pm 0,03$
Cu	$0,20 \pm 0,01$
Zn	$0,12 \pm 0,01$
P	$0,10 \pm 0,02$
Cr	$0,10 \pm 0,01$



Gambar. 1. Pola XRD (Cu-K α) untuk pasir besi sebelum digiling dan sesudah digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam

B. Hasil XRF dan difraksi sinar X (XRD)

Sampel magnetit hasil proses ekstraksi menggunakan magnet permanen diuji menggunakan XRF untuk mengetahui kandungan dan komposisi unsur dalam sampel tersebut. Berdasarkan hasil pengujian XRF pada Tabel 1, dapat diketahui bahwa terdapat banyak sekali unsur penyusun pasir besi Lumajang, salah satunya unsur besi (Fe) yang sangat dominan diantara unsur pembentuk lain yang teridentifikasi pada pengujian XRF tersebut, dengan komposisi Fe sebesar 82,63 wt% dengan impuritas (pengotor) seperti Ti, Si, Al, Ca, Ni, dsb yang jumlahnya sangat kecil. Unsur Fe di alam bebas ini akan membentuk senyawa magnetit (Fe_3O_4). Adanya impuritas ini masih bersifat normal dikarenakan sampel yang digunakan berasal dari bahan alam yang belum diberi perlakuan khusus seperti perlakuan fisika maupun kimia. Jumlah impuritas yang cukup sedikit dibandingkan dengan kandungan Fe tersebut bisa dikatakan bahwa sampel pasir besi yang digunakan memiliki kemurnian kadar Fe yang cukup tinggi.

Sedangkan pengujian menggunakan difraksi sinar X untuk sampel pasir besi sebelum dan sesudah digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam didapatkan hasil berupa pola-pola difraksi seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Terdapatnya puncak-puncak difraksi pada sudut difraksi (2θ) tersebut menunjukkan adanya fasa kristalin pada semua sampel pasir besi, sedangkan tinggi dan lebar puncak difraksi mengindikasikan ukuran kristal fasa pada sampel.

Dari Gambar 1 yang merupakan pola XRD sampel tanpa proses penggilingan dan yang mengalami proses penggilingan dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam, diketahui bahwasanya terdapat puncak-puncak difraksi pada sudut difraksi (2θ) dengan tiga puncak tertinggi berada pada sudut difraksi (2θ) sebesar 30° , 35° dan 62° . Untuk mengetahui puncak-puncak tersebut dimiliki oleh fasa apa dilakukan analisa kualitatif data XRD menggunakan software *Match!*. Berdasarkan analisa tersebut diketahui bahwasanya data puncak difraksi hasil pengujian XRD untuk kedua sampel memiliki kecocokan dengan fasa *Magnetite* (Fe_3O_4) dengan kode PDF #96-101-1085 dan SiO_2 dengan kode PDF #96-900-6291, sehingga dapat dikatakan kedua sampel tersebut memiliki fasa yang sama yaitu magnetit dan SiO_2 . Ciri khas dari sampel yang mempunyai fasa magnetit adalah mempunyai intensitas tertinggi berada pada sudut difraksi 2θ adalah 35° [10]. Dari hasil analisa *Match!* tersebut juga diketahui tidak adanya perubahan fasa magnetit akibat proses mekanik berupa penggilingan pada kecepatan yang tinggi dan waktu yang lama.

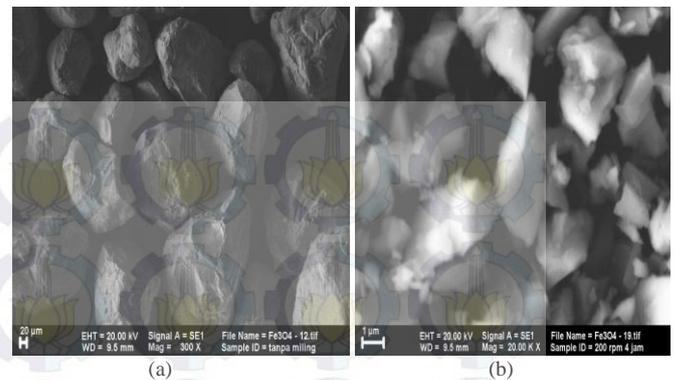
Analisa kuantitatif data XRD untuk mengetahui komposisi berat dari masing-masing fasa pada sampel menggunakan Rietica [11]. Dari hasil analisa Rietica ini didapatkan tingkat kecocokan antara model yang diberikan dengan data hasil XRD untuk sampel tanpa digiling dan digiling masing-masing sebesar 2,33 dan 1,88. Sehingga tingkat kecocokan kedua sampel dengan model dikatakan *accaptable* karena memiliki nilai kecocokan (*Great of Figure* atau *GoF*) di bawah angka 4 atau 4 % [11]. Sedangkan komposisi berat magnetit semakin bertambah ketika diberi perlakuan penggilingan dari 66,16 wt% menjadi 99,28 wt%. Hal ini dikarenakan terjadi reduksi ukuran partikel, kristalin dan ukuran butir yang semakin kecil sehingga menyebabkan jumlah atau komposisi magnetit semakin banyak daripada sebelum dilakukan proses penggilingan.

Ukuran kristal magnetit dapat ditentukan menggunakan perangkat lunak MAUD [12]. Pada analisa ukuran kristal menggunakan software MAUD ini diperoleh ukuran kristal rata-rata sampel magnetit untuk sampel tanpa digiling sebesar 100 nm sedangkan sampel yang digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam memiliki ukuran kristal rata-rata sebesar 77 nm. Reduksi ukuran kristal yang semakin kecil diakibatkan oleh proses penggilingan yang menimbulkan energi kinetik dari rotasi dan tumbukan oleh bola milling dan sampel pasir besi sangat besar seiring dengan kecepatan dan waktu yang lama sehingga tumbukan sering terjadi dan semakin cepat partikel tereduksi menjadi lebih kecil.

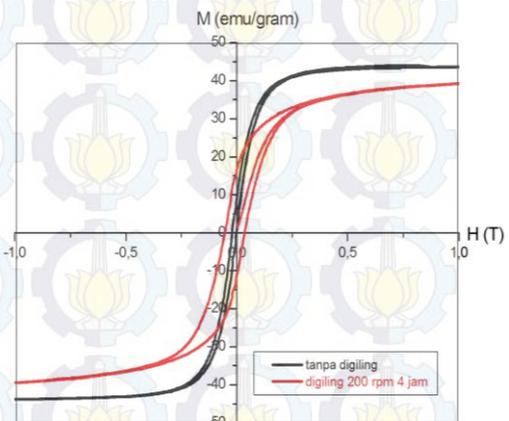
C. Hasil Mikrostruktur Menggunakan SEM

Hasil pengamatan mikrostruktur dari sampel magnetit terlihat pada Gambar 2 (a) dan (b). Gambar 2 (a) merupakan penampakan permukaan struktur mikro sampel magnetit (Fe_3O_4) hasil ekstraksi tanpa digiling dengan pengambilan gambar pada *working distance* 9,5 mm menghasilkan bentuk bulat, cenderung tidak beraturan dengan ukuran yang besar. Hal ini dikarenakan belum adanya proses perlakuan mekanik yang akan merubah bentuk dan ukuran sehingga masih berukuran bulat, besar dan kasar tidak beraturan.

Sedangkan Gambar 2 (b) merupakan penampakan struktur mikro magnetit yang digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam juga memiliki bentuk kubik, pipih namun masih banyak terbentuk *irregular shape* dengan ukuran yang



Gambar 2 Mikrostruktur serbuk magnetit (a) sebelum proses penggilingan dan (b) setelah proses penggilingan dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam



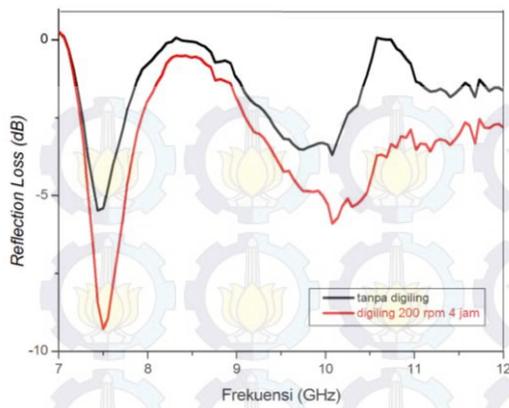
Gambar 3 Hasil VSM untuk sampel magnetit tanpa digiling dan digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam

relatif lebih kecil dari kedua sampel yang telah ditampilkan morfologinya. Bentuk butiran ini cenderung hampir sama atau homogen satu sama lainnya dan memiliki ukuran yang lebih kecil dari sampel tanpa penggilingan. Sehingga dapat diketahui bahwasanya dengan perlakuan mekanik yang besar dalam waktu yang lama akan menghasilkan ukuran butir yang lebih kecil dengan tingkat kehomogenan bentuk dan ukuran yang cukup tinggi akibat proses reduksi ukuran partikel pada proses penggilingan yang relatif merata.

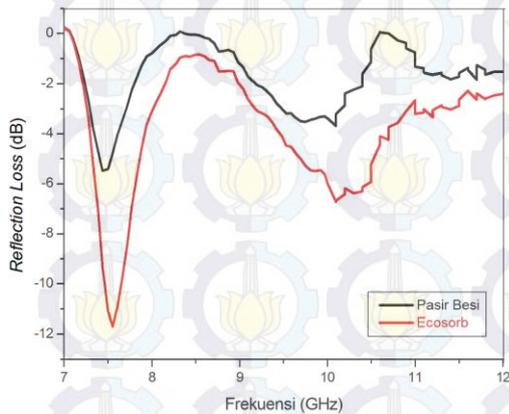
D. Hasil Kemagnetan Menggunakan VSM

Sifat kemagnetan bahan magnetit diuji menggunakan VSM. Dari hasil pengujian didapatkan kedua gambar kurva hysteresis tersebut (Gambar 3), untuk sampel pasir besi tanpa digiling merupakan jenis magnet lunak karena lebar dan luas kurva yang relatif kecil dan sempit. Begitu pula untuk sampel yang digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam juga menghasilkan magnet lunak namun dengan lebar dan luas kurva yang besar daripada sampel yang tidak digiling. Luasan kurva yang kecil tersebut menunjukkan besarnya energi yang diperlukan untuk magnetisasi. Sehingga bahan magnetit dengan sifat magnet lunak ini memerlukan energi yang kecil untuk proses magnetisasi. Sampel magnetit tanpa digiling (ukuran kristal 100 nm) memiliki nilai saturasi magnetik, remanen magnetik dan masing-masing sebesar 43,7 emu/gr, 9,71 emu/gr dan 0,019 T. Sedangkan pada sampel yang digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam yang mempunyai ukuran kristalin lebih kecil (77 nm) memiliki nilai M_s , M_r dan H_c berurutan sebesar 39,3 emu/gr, 16,70 emu/gr dan 0,054 T.

Nilai saturasi magnetik pada sampel yang digiling bernilai kecil dikarenakan ukuran kristal yang semakin kecil, jumlah



Gambar 4 Reflection Loss dalam fungsi frekuensi pada magnetit sebelum digiling dan sesudah digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam pada frekuensi X-band (7-12 GHz)



Gambar 5 Reflection Loss dalam fungsi frekuensi pada magnetit dan ecosorb pada frekuensi X-band (7-12 GHz)

domain magnetik dan batas/dinding domain semakin sedikit, sehingga jumlah momen magnetiknya semakin sedikit dan bahan bahan semakin mudah termagnetisasi [10]. Nilai koersivitas dipengaruhi oleh ukuran butir dan kristal, dimana ketika nilai ukuran kristal semakin besar maka medan koersivitasnya menurun, yang menunjukkan sifat magnetik bahan menurun akibat ketidakteraturan arah momen dipol magnetik yang tinggi begitu sebaliknya [13]. Sedangkan nilai magnetisasi remanen (M_r) yang semakin besar mengindikasikan semakin besar pula medan yang dibutuhkan untuk menghilangkan sisa magnetisasi dalam suatu bahan.

E. Hasil Penyerapan Gelombang Mikro pada X dan Ku-Band Menggunakan VNA

Karakterisasi nilai penyerapan (*reflection loss*) terhadap gelombang elektromagnetik yang ditembakkan pada suatu sampel menghasilkan data keluaran yang biasa disebut *scattering parameter* (S parameter) atau parameter hamburan dari perilaku reflesi dan transmisi yang terjadi pada kedua port VNA. Nilai *Reflection Loss* (RL) sampel terhadap gelombang mikro yang diberikan pada range frekuensi X-band (7-12 GHz) diperoleh dari hasil S parameter yang dapat menentukan sifat penyerapan gelombang yang baik saat nilai refleksi lossnya sangat tinggi.

Berdasarkan pada Gambar 4 yang merupakan tingkat penyerapan gelombang mikro sampel pada X-band, diketahui bahwasanya semakin besar nilai minus pada

Tabel 2. Parameter serapan gelombang mikro magnetit hasil ekstraksi sebelum dan sesudah digiling serta bahan ecosorb pada pita frekuensi X dan Ku-band

Sampel Fe_3O_4	Rugi Refleksi Maksimum, RL_m (dB)	Frekuensi Pas, f_m (GHz)	Lebar Pita (GHz)
			$f_1 - f_2$
Tanpa digiling	-5,47	7,44	7,00 - 8,37
	-3,68	10,08	8,43 - 10,60
	-1,82	11,40	10,80 - 11,50
	-1,83	11,70	11,60 - 11,70
	-6,92	13,49	12,55 - 14,59
	-9,22	15,91	15,69 - 15,96
	-16,25	16,35	16,13 - 16,46
Digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam	-15,12	16,63	16,52 - 17,39
	-9,27	7,49	7,11 - 8,32
	-5,90	10,08	8,50 - 10,74
	-3,56	11,80	10,85 - 11,51
	-3,32	11,68	11,62 - 11,84
	-11,05	13,49	12,50 - 14,54
	-7,72	15,86	15,69 - 15,97
Ecosorb	-16,23	16,35	16,08 - 16,35
	-24,91	16,68	16,41 - 17,32
	-11,69	7,55	7,00 - 8,37
	-6,73	10,08	8,43 - 10,60
	-3,33	11,18	10,80 - 11,50
	-2,62	11,68	11,60 - 11,70
	-9,51	13,49	12,55 - 14,59
	-8,03	15,86	15,69 - 15,96
	-6,46	16,41	16,13 - 16,46
	-18,48	16,90	16,52 - 17,39

reflection loss (RL) maka tingkat penyerapan gelombangnya juga semakin besar. Begitu pula semakin lebar pita frekuensi atau rentang jarak antar lembah frekuensi menunjukkan tingkat penyerapan yang maksimal. Sehingga dari Gambar 4 untuk kedua sampel memiliki penyerapan gelombang pada rentang frekuensi yang sama. Dari tabel 2 menunjukkan tingkat penyerapan yang paling tinggi dihasilkan dari sampel yang digiling dengan kecepatan 200 rpm selama 4 jam untuk kedua pita frekuensi yaitu terjadi pada rentang frekuensi X-band 7,11-8,37 GHz dengan nilai sebesar -9,27 dB pada frekuensi maksimum 7,49 GHz.

Penyerapan gelombang mikro semakin besar seiring dengan ukuran kristal dan butir yang semakin kecil akibat reduksi ukuran melalui proses penggilingan dengan kecepatan dan waktu yang relatif besar. Hal ini dikarenakan ukuran partikel yang kecil dan bentuk geometri partikel magnetik berupa *spheris* dapat menyebabkan luasan permukaan besar dengan kontak interkasisemakin tinggi sehingga penyerapan energi gelombang mikro oleh momen dipol magnetik menjadi besar [13]. Luas permukaan partikel ini merupakan faktor penting dalam penyerapan gelombang mikro karena merupakan daerah atom yang paling tidak stabil sehingga bila ada penetrasi energi gelombang mikro yang besarnya sesuai dengan energi potensial yang dibutuhkan oleh momen dipol magnetik yang berinteraksi maka pada frekuensi tersebut energi akan diserap. Selain itu, jumlah atom-atom yang tidak berikatan dengan baik pada permukaan banyak dan tidak stabil sehingga mendorong timbulnya elektron bebas bergerak dinamis, membuka peluang ketidakteraturan arah spin sehingga membentuk kopling spin diantaranya menyebabkan energi gelombang

mikro terserap untuk melakukan transisi ke tingkat energi yang lebih tinggi.

Apabila penyerapan bahan magnetit dibandingkan dengan bahan ecosorb yang dimiliki oleh LIPI Bandung seperti yang terlihat pada Gambar 5 (a) dan (b) untuk nilai *Reflection Loss* *Reflection Loss* pada rentang pita frekuensi gelombang mikro yang berbeda yaitu *X-band* dan *Ku-band*, dapat diketahui bahwasanya sampel magnetit yang berasal dari pasir besi memiliki sifat penyerapan gelombang mikro setengah (50%) dari penyerapan maksimum bahan ecosorb yang memiliki kandungan karbon organik yaitu bahan karbon dan batu bara dengan kualitas penyerapan yang cukup bagus. Hal ini juga dapat dilihat pada Tabel 2 yang menunjukkan nilai tingkat penyerapan gelombang pada bahan magnetit dan ecosorb memiliki tingkat penyerapan pada lebar pita frekuensi yang hampir sama lebarnya sehingga bahan magnetit dapat dibuat sebagai bahan penyerap gelombang (absorber).

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan bahwa pemberian perlakuan variasi kecepatan dan waktu penggilingan menyebabkan adanya perubahan ukuran kristal yang semula besar menjadi kecil dengan struktur mikro yang semakin pipih, kecil dan cenderung homogen. Perubahan ukuran kristal yang semakin kecil menyebabkan sifat magnetik tinggi karena momen dipol magnetik mudah disearahkan dan penyerapan gelombang mikro pada pita X dan pita Ku semakin besar dan cukup optimal karena luas permukaan dan interaksi antar dipol semakin besar. Ukuran kristalin terkecil sebesar 77 nm untuk sampel dengan perlakuan kecepatan penggilingan sebesar 200 rpm selama 4 jam dengan nilai saturasi magnetik (Ms), remanensi magnetik (Mr) dan koersivitas (Hc) masing-masing sebesar 39,3 emu/gr, 16,7 emu/gr dan 0,054 T. Sedangkan penyerapan gelombang mikro pada frekuensi X-Band sebesar -9,27 dB pada frekuensi maksimum 7,49 GHz dan untuk frekuensi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis W.L mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Agama Republik Indonesia yang telah memberikan dukungan finansial melalui program beasiswa Santri Berprestasi 2011-2015. Tidak lupa pula penulis ucapkan terimakasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan banyak arahan dan bantuan dalam penulisan tugas akhir dan jurnal ini. Serta ucapan terimakasih juga saya berikan kepada seluruh teman-teman yang membantu dan memberi dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ing Kong, Sahrim Hj Ahmad, Mustaffa Hj Abdullah, David Hui, A. Nazlim Yusoff, Dwi Puryanti. 2010. "Magnetic and microwave absorbing properties of magnetite-thermoplastic natural rubber nanocomposites". *Journal of Magnetism and Magnetic Material*. Volume 322. 3401-3409.
- [2] Nasution, Erika Linda Yani dan Astuti. 2012. "Sintesis Nanokomposit PANi/ Fe₃O₄ sebagai Penyerap Magnetik pada Gelombang Mikro". *Jurnal Fisika Unand* Vol. 1 No. 1.
- [3] Agustanto, Rizki dan Widyastuti. 2014. "Pengaruh Dopan Co-Zn dengan Variasi Fraksi Mol dan Variasi Ph terhadap Sifat Magnetik

- dan Struktur Mikro Barium Heksaferit dengan Metode Sol-Gel *Auto Combustion*". *Jurnal Teknik POMITS* Vol. 3, No. 1
- [4] Solihah, Lia Kurnia. 2010. "Sintesis dan Karakteristik Partikel Nano Fe₃O₄ yang berasal dari Pasir Besi dan Fe₃O₄ Bahan Komersial (ALDRICH)". Tugas Akhir Jurusan Fisika Fakultas FMIPA ITS tahun 2010
- [5] Bhakti, Henny Dwi. 2013. "Pengaruh Ukuran Partikel Fe₃O₄ dari Pasir Besi sebagai Bahan Penyerap Radar pada Frekuensi X dan Ku Band". Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS tahun 2013.
- [6] Sulungbudi, Grece Tj dkk. 2006. "Variasi Komposisi Fe (II)/Fe (III) pada Proses Sintesis *Spion* dengan Metode Presipitasi". Tangerang: Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN.
- [7] Blaney, Lee. 2007. *Magnetite (Fe₃O₄) : Properties, Synthesis, and Applications*. Lehigh Review, paper 5 Volume 15.
- [8] Kurniawansyah, F dan Sumarno. 2008. "The Study of of Micron-Size Polystyrene Production Using Antisolvent Technology". *Proceedings of 15th Regional Symposium On Chemical Engineering* : Kuala Lumpur.
- [9] Sari, Ratna Permata. 2007. "Pembuatan Paduan Mg₂Ni dan MgNi₂ dengan Metode *Mechanical Alloying* dan Karakterisasinya". Skripsi Program Studi Fisika FMIPA IPB, Bogor.
- [10] Sari, Riska Laksmi. 2013. "Komposit Epoksi-Fe₃O₄ Sebagai Bahan Penyerap Gelombang Radar pada Frekuensi 8-12,4 GHz". Tugas Akhir Jurusan Fisika Fakultas FMIPA ITS tahun 2013.
- [11] Pratapa, Suminar. 2011. *Analisis Data Difraksi Menggunakan Metode Rietveld*. Buku kuliah Difraksi Kristal Jurusan Fisika FMIPA ITS.
- [12] Rosyidah, Nurul. 2013. "Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode Kopresipitasi". Tugas Akhir Jurusan Fisika FMIPA ITS tahun 2013.
- [13] Mashuri, 2012. "Partikel Nano Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe₂O₄ Berbahan Baku Fe₃O₄ dari Pasir Besi sebagai Bahan Penterap Gelombang Mikro pada Frekuensi Tinggi." Disertai Program Doktor Jurusan Fisika Fakultas FMIPA ITS tahun 2012.