



TUGAS AKHIR - SF 141501

**KARAKTERISASI MATERIAL PENYERAP GELOMBANG
RADAR BERBAHAN DASAR KARBON AKTIF KULIT
SINGKONG DAN BARIUM M-HEKSAFERIT DOPING ION
ZN**

**KHOIROTUL YUSRO
NRP 1112 100 065**

**Dosen Pembimbing
Dr. M. Zainuri, M.Si**

**Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**



FINAL PROJECT - SF 141501

**CHARACTERIZATION OF RADAR ABSORBING
MATERIALS BASED ACTIVATED CARBON OF
CASSAVA PEEL AND BARIUM M-HEKSAFERIT
DOPING ZN**

**KHOIROTUL YUSRO
NRP 1112 100 065**

**Advisor
Dr. M. Zainuri, M.Si**

**Physics Departement
Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

**KARAKTERISASI MATERIAL PENYERAP
GELOMBANG RADAR BERBAHAN DASAR KARBON
AKTIF KULIT SINGKONG DAN BARIUM M-
HEKSAFERIT DOPING ION ZN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada
Bidang Fisika Material
Program Studi S-1 Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

KHOIROTUL YUSRO

NRP 11 12 100 065

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. M. Zainuri, M.Si
NIP. 19640130 199002 1 001



(.....)

[Handwritten signature]

Surabaya, Juni 2016

**KARAKTERISASI MATERIAL PENYERAP
GELOMBANG RADAR BERBAHAN DASAR KARBON
AKTIF KULIT SINGKONG DAN BARIUM M-
HEKSAFERIT DOPING ION ZN**

Nama : Khoirotul Yusro
NRP : 1112100065
Jurusan : Fisika, FMIPA-ITS
Pembimbing : Dr. M. Zainuri, M.Si

Abstrak

Sintesis dan karakterisasi material RAM telah dilakukan. Bahan baku alam yang digunakan berupa karbon aktif kulit singkong sebagai material dielektrik yang dikombinasikan dengan material magnetik berupa barium M-heksaferit yang disintesis dari pasir besi hasil tambang Kab. Tanah Laut Provinsi Kalimantan Selatan. RAM pada penelitian ini merupakan campuran karbon aktif kulit singkong dan barium M-heksaferit dengan fraksi massa 1:1 dan cat sebagai media perekatnya. RAM tersebut dilapiskan pada plat baja grade A tipe AH36 melalui metode pelapisan dallenbach single layer dengan variasi ketebalan 2 mm, 3 mm dan 4 mm. Penyerapan gelombang mikro dididentifikasi dengan pengujian VNA dan dari hasil penelitian didapatkan bahwa nilai rugi refleksi paling besar adalah pada ketebalan 4 mm sebesar -23,479 dB. Sementara nilai rugi refleksi pada ketebalan 2 mm dan 3 mm berturut-turut sebesar -10,147 dB dan -10,494 dB.

Kata kunci : karbon aktif, barium M-heksaferit, RAM, rugi refleksi

CHARACTERIZATION OF RADAR ABSORBING MATERIALS BASED ACTIVATED CARBON OF CASSAVA PEEL AND BARIUM M-HEKSAFERIT DOPING ZN

Name : Khoirotul Yusro
NRP : 1112100065
Major : Physics, FMIPA-ITS
Advisor : Dr. M.Zainuri, M.Si

Abstract

Synthesis and characterization of RAM has been performed. This research used natural raw materials such as active carbon made from cassava peel as dielectric material, and it combined with barium M-Heksaferit as magnetic material. This material using iron sand from Tanah Laut district of South Kalimantan as precursor iron ion. RAM in this research is a mixture of cassava peel active carbon and barium M-heksaferit with mass fraction 1:1 and paint as an adhesive medium. RAM will be coated on the grade A type AH36 steel plate. The coating process using dallenbach single layer coating method with variation of coating thickness are 2 mm, 3 mm and 4 mm. The absorption of microwave identified by VNA testing, based on the research we found that the maximum reflection loss (RL) value in the 4 mm thickness with RL value -23,479 dB. And RL value for 2 mm and 3 mm thickness continued are -10,147 dB and -10,494 dB.

Keyword : active carbon, barium M-heksaferit, RAM, reflection loss

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
COVER PAGE	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Karbon Aktif	5
2.2 Pasir Besi	7
2.3 Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$)	10
2.4 <i>Radar Absorbing Material</i> (RAM)	13
BAB III METODOLOGI	
3.1 Alat dan Bahan.....	15
3.2 Prosedur Penelitian.....	15
3.2.1 Sintesis Barium M-Heksaferit.....	15
3.2.2 Sintesis Karbon Aktif Kulit Singkong.....	16
3.2.3 Pencampuran Barium M-Heksaferit-Karbon	16
3.2.4 Pelapisan <i>Single Layer</i> pada Plat Baja.....	17
3.2.5 Karakterisasi Bahan Uji	17

3.3 Diagram Alir Penelitian.....	20
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN	
4.1 Analisis Karbon Aktif Kulit Singkong.....	25
4.1.1 Analisis Morfologi dan Ikatan Antar Molekul Karbon Kulit Singkong	26
4.1.2 Analisis Sifat Kelistrikan Karbon Aktif Kulit Singkong.....	30
4.2 Analisis Material Magnetik	32
4.2.1 Analisis Fasa Barium M-Heksaferit dengan Difraksi Sinar-X	34
4.2.2 Analisis Mikrostruktur Barium M-Heksaferit menggunakan SEM.....	36
4.2.3 Analisis Sifat Magnet Barium M-Heksaferit menggunakan VSM.....	38
4.3 Analisis Campuran Karbon Aktif dan Barium M-Heksaferit	41
4.4 Analisis Penyerapan Material RAM	42
BAB V KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	47
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	49
LAMPIRAN	53
BIOGRAFI PENULIS	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan karbon aktif kulit singkong.....	5
Tabel 4.1 Hasil kesesuaian bilangan gelombang dengan gugus fungsi karbon aktif kulit singkong.....	29
Tabel 4.2 Hasil pengujian <i>X-Ray Flourescene</i> (XRF) pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan	32
Tabel 4.3 Prosentase persebaran atom penyusun BaM	37
Tabel 4.4 Hasil pengujian sifat megnet BaM.....	39
Tabel 4.5 Nilai <i>reflection loss</i> sampel pada rentang frekuensi 8-12 GHz	43
Tabel 4.6 Lebar pita penyerapan pelapisan	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pasir besi sebelum pencucian	8
Gambar 2.2 Spektrum hasil pengujian XRF pasir besi sebelum pencucian.....	8
Gambar 2.3 Pasir besi sesudah pencucian.....	9
Gambar 2.4 Spektrum hasil pengujian XRF pasir besi sesudah pencucian.....	9
Gambar 2.5 (a) Struktur kristal BaM (COD-1008326).....	10
Gambar 2.5 (b) Pola difraksi sinar-X terhitung BaM (COD-1008326).....	11
Gambar 2.6 (a) Kurva histerisis untuk <i>soft magnetic</i>	12
Gambar 2.6 (b) Kurva histerisis untuk <i>hard magnetic</i>	12
Gambar 3.1 Model pelapisan <i>single layer</i>	17
Gambar 3.2 Diagram alir ekstraksi pasir besi.....	20
Gambar 3.3 Diagram alir sintesis barium M-heksaferit.....	21
Gambar 3.4 Diagram alir sintesis karbon aktif.....	22
Gambar 3.5 Diagram alir pelapisan <i>single layer</i> pada plat baja .	23
Gambar 4.1 Karbon aktif kulit singkong.....	25
Gambar 4.2 Hasil uji XRD karbon aktif kulit singkong sebelum dan sesudah aktivasi	26
Gambar 4.3 Spektrum FTIR karbon aktif kulit singkong	27
Gambar 4.4 (a) dan (b) hasil SEM karbon aktif kulit singkong .	29
Gambar 4.5 Konduktivitas listrik karbon aktif kulit singkong...	31
Gambar 4.6 Analisa hasil difraksi sinar-X pasir besi dengan menggunakan <i>software Match!</i>	33
Gambar 4.7 Pola difraksi sinar-X barium M-heksaferit.....	35
Gambar 4.8 Bentuk morfologi barium M-heksaferit menggunakan SEM	36
Gambar 4.9 Penyebaran komposisi penyusun barium M-heksaferit menggunakan SEM-EDX.....	37

Gambar 4.10 Hasil VSM barium M-heksaferit doping $x=0,3$	39
Gambar 4.11 Konduktivitas listrik campuran karbon-barium M-heksaferit	41
Gambar 4.12 Sampel pelapisan campuran karbon-barium M-heksaferit	43
Gambar 4.13 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai rugi refleksi pada rentang frekuensi 8-12 GHz	44

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	53
LAMPIRAN B	57

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi pertahanan bagi suatu negara adalah hal yang penting dalam menjaga kedaulatan negara, khususnya Indonesia yang sebagian besar memiliki wilayah berupa lautan. Maka dari itu Indonesia memerlukan teknologi pertahanan wilayah laut yang kuat guna melindungi dari serangan asing khususnya pada daerah perbatasan. Salah satu teknologi yang berkembang sangat pesat pada dekade ini adalah penggunaan radar. Radar merupakan alat atau fasilitas untuk mendeteksi obyek yang jauh menggunakan gelombang elektromagnetik (Seo, et.al, 2004).

Stealth technology atau sistem teknologi siluman adalah salah satu teknologi yang memungkinkan kapal tidak akan terdeteksi oleh radar (*Radar Detection and Ranging*). Radar dapat terdeteksi berdasarkan *Radar Cross Section* (RCS) yang berupa daerah pada target yang memantulkan sinyal datang berdasarkan ukuran, bentuk dan orientasi target. Teknologi siluman pada dasarnya dikembangkan melalui dua cara yaitu dari desain geometri kapal dan pelapisan menggunakan material penyerap gelombang radar. Metode pertama yaitu desain geometri kapal dilakukan dengan cara memanipulasi bentuk (*shaping*) kapal sehingga pantulan gelombang radar tidak dapat ditangkap oleh *receiver*. Metode kedua menggunakan prinsip penyerap gelombang radar dengan *Radar Absorbong Material* (RAM). Prinsip yang digunakan pada material RAM ini adalah melalui kemampuan untuk mentransformasi energi gelombang elektromagnet dalam bentuk disipasi panas melalui mekanisme polarisasi dipol-dipol magnetik. Penerapan teknologi RAM pada umumnya dilakukan dengan cara dilapiskan sebagai material pelapis dengan ketebalan tertentu pada objek (Saville, 2005).

Radar Absorbong Material (RAM) merupakan suatu material yang memiliki kemampuan untuk menyerap gelombang elektromagnetik, dalam orde gelombang mikro. Material

penyerap gelombang mikro idealnya memiliki nilai rugi refleksi maksimum < -20 dB, rentang frekuensi penyerapan yang cukup lebar, densitas rendah, ringan, mudah didesain, murah dan stabil terhadap pengaruh lingkungan (Mashuri, 2012).

Karbon aktif memiliki struktur kristal amorf, luas permukaan yang besar dan memiliki jumlah pori-pori yang sangat banyak. Pori-pori yang terdapat pada karbon aktif sangat baik dimanfaatkan sebagai media penyerapan dan absorpsi khususnya pada material RAM. Proses pembuatan karbon aktif sangat sederhana yaitu melalui dua tahapan proses karbonisasi dan proses aktivasi. Proses aktivasi akan meningkatkan luas permukaan serta daya absorpsi dari karbon aktif itu sendiri (Ikawati and Melati, 2010). Material barium hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) telah lama dikenal memiliki keunggulan-keunggulan pada segi sifat kemagnetannya. Material ini berstruktur heksagonal yang bersifat *hard magnetic* namun dapat diubah menjadi *soft magnetic* dengan penambahan dopan Zn. Sehingga dengan substitusi ini diharapkan Barium M-Heksaferit dapat diaplikasikan untuk penyerap gelombang radar. Pada penelitian ini konsentrasi Zn^{2+} yang diberikan yakni 0,3, karena memiliki nilai remanen paling tinggi dibandingkan dengan konsentrasi variasi dopan yang lain (Rosyidah, 2013).

Penelitian ini menggunakan bahan baku dari alam untuk pembuatan material RAM. Bahan yang digunakan yaitu arang aktif dari kulit singkong sebagai material dielektrik serta Barium M-Heksaferit yang disintesis menggunakan pasir besi hasil tambang kabupaten Tanah Laut provinsi Kalimantan Selatan sebagai material magnetik. Berdasarkan hasil analisis, pasir besi memiliki sebagian besar fase magnetit. Fase tersebut dimanfaatkan sebagai bahan yang bersifat magnet dengan dikombinasikan bahan dielektrik dari karbon aktif kulit singkong. Kedua bahan tersebut dijadikan pengisi pada matriks resin (cat) dengan memvariasikan ketebalan antara bahan magnetik dan bahan dielektrik menggunakan metode pelapisan *single layer*. Penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai salah satu

referensi dalam pembuatan material penyerap gelombang mikro serta memberikan kontribusi dalam pengembangan RAM dengan memanfaatkan bahan alam dan proses sintesis yang sederhana dalam operasionalnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sifat dan karakteristik kemagnetan dari barium M-hexaferit?
2. Bagaimana sifat dan karakteristik kelistrikan dari karbon aktif kulit singkong?
3. Bagaimana pengaruh ketebalan pelapisan bahan RAM campuran barium M-hexaferit-karbon aktif kulit singkong pada pelapisan *single layer* sebagai material penyerap radar?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sintesis material Barium M-Heksaferit berbasis pasir besi dari Kabupaten Tanah Laut provinsi Kalimantan Selatan yang mengandung magnetit.
2. Material Barium M Heksaferit dilakukan pemberian dopan Zn^{2+} dengan variabel $x=0.3$ dihasilkan $(BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O_{19})$ yang disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan temperature kalsinasi $1000\text{ }^{\circ}C$ dan pemberian holding time (waktu penahanan) 5 jam.
3. Bahan dielektrik yang digunakan merupakan karbon aktif berbahan dasar kulit singkong yang telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi.
4. Metode pelapisan *single layer* menggunakan *dallenbach layer*.
5. Fraksi massa karbon aktif kulit singkong-barium M-heksaferit yang digunakan adalah 1:1

6. Variasi ketebalan pelapisan material RAM pada plat baja antara lain 2 mm, 3mm dan 4 mm.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui sifat dan karakteristik kemagnetan dari Barium M-Hexaferit.
2. Untuk mengetahui sifat dan karakteristik kelistrikan dari karbon aktif kulit singkong.
3. Untuk mengetahui pengaruh ketebalan pelapisan bahan RAM campuran barium M-hexaferit-karbon aktif kulit singkong pada pelapisan *single layer* sebagai material penyerap radar.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan material penyerap gelombang radar (RAM) dengan memanfaatkan bahan-bahan alam Indonesia sehingga diharapkan dapat mengurangi biaya operasional serta ramah lingkungan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini, tersusun dalam lima bab yaitu : Bab 1: Pendahuluan berisi latar belakang masalah, maksud dan tujuan, perumusan masalah, batasan masalah dan manfaat tugas akhir. Bab 2: Tinjauan Pustaka berisi mengenai kajian pustaka yang digunakan pada tugas akhir. Bab 3: Metodologi Penelitian berisi tentang metode dan tahap pengambilan data. Bab 4: Analisa Data dan Pembahasan berupa hasil data yang diperoleh, serta analisa yang dilakukan. Bab 5: Kesimpulan berisi kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan suatu padatan yang memiliki porositas 85 – 90%, dihasilkan dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan pemanasan pada suhu tinggi. Karbon aktif memiliki luas permukaan yang sangat besar. Permukaan yang besar dapat dicapai dengan adanya aktivasi sehingga dapat meningkatkan luas permukaan. Pori-pori pada karbon masih tertutup dengan hidrokarbon, ter dan komponen lain seperti abu, air, nitrogen dan sulfur. Dalam satu gram karbon aktif akan didapatkan material dengan luas permukaan sebesar 500 m² (Chao, 2005). Beberapa limbah hasil pertanian seperti jerami padi, jerami gandum, kulit kacang, bambu dan serabut kelapa dapat dimanfaatkan menjadi produk karbon aktif dan telah dikaji secara mendalam dengan berbagai prosedur yang berbeda. Karbon disusun oleh atom-atom yang terikat secara kovalen dalam kisi heksagonal amorf. Susunan atom ini saling bertumpuk dengan gugus hidrokarbon pada permukaan dengan menghilangkan hidrogen dari gugus hidrokarbon, maka permukaan dan pusat arang menjadi lebih aktif (Chand, et.al, 2005).

Salah satu bahan alam yang dapat dibuat menjadi karbon aktif adalah kulit singkong. Dimana pada kulit singkong berdasarkan hasil pengujian dengan menggunakan XRF mengandung elemen-elemen sebagai berikut:

Tabel 2.1 Kandungan karbon aktif kulit singkong

Elemen	C	H	O	N	S	Ash	H ₂ O
Wt %	59,31	9,78	28,74	2,06	0,11	0,3	11,4

Secara umum, proses pembuatan karbon aktif dibagi menjadi dua macam yaitu proses karbonisasi dan proses aktivasi. Proses karbonisasi meliputi pengeringan dan pemanasan untuk menghilangkan bahan-bahan yang tidak diinginkan seperti tar dan hidrokarbon lainnya. Tahap selanjutnya proses pemanasan dalam

rentang temperatur 300-600 °C di lingkungan yang rendah kandungan oksigennya. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan kandungan molekul yang memiliki berat cukup rendah sehingga material lebih aktif. Proses ini lebih dikenal dengan proses aktivasi (Ikawati and Melati, 2010). Pada proses karbonisasi terjadi dekomposisi bahan dan pengeluaran pengotor seperti tar dan methanol. Adanya pelepasan unsur-unsur ini membuat pori-pori pada karbon akan terbuka (Pari, et.al, 2014).

Proses aktivasi dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu aktivasi kimia dan aktivasi fisika. Dalam proses pembuatan karbon aktif berbahan dasar kulit singkong sebaiknya menggunakan cara aktivasi kimia. Hal ini berdasarkan pertimbangan aspek ekonomis. Proses aktivasi fisika membutuhkan suhu tinggi 600-900°C. Kondisi operasi tersebut membutuhkan energi listrik yang diperlukan cukup besar. Oleh karena itu, aktivasi fisika tidak ekonomis khususnya untuk skala industri kecil. Sedangkan kelebihan aktivasi kimia adalah kondisi suhu dan tekanan operasinya relatif lebih rendah. Selain itu, efek penggunaan bahan kimia mampu meningkatkan jumlah pori-pori dalam produk (Suzuki, 2007). Pada aktivasi secara kimia, karbon dicampur dengan larutan kimia sebagai *activating agent* yang mengoksidasi karbon dan merusak permukaan bagian dalam karbon sehingga terbentuk pori dan meningkatkan daya adsorpsi. Pemilihan jenis aktivator akan berpengaruh terhadap kualitas karbon aktif. Beberapa jenis senyawa kimia yang sering digunakan dalam industri pembuatan karbon aktif adalah $ZnCl_2$, KOH, dan H_2SO_4 (Sembiring, et.al, 2003).

Pada penelitian terdahulu karbon aktif dari kulit singkong diaktivasi dengan KOH dan dikarbonisasi pada suhu tinggi menggunakan aliran nitrogen sebagai gas inert (Sudaryanto, 2006). Proses pembuatan karbon aktif dilakukan di dalam furnace elektrik tanpa bantuan gas inert atau dalam kondisi oksigen terbatas. Penggunaan senyawa KOH sebagai aktivator dipilih dengan spesifikasi teknis dan bertujuan untuk mempertinggi daya serap yang dimiliki oleh karbon (Suhartana, 2006).

2.2 Pasir Besi

Pasir besi pada umumnya mempunyai komposisi utama besi oksida yaitu magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan maghemit ($\beta\text{-Fe}_2\text{O}_3$), serta silikon oksida (SiO_2) dan senyawa-senyawa lain yang kadar kandungannya yang lebih rendah seperti fosfor dan sulfur, aluminium (Al_2O_3), vanadium (V_2O_5), titanium dan kromium. Mineral utama besi dalam pasir besi memiliki sifat kemagnetan yang tinggi, sedangkan pengotornya memiliki sifat kemagnetan yang rendah. Oksida logam di dalam pasir besi yaitu Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 yang berkontribusi dalam sifat kemagnetan (Sunaryo and Widayawidura, 2010).

Keberadaan pasir besi yang terdistribusi secara luas serta jumlahnya melimpah di Indonesia menjadi daya tarik secara ekonomi. Besi yang diperoleh dari bijih besi tidak dalam bentuk unsur murni Fe tetapi dalam bentuk besi oksida. Dalam pasir besi, oksida logam ini dijumpai dalam dua fase, Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 . Keduanya merupakan bahan magnetik yang menunjukkan sifat kemagnetan ketika berada dalam medan magnet. Fe_2O_3 memiliki interaksi yang lebih lemah di dalam medan magnet dari pada Fe_3O_4 yang memiliki interaksi lebih kuat di dalam medan magnet (Sholihah dan Kurnia, 2010).

Magnetit merupakan mineral ferimagnetik dengan rumus kimia Fe_3O_4 , satu dari beberapa besi oksida dan anggota dari grup spinel. Nama kimia magnetit menurut IUPAC adalah besi (II,III) oksida dan nama kimia secara umum adalah ferit oksida. Rumus kimia magnetit/ferit sering ditulis dalam bentuk $\text{FeO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$, di mana satu bagian adalah wustite (FeO) dan bagian lainnya adalah hematit (Fe_2O_3). Hal ini menunjuk pada keadaan oksidasi yang berbeda dari besi dalam suatu struktur, bukan larutan padat (*solid solution*). Struktur Fe_3O_4 membentuk spinel *invers* dalam bentuk kubik (Pardianto, et.al, 2014).

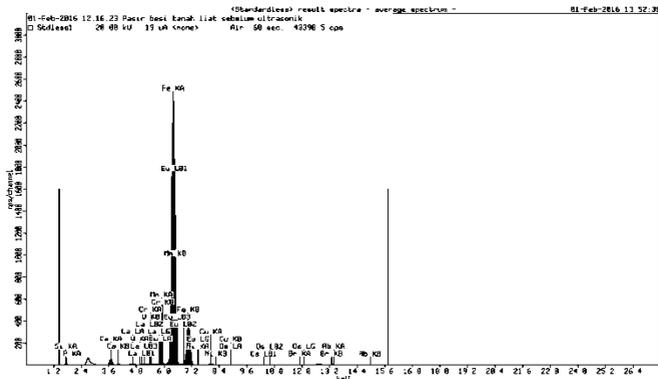
Berdasarkan penelitian Devi (2014), batuan besi direduksi dengan sistem mekanik untuk dijadikan bahan serbuk sampai ukuran 140 mesh. Kemudian dilakukan separasi untuk memisahkan bahan magnetik dan bahan non-magnetik. Gambar

2.1 merupakan foto dari pasir besi sebelum pencucian yang melalui proses separasi menggunakan magnet permanen.



Gambar 2.1 Pasir besi sebelum pencucian

Pasir besi yang telah dihasilkan kemudian diuji menggunakan XRF (*X-Ray Fluorescence*) untuk mengetahui unturnya. Spektrum hasil pengujian XRF ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Spektrum hasil pengujian XRF pasir besi sebelum pencucian

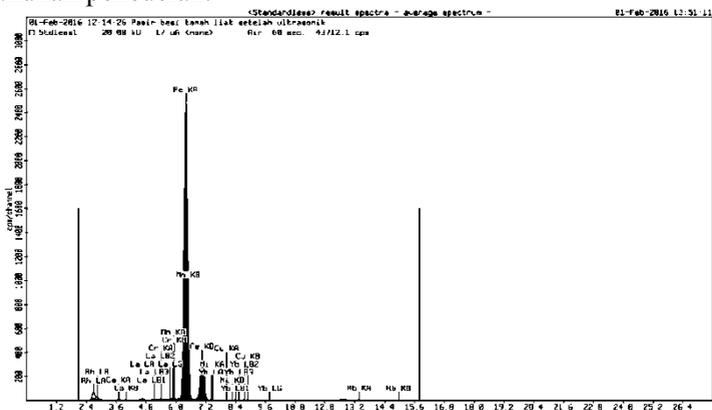
Pada gambar spektrum 2.4 kandungan mineral yang tertinggi dari pasir besi Tanah Laut adalah unsur Fe 91% dan yang kedua adalah unsur silika sebesar 3.3%. Elemen-elemen lain yang bukan merupakan mineral utama dapat dihilangkan dengan

perlakuan pembersihan menggunakan larutan alkohol dengan menggunakan alat *ultrasonic cleaner* dan hasilnya dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pasir besi sesudah pencucian

Selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan XRF untuk membandingkan kandungan yang terdapat pada pasir besi setelah dilakukan pencucian.



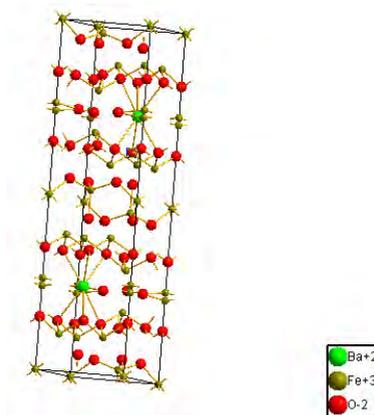
Gambar 2.4 Spektrum hasil pengujian XRF pasir besi sesudah pencucian

Data XRF dapat dijadikan acuan untuk melakukan identifikasi unsur yang terdapat pada pasir besi sebelum dan sesudah pencucian menggunakan *ultrasonic cleaner*. Terdapat peningkatan kandungan Fe sebesar 98% dari sebelumnya 91%. Hal ini menunjukkan bahwa selama proses pencucian, unsur-

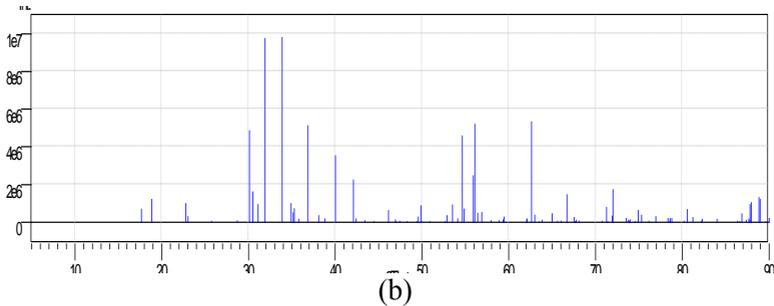
unsur pengotor seperti Si akan dihilangkan dan akibatnya kandungan ferro-okrida yang ada dalam batuan besi meningkat (Devi, 2014).

2.3 Barium M-Heksaferit ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$)

Barium M-Heksaferit (BaM) memiliki rumus molekul $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Struktur Kristal yang paling banyak diteliti adalah $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dengan *group* ruang P63/mmc (Mallick, et.al, 2007). Struktur Kristal $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ adalah hexagonal dengan parameter kisi $a = b = 5.892\text{\AA}$, $c = 23.182\text{\AA}$. Pola difraksi kristal barium M-heksoferit dengan kode database 1008841 mengacu pada data *crystallographic information file* (CIF) dan dimasukkan pada *software* diamond ditunjukkan pada Gambar 2.5 (<http://www.crystallography.net>). Berikut gambar struktur dan pola difraksi dari Barium M-Hexaferrite:

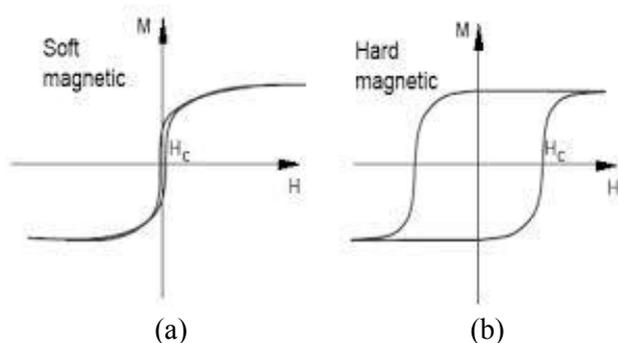


(a)



Gambar 2.5 (a) Struktur kristal BaM (COD-1008326) (b). Pola difraksi sinar-X terhitung BaM (COD-1008326)

Karakterisasi kemagnetan suatu bahan dapat dilihat pada kurva histeresis nya. Berdasarkan kurva histeresis, sifat magnet dapat dibedakan menjadi *soft magnetic* dan *hard magnetic material*. Hal ini ditunjukkan oleh gambar 2.4. *Soft magnetic material* mempunyai kurva histeresis berbentuk pipih karena energi yang hilang saat proses magnetisasi rendah sehingga koersivitasnya kecil. Sedangkan *hard magnetic material* mempunyai kurva histeresis dengan bentuk cembung karena energi yang hilang saat proses magnetisasi tinggi sehingga koersivitasnya besar. Bentuk kurva histeresis *soft magnetic material* yang pipih menunjukkan bahwa energi yang hilang saat proses magnetisasi rendah. Hal ini membuat *soft magnetic material* mudah untuk dimagnetkan namun juga mudah kehilangan sifat magnetiknya. Sedangkan bentuk kurva *hard magnetic material* sukar untuk dimagnetkan namun apabila sudah dimagnetkan tidak mudah kehilangan sifat magnetnya (Rosler, et.al, 2003).



Gambar 2.6. Kurva histeresis untuk (a). *soft magnetic material*, (b). *hard magnetic material*

Barium M-Heksaferit memiliki sifat *hard magnetic*. Salah satu cara yang digunakan untuk merekayasa sifat kemagnetan BaM yaitu dengan memberikan doping. Syarat material yang dapat digunakan sebagai doping yaitu memiliki jari-jari ionik yang hampir sama, sebagai contohnya Zn yang dapat menggantikan Fe pada struktur BaM. Jari-jari ionik Zn^{2+} adalah 0,074 nm, sedangkan ion Fe^{3+} dengan jari-jari ioniknya 0,065 nm, sehingga dimungkinkan kehadiran ion Zn^{2+} akan menggantikan Fe^{3+} . Hal ini dikarenakan kemiripan dimensi ionik antara ion Fe^{3+} dengan Zn^{2+} . Kehadiran ion Zn^{2+} pada struktur BaM menggantikan ion Fe^{3+} tidak mengubah struktur kristal BaM. Substitusi ion Zn^{2+} mempunyai nilai saturasi yang tinggi $M_s = 65 \text{ Am}^2\text{kg}^{-1}$ dan nilai remanensi yang berkurang dengan nilai medan koersivitas 199 kAm^{-1} sehingga mudah di magnetisasi. Kehadiran ion Zn^{2+} ini sebagai pengganggu dalam kemagnetan Barium M-Heksaferit, dimana penyisipan ion Zn^{2+} pada struktur M-heksagonal menggantikan ion Fe^{3+} tidak merubah stuktur kristal yang sudah ada. Kehadiran Zn^{2+} ini untuk menurunkan sifat kemagnetan Barium M-Heksaferit sehingga sifatnya menjadi lebih lunak (Pullar, 2012).

2.4 Radar Absorbing Material (RAM)

Radar Absorbing Material (RAM) merupakan bahan yang memiliki kemampuan menyerap gelombang elektromagnetik sehingga meminimalkan gelombang yang direfleksikan. Ada tiga kondisi yang dapat meminimalkan refleksi gelombang radar. Pertama, impedansi gelombang yang masuk sama dengan impedansi medium penyerap. Kesesuaian impedansi terjadi apabila permitivitas listrik dan permeabilitas magnetnya sama. Kondisi kedua ini dapat memperkecil koefisien refleksi sehingga meminimalkan refleksi gelombang. Sedangkan kondisi ketiga yaitu dengan mengurangi gelombang yang merambat ke media penyerap. Desain material yang digunakan untuk RAM adalah penyerapan gelombang mikro pada wide frekuensi yang dilakukan dengan pelapisan yang tipis (Saville, 2005).

Material anti radar atau yang sering dikenal sebagai bahan absorbing material (RAM) pada intinya merupakan material yang mempunyai sifat bahan magnetik, dielektrik dan konduktif. Dimana sifat-sifat tersebut mampu mereduksi gelombang elektromagnetik melalui mekanisme polarisasi dipol magnetik. Gelombang elektromagnetik yang dipancarkan memiliki energi sebesar $h\nu$ terbentuk oleh medan magnet dan medan listrik. Mekanisme penyerapan gelombang elektromagnetik pada material RAM yaitu dengan penyerapan energi listrik oleh bahan dielektrik dan penyerapan energi magnet oleh bahan magnetik. Adanya tambahan energi yang didapat dari pancaran gelombang elektromagnetik menyebabkan dipol-dipol magnet mengalami proses polarisasi akibat muatan terinduksi. Proses polarisasi menimbulkan pergerakan muatan sehingga timbul energi kinetik yang berlangsung secara terus menerus sehingga timbul panas dalam satuan joule atau dapat disebut sebagai efek joule. Pada dasarnya, prinsip penyerapan energi gelombang elektromagnetik oleh material RAM adalah dengan mentransformasikan energi gelombang elektromagnetik dalam bentuk disipasi panas melalui mekanisme polarisasi dipol-dipol magnetik sehingga tidak ada gelombang yang direfleksikan (Saville, 2005).

Material penyerap radar dapat digunakan untuk meminimalisasi refleksi gelombang elektromagnetik dari suatu plat logam seperti pada pesawat militer, kapal, tank, dan peralatan elektronik. Desain material penyerap radar dapat mengontrol seluruh aspek – aspek yang dibutuhkan seperti sifat kemagnetan dan kelistrikan. Pada penelitian ini digunakan karbon aktif kulit singkong sebagai material dielektrik dan barium M–heksaferit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang disubstitusi dengan ion Zn sebagai material yang mengontrol sifat kemagnetannya (Ting, et.al, 2009).

Radar dapat terdeteksi berdasarkan *Radar Cross Section* (RCS) yang berupa daerah pada target yang memantulkan sinyal datang berdasarkan ukuran, bentuk maupun jenis materialnya. Ada empat metode untuk mereduksi RCS yaitu dengan *shaping*, *active loading*, *passive loading* dan *distributed loading*. Material penyerap gelombang radar dapat diklasifikasikan menjadi 2 yaitu *impedance matching* dan *resonant absorber*. Pada *impedance matching*, penyebaran gelombang yang mengenai permukaan target akan mengalami proses refleksi yang sebanding dengan besarnya impedansi antara gelombang yang datang dengan impedansi medium penyerap. Terdapat tiga macam *impedance matching* yaitu *pyramidal absorber*, *tapered loading absorber* dan *matching layer absorber*.

Sedangkan *Resonant Absorber* diklasifikasikan menjadi 3 yaitu *Salisbury screen*, *Jaumann layer* dan *Dallenbach (tuned) layer absorber*. *Dallenbach layer* merupakan lapisan penyerap yang dilapiskan diatas pelat konduktor seperti logam. Ketebalan lapisan, permitivitas dan permeabilitas dapat diatur untuk meminimalkan refleksi pada panjang gelombang yang diinginkan. *Dallenbach layer* menyebabkan interferensi destruktif gelombang pantul dari permukaan pertama dan kedua. *Dallenbach layer* dapat diaplikasikan untuk satu lapisan atau lebih (*multilayer*). *Multilayer* dapat digunakan untuk meningkatkan lebar pita penyerapan. Penggunaan dua atau lebih lapisan dengan pita penyerapan yang berbeda akan meningkatkan penyerapan lebar pita (Saville, 2005).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas beker, timbangan digital, pipet, kertas pH, magnet, pengaduk magnetik, spatula, mixer, stir bar, tisu, mortar, *magnetic stirrer*, *aluminium foil*, plastik, krusibel alumina, kertas saring halus, ayakan 100 mesh, *ultrasonic cleaner*, dan *furnace* tipe RHF 1400.

Untuk karakterisasi sampel dipakai alat uji (*X-ray Diffractometer*) XRD, LCR Meter, (*Vector Network Analyzer*) VNA, (*Scanning Electron Microscopy*) SEM, *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dan (*Vibrating Sample Magnetometer*) VSM.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Fe_3O_4 yang berasal dari batu besi Kabupaten Tanah Laut provinsi Kalimantan Selatan, Barium Karbonat (BaCO_3) (ACS reagent grade, MP Biomedicals, LLC), serbuk Zn (pro analis, Merck), kulit singkong, serbuk KOH (pro analis, Merck), *Hydrochloric Acid* (HCl) 37 % (pro analis, Merck), NH_4OH (pro analis, Merck), alkohol 96 %, plat baja grade A tipe AH36, cat kapal Aghata, *thinner*, dan aquades.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Sintesis Barium M-Heksaferit

Sintesis Barium M-heksaferit doping ion Zn^{2+} dengan $x = 0.3$ ($\text{BaFe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{19}$) menggunakan metode kopresipitasi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. pasir besi yang mengandung Fe_3O_4 dan Fe_2O_3 dilarutkan dalam HCl selama 1 jam, kemudian disaring, hasil saringan inilah yang akan digunakan.
- b. Serbuk Zn dilarutkan dengan HCl dengan suhu 70°C .
- c. Serbuk BaCO_3 dilarutkan dalam HCl sampai terbentuk larutan bening selama 1 jam.

- d. Larutan Zn dan BaCO_3 yang sudah terbentuk dicampur dengan menggunakan pengaduk magnet (*magnetic stirrer*) selama 30 menit dalam suhu 70°
- e. Larutan a dan d dicampur dan diaduk dengan *magnetic stirrer* pada suhu 70°C selama 30 menit, dimana keadaan pH = 3 (dalam keadaan asam).
- f. Ditambahkan larutan NH_4OH secara perlahan untuk membentuk endapan dengan keadaan pH 13 (keadaan basa).
- g. Endapan yang terbentuk dicuci dengan aquades (air destilasi) sampai pH = 10 dan dikeringkan pada temperature 100°C , sehingga akan didapatkan precursor BaM (barium M-heksaferit).
- h. Dilakukan kalsinasi pada precursor yang terbentuk dengan temperature 1000°C dan pemberian holding time (waktu penahan) selam 5 jam untuk didapatkannya kristalin BaM.

3.2.2 Sintesis Karbon Aktif Kulit Singkong

Bagian putih dari kulit singkong dipotong dengan ukuran 50×5 mm lalu dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Kulit singkong yang sudah kering dibungkus dengan aluminium foil dan dimasukkan kedalam *furnace* suhu 300°C selama 2 jam untuk proses karbonisasi. Hasil karbonisasi dihaluskan dengan mortar dan di ayak menggunakan ayakan 100 mesh. Sebanyak 25 gram karbon hasil karbonisasi diaktivasi dengan KOH 100 ml 3 M lalu distirer selama 1 jam. Hasil aktivasi diendapkan selama 48 jam. Endapan dinetralkan dengan HCl lalu dicuci hingga pH 6-7. Karbon aktif dikeringkan dalam oven suhu 105°C selama 24 jam.

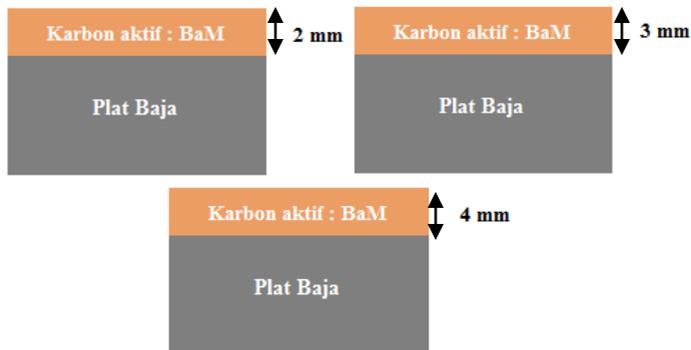
3.2.3 Pencampuran Barium M-Heksaferit dengan Karbon Aktif

Material Barium M-Heksaferit yang telah disintesis dicampurkan dengan karbon aktif kulit singkong dengan fraksi massa 1:1. Kemudian campuran Barium M-Heksaferit - karbon aktif kulit singkong dilarutkan dalam alkohol dan dibersihkan menggunakan *ultrasonic cleaner* selama 2 jam. Sampel

dikeringkan dalam temperatur ruangan agar alkohol dapat menguap.

3.2.4 Pelapisan *Single Layer* pada Plat Baja

Pengadukan cat kapal Aghata dan material anti radar dilakukan dengan cara pencampuran mekanik. Fraksi massa karbon aktif-barium M-heksaferit yang digunakan adalah 1:1. Pengadukan dilakukan selama 10 menit sampai homogen menggunakan alat pencampur berkecepatan ± 8000 rpm. Setelah proses pengadukan selesai, bahan kemudian dilapiskan pada plat baja grade A tipe AH36 secara merata. Lapisan material dan cat dikeringkan selama beberapa hari. Desain pelapisan plat baja pada penelitian ini menggunakan model *single layer* dengan metode *Dallenbach layer*. Variasi ketebalan pelapisan antara lain 2 mm, 3 mm, dan 4 mm. Desain eksperimen dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Model pelapisan *single layer*

3.2.5 Karakterisasi Bahan Uji

a. Difraksi Sinar-X

Untuk mengetahui fase-fase yang menyusun BaM dan komposit Karbon aktif/BaM dilakukan pengukuran difraksi sinar-X menggunakan *Philips X'Pert MPD (Multi Purpose Diffractometer)* di Laboratorium Difraksi Sinar-X Jurusan

Material dan Metalurgi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Sumber radiasi yang digunakan adalah Cu dengan panjang gelombang 1,54056 Å dioperasikan pada tegangan 40 kV dan arus 30 mA.

Pola difraksi yang diperoleh dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan bantuan perangkat lunak *MATCH!2*. Untuk mengetahui karakteristik material secara kuantitatif berdasarkan data difraksi sinar- X maka dilakukan analisis *Rietveld*. Material akan dikarakterisasi dengan menggunakan perangkat lunak *Rietica* yang berbasis pada penghalusan *Rietveld*.

b. *Fourier Transform Infrared* (FTIR)

Untuk mengetahui ikatan-ikatan yang terbentuk dalam karbon aktif dilakukan pengujian FTIR yang berkaitan dengan energi vibrasional molekul. Pengujian spektroskopi FTIR dilakukan di Laboratorium instrumen jurusan Kimia ITS. Alat ini memiliki bilangan gelombang ($V_m=1/\lambda$) yang berada pada kisaran 4000-400 cm^{-1} atau pada panjang gelombang 2,5 μm -25 μm .

c. *Scanning Electron Microscope* (SEM)

Untuk mengetahui struktur mikro atau morfologi serta ukuran butir rata-rata dari karbon aktif, BaM dan komposit karbon aktif/BaM dilakukan pengujian SEM. Pengujian SEM dilakukan di Laboratorium Energi Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Pengujian ini menggunakan alat SEM EVO MA 10 dengan perbesaran hingga 1.000.000 kali.

d. *Two Point Probe*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui konduktivitas listrik dari karbon aktif dan komposit karbon aktif/BaM.

Metode pengukuran nilai konduktivitas listrik dilakukan dengan menggunakan *two point probe* dengan sampel dalam bentuk pelet. Pengujian konduktivitas listrik dilakukan di BATAN, Serpong.

e. *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*

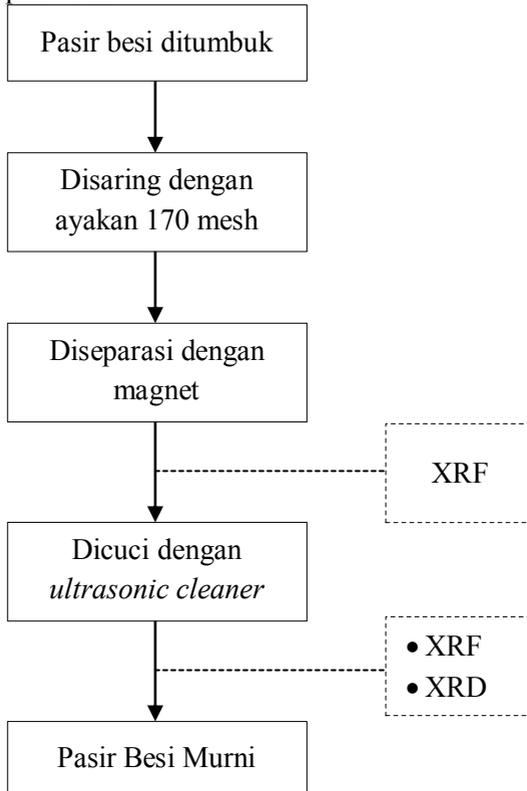
Pengujian VSM dari BaM dilakukan untuk memperoleh kurva histeresis magnetisasi suatu bahan, baik sebagai fungsi temperatur (maksimal 300 K) dan sebagai fungsi medan luar (maksimal $\pm 1,2$ T). Pengujian VSM dilakukan di BATAN Serpong. Pengujian tersebut menggunakan VSM tipe OXFORD VSM1.2H.

f. *Vector Network Analyzer (VNA)*

Vector Network Analyzer (VNA) digunakan untuk mengukur gelombang mikro dan parameter *scattering* suatu bahan pada rentang frekuensi 10 MHz sampai 110 GHz. Pengukuran VNA secara akurat adalah perbandingan kompleks dari sinyal terpantul (refleksi) dengan sinyal awal (S_{11}) sebagaimana perbandingan antara sinyal tertransmisi (terpancar) dengan sinyal awal (S_{21}). Pengukuran dilakukan di LIPI Bandung dengan menggunakan VNA ADVANTEST tipe-3770.

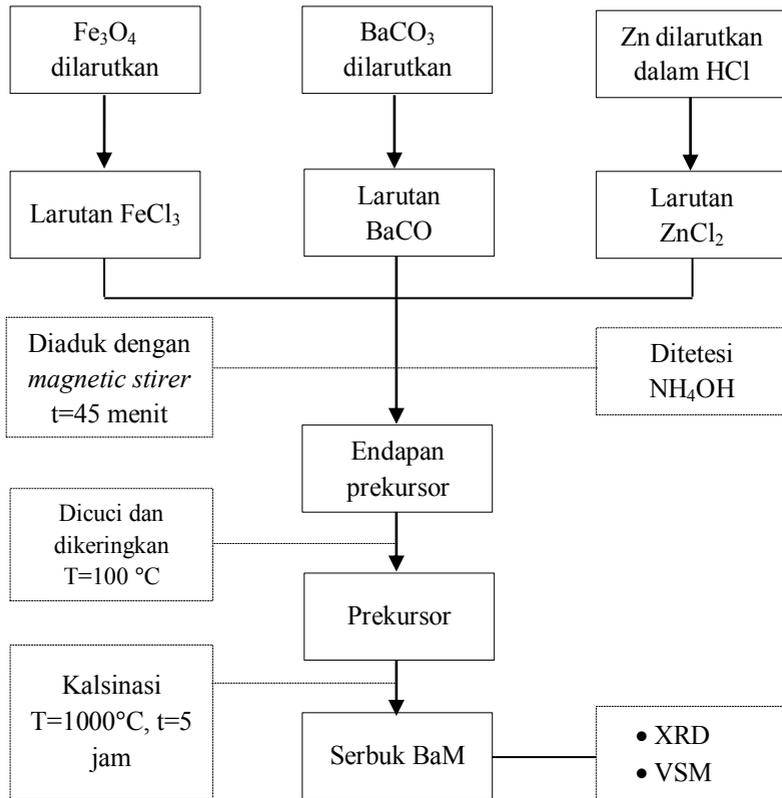
3.3 Diagram Alir Penelitian

- Ekstraksi pasir besi



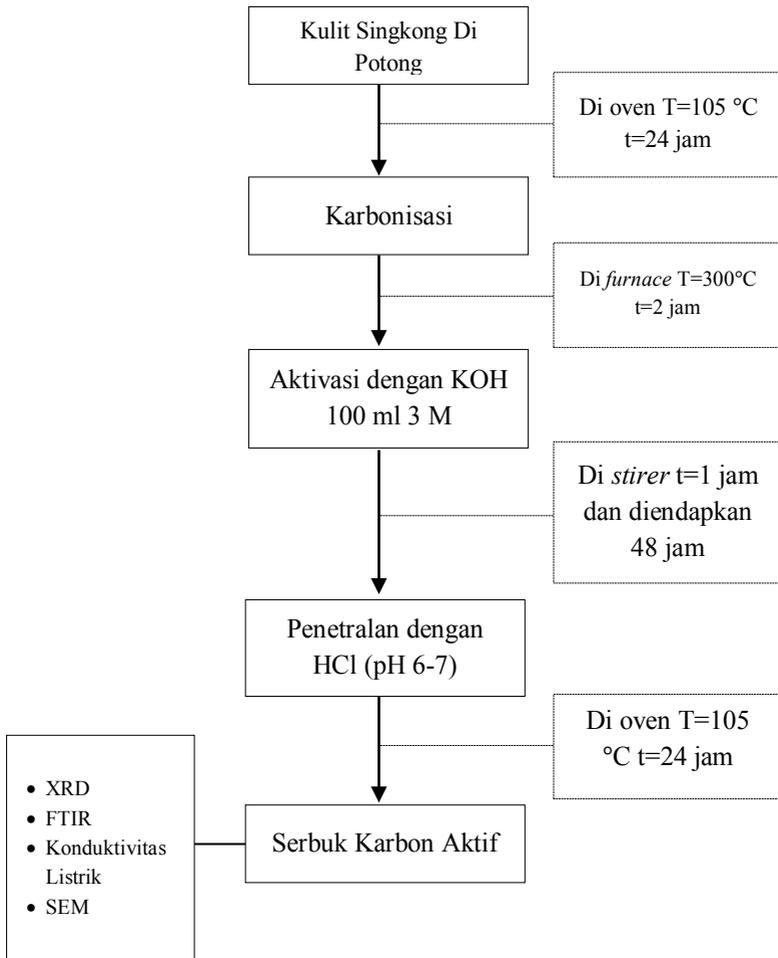
Gambar 3.2 Diagram alir ekstraksi pasir besi

- Sintesis barium M-heksaferit



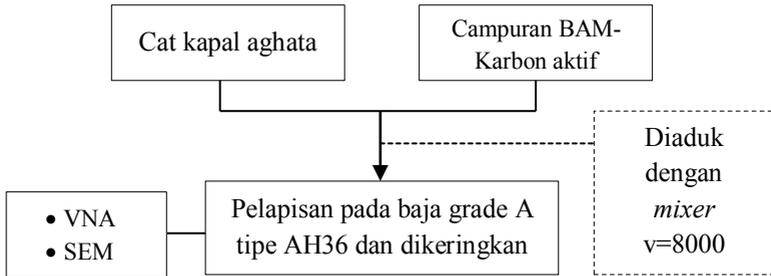
Gambar 3.3 Diagram alir sintesis barium M-heksaferit

- Sintesis karbon aktif dari kulit singkong



Gambar 3.4 Diagram alir sintesis karbon aktif kulit singkong

- Pelapisan *single layer* pada baja kapal



Gambar 3.5 Diagram alir pelapisan *single layer* pada baja kapal

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Karbon Aktif Kulit Singkong

Karbon aktif merupakan salah satu adsorben yang paling sering digunakan pada proses adsorpsi. Hal ini disebabkan karena karbon aktif mempunyai daya adsorpsi dan luas permukaan yang lebih baik dibandingkan adsorben lainnya. Luas permukaan yang dimilikinya disebabkan karena karbon aktif memiliki struktur berpori. Namun pori-pori tersebut masih tertutup hidrokarbon, ter, dan komponen lain seperti abu, air, nitrogen dan sulfur.

Karbon aktif dapat ditingkatkan daya adsorpsinya dengan proses aktivasi. Pada proses aktivasi ini terjadi penghilangan hidrogen, gas-gas dan air dari permukaan karbon sehingga terjadi perubahan fisik pada permukaannya. Terdapat beberapa macam aktivasi yaitu aktivasi secara fisika dan secara kimia. Aktivasi kimia dilakukan dengan mencampur material karbon dengan bahan-bahan kimia atau reagen pengaktif, selanjutnya campuran dikeringkan dan dipanaskan. Dalam penelitian ini digunakan proses aktivasi secara kimia dengan menggunakan zat aktivator KOH (Kalium Hidroksida). Penggunaan KOH dimaksudkan untuk mencegah pembentukan tar, asam asetat, methanol, dll. Karbon akan bereaksi dengan KOH menghasilkan CO_2 yang berdifusi pada permukaan karbon. Reaksi terus berlanjut dengan mengikis dinding karbon sehingga terbentuk pori-pori baru.

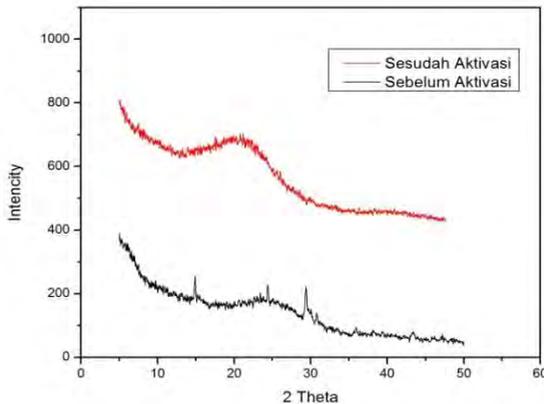


Gambar 4.1 Karbon Aktif Kulit Singkong

4.1.1 Analisis Morfologi dan Ikatan Antar Molekul Karbon Kulit Singkong

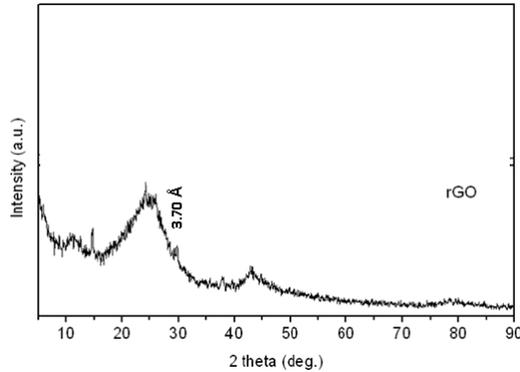
Pada penelitian ini, difraksi sinar-X digunakan untuk mengkarakterisasi karbon aktif kulit singkong hasil karbonisasi dan aktivasi.

sebelum dan sesudah aktivasi ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Hasil Uji XRD Karbon Kulit Singkong Sebelum dan Sesudah Aktivasi

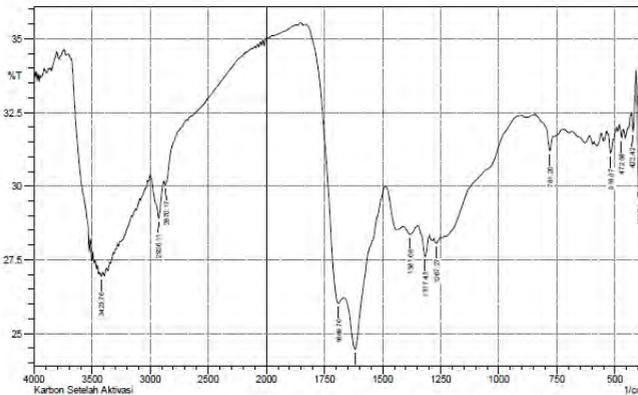
Hasil uji XRD ini adalah berupa grafik pola difraksi menunjukkan pola yang mirip dengan pola difraksi pada *reduced graphene oxide* (rGO). Hal ini dikarenakan serbuk karbon aktif terbuat dari kulit singkong yang merupakan bahan alam dan bukan bahan sintesis. Bahan alam sudah tersedia dan terbentuk oleh alam dan biasanya memiliki struktur amorf. Pola difraksi rGO menandakan ciri bahan dengan struktur kristal amorf dengan puncak yang tidak tajam. Puncak difraksi dari rGO dimulai pada sekitar sudut 16° dan terus meningkat hingga mencapai nilai 40° seperti ditunjukkan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Pola XRD *reduced graphene oxide* (rGO)

Pola difraksi karbon aktif kulit singkong terdiri dari 2 bukit dengan luas daerah yang besar dan ujung bukit yang tumpul, hal ini menunjukkan bahwa karbon dalam arang berkecenderungan berstruktur amorf. Hasil ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Tanaka *et al*, (1997) dan Lu *et al*, (2001) yang menyatakan adanya penurunan derajat kristalinitas selama proses aktivasi. Dibandingkan dengan hasil pola difraksi karbon aktif kulit singkong sebelum aktivasi, puncak lebar belum begitu terlihat dan intensitas puncak rendah. Selain itu terdapat beberapa puncak tersusun tidak beraturan. Meningkatnya intensitas dan lebar dari puncak disebabkan karena adanya proses aktivasi dengan KOH pada karbon kulit singkong. Aktivasi ini menyebabkan pembentukan pori dan pembebasan gas seperti CO dan CO₂ sehingga konduktivitas karbon aktif meningkat.

Uji spektroskopi inframerah bertujuan untuk melihat gugus fungsional sampel karbon aktif kulit singkong. Keluaran yang diperoleh dari spektroskopi FTIR ini yaitu berupa grafik hubungan prosesentase transmisi (%T) terhadap bilangan gelombang (cm⁻¹). Spektrum FTIR karbon aktif kulit singkong ditunjukkan pada gambar 4.4.



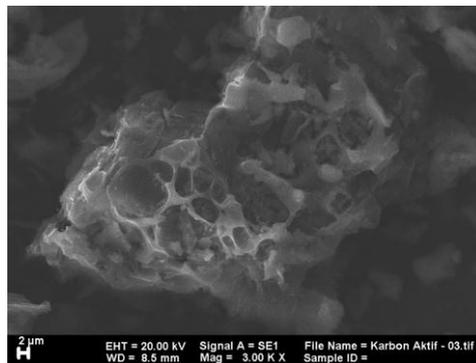
Gambar 4.4 Spektrum FTIR Karbon Aktif Kulit Singkong

Kemampuan karbon aktif mengadsorpsi ditentukan oleh struktur kimianya yaitu atom C, H dan O yang terikat secara kimia membentuk gugus fungsional. Gugus fungsional ini membuat permukaan karbon aktif secara kimiawi dapat mempengaruhi sifat adsorpsinya. Hasil analisis identifikasi gugus fungsi FTIR pada gambar 4.4 menunjukkan adanya pita serapan di daerah bilangan gelombang $1689,7 \text{ cm}^{-1}$ yang menandakan adanya gugus C=O. Serapan pada $2870,17 \text{ cm}^{-1}$ dan $2926,11 \text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya ikatan C-H. Kemudian terdapat ikatan C=C cincin aromatic pada bilangan gelombang $1618,33 \text{ cm}^{-1}$. Selanjutnya pita serapan pada 3423 cm^{-1} menunjukkan adanya ikatan O-H dalam gugus fungsi alkohol. Ikatan =C-H terdapat pada bilangan gelombang $781,2 \text{ cm}^{-1}$. Pada *reduced graphene oxide* (rGO) memiliki persebaran unsur oksigen dan hidrogen yang tidak merata pada strukturnya, sehingga tampak terdapat absorpsi O-H stretching akibat sisa kandungan air dan C=C aromatic stretching yang merupakan ikatan utama pada struktur graphene. Hasil karakterisasi menggunakan FTIR dapat dikonfirmasi bahwa telah terbentuk karbon aktif dengan jenis ikatan O-H, C-H, C-O, dan C=C yang merupakan ikatan utama pembentuk karbon sehingga dapat digunakan sebagai adsorben.

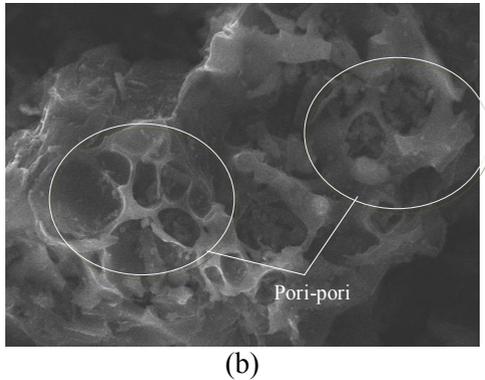
Tabel 4.1. Hasil Kesesuaian Bilangan Gelombang dengan Gugus Fungsi Karbon Aktif Kulit Singkong

Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Intensitas	Ikatan	Gugus Fungsi
781,2	31,2	=C-H out of bending	Alkena
1267,27	28,065	C-H	Aromatic homocyclic
1381,08	28,37	C-H def	Alkana
1618,33	24,466	C=C str	Aromatic homocyclic
1689,7	26,025	C=O	Aldehyde & ketone
2870,17	30,04	C-H	Alkana
2926,11	28,919	C-H	Alkana
3423,76	26,935	O-H	Alkohol, fenol

Untuk menganalisa mikrostruktur dan morfologi karbon aktif serta pori-porinya, maka dilakukan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*). Hasil pengamatan SEM untuk sampel bahan karbon aktif kulit singkong dapat dilihat pada gambar 4.5.



(a)



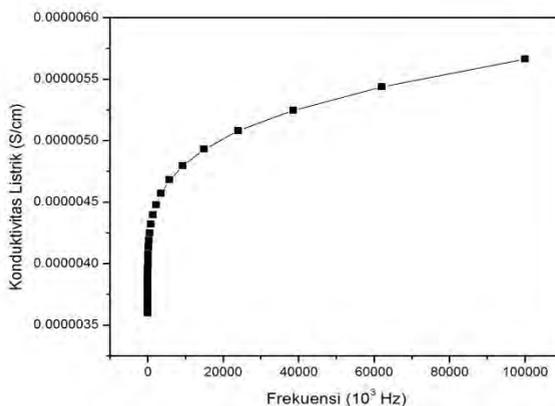
Gambar 4.5 (a) dan (b) hasil SEM karbon aktif kulit singkong

Hasil pengamatan mikrostruktur pada permukaan karbon aktif menunjukkan bahwa partikel karbon aktif memiliki jumlah pori yang sangat banyak. Banyaknya pori-pori yang terdapat pada permukaan karbon menyebabkan besarnya *surface area* atau luas permukaan spesifik yang berperan pada penyerapan gelombang mikro. Bentuk partikel karbon aktif cenderung tidak beraturan karena struktur yang amorf. Pori-pori pada karbon aktif kulit singkong terbentuk karena adanya proses aktivasi setelah proses karbonisasi. Selama proses aktivasi, terjadi pembentukan pori-pori baru akibat penguraian senyawa organik pada kulit singkong seperti tar, fenol, methanol dan senyawa lain. Proses aktivasi ini juga menyebabkan pembebasan gas seperti CO dan CO₂ yang akan berdifusi pada permukaan karbon aktif dan kemudian mengikis permukaannya sehingga terbentuk pori. Selain pembentukan pori baru, proses ini juga menyebabkan peningkatan ukuran pori yang sudah ada. Proses aktivasi dilakukan secara reaksi kimia dengan menggunakan senyawa bersifat basa KOH yang berfungsi sebagai reagen pengaktif.

4.1.2 Analisis Sifat Kelistrikan Karbon Aktif Kulit Singkong

Konduktivitas listrik merupakan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Tidak semua bahan memiliki

konduktivitas listrik. Besarnya konduktivitas bahan konduktor bervariasi kurang lebih antara 10^2 sampai 10^6 S/cm, semikonduktor antara 10^{-8} sampai 10^2 S/cm, dan isolator antara 10^{-18} sampai 10^{-8} . Konduktivitas listrik karbon aktif diukur menggunakan LCR meter dengan metode *two point probe*. Hasil pengujian konduktivitas karbon aktif kulit singkong menunjukkan hubungan antara konduktivitas listrik dan frekuensi ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Konduktivitas Listrik Karbon Aktif Kulit Singkong

Dari pengukuran konduktivitas menggunakan metode *two point probe* tersebut diperoleh data berupa nilai konduktivitas untuk karbon aktif kulit singkong. Dalam pembuatan material RAM, karbon aktif berperan sebagai material dielektrik yang memiliki konduktivitas listrik sehingga dapat diaplikasikan sebagai penyerap gelombang elektromagnetik. Material dielektrik dapat menyebabkan muatan terinduksi ketika dilewati gelombang elektromagnetik sehingga terjadi pergerakan muatan menggunakan energi yang dipancarkan oleh gelombang elektromagnetik tersebut.

Nilai konduktivitas rata-rata material karbon aktif kulit singkong sebesar $4,24 \times 10^{-6}$ S/cm, nilai tersebut berada pada rentang material semikonduktor. Material semikonduktor sendiri

sangat baik digunakan sebagai material penyerap radar. Mekanisme konduktivitas pada karbon aktif disebabkan oleh kehadiran radikal bebas yang berperan dalam proses penghantaran arus. Ketika gelombang mikro mengenai material yang dilapisi dengan bahan dielektrik seperti karbon aktif yang memiliki radikal bebas, maka medan listrik dari gelombang EM akan menyebabkan timbulnya gaya Coulomb. Muatan akan bergerak dengan percepatan tertentu sehingga dari pergerakan muatan ini menghasilkan arus listrik. Arus listrik menyebabkan panas, sehingga terjadi konversi energi dari energi gelombang elektromagnetik menjadi energi panas.

4.2 Analisis Material Magnetik

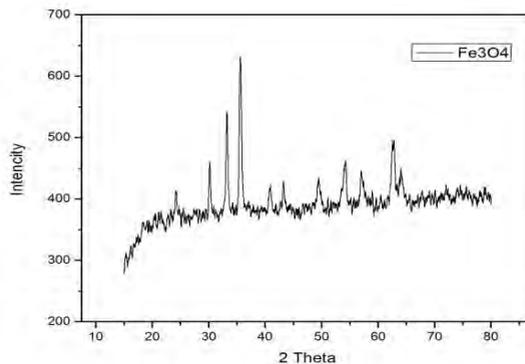
Material magnetik BaM disintesis dari bahan alam yaitu pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan. Kandungan Fe pada pasir besi digunakan sebagai prekursor ion Fe dalam pembuatan $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$. Hasil pengujian XRF pasir besi setelah pencucian ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pengujian *X-Ray Fluorescence* (XRF) pasir besi Tanah Laut Kalimantan Selatan

No	Unsur	Sebelum Pencucian (%)	Setelah Pencucian (%)
1	Si	3.3	-
2	P	0.2	-
3	Ca	2.46	0.35
4	V	0.035	-
5	Cr	0.1	0.097
6	Mn	0.31	0.26
7	Fe	91.04	98.55
8	Ni	0.073	0.08
9	Cu	0.76	0.1
10	Br	0.43	-
11	Rb	0.55	0.69

12	La	0.1	0.05
13	Eu	0.6	-
14	Os	0.2	-

Hasil XRF (*X-Ray Fluorescence*) pasir besi sebelum pencucian menunjukkan kandungan mineral tertinggi dari pasir besi adalah unsur Fe sebesar 91.04 %. Namun masih banyak unsur-unsur pengotor seperti Si (3.3 %), Ni, Cu, dan beberapa unsur lain yang persentasenya dibawah 1 %. Untuk meningkatkan kandungan Fe pada pasir besi dilakukan proses pencucian menggunakan *ultrasonic cleaner*. Pasir besi yang dihasilkan dari pencucian dengan *ultrasonic cleaner* kemudian di uji menggunakan XRF kembali. Analisa hasil uji XRF pasir besi setelah pencucian menunjukkan adanya peningkatan kandungan unsur Fe menjadi 98.55%. terdapat juga pengurangan beberapa unsur pengotor serta unsur-unsur yang hilang seperti Si, P, Br dan beberapa unsur lain. Karena kandungan unsur Fe yang dominan pada material pasir besi, maka pasir besi tersebut dapat dijadikan referensi sebagai prekursor ion Fe pada pembuatan BaM ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$).



Gambar 4.7 Analisa Hasil Difraksi Sinar-X Pasir Besi dengan Menggunakan *Software Match!*

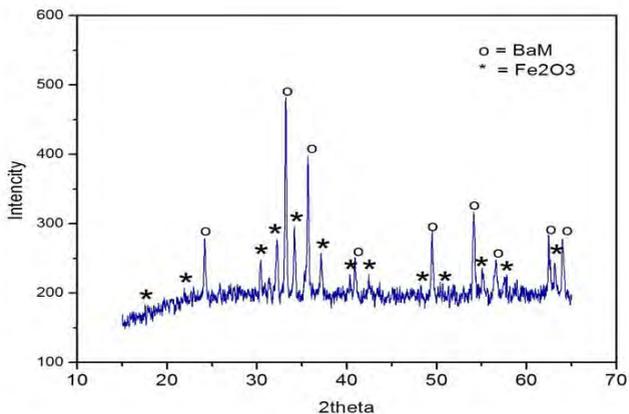
Untuk mengetahui fasa yang terkandung dalam pasir besi, maka dilakukan uji XRD (*X-Ray Diffraction*)

1 8

puncak-puncak difraksi yang selanjutnya diolah dengan menggunakan *software* Match! untuk menganalisa fasa yang terbentuk dari sampel. Hasil analisa fasa pasir besi ditunjukkan pada gambar 4.7. Fasa yang dibutuhkan dalam pembuatan BaM adalah fasa Fe_3O_4 . Berdasarkan hasil analisa menggunakan *software* match!, pasir besi teridentifikasi mempunyai fasa magnetit (Fe_3O_4).

4.2.1 Analisis Fasa BaM dengan Difraksi Sinar-X

Karakterisasi hasil sintesis menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) pada jangkauan sudut 2 theta 15° sampai 65° digunakan untuk mengidentifikasi fasa-fasa yang terbentuk pada sampel. Gambar 4.8 memperlihatkan pola difraksi sinar X sampel BaM yang telah dikalsinasi pada temperatur 1000°C dengan *holding time* 5 jam dan konsentrasi ion doping Zn sebesar 0,3. Hasil pola difraksi tersebut kemudian dianalisa menggunakan *software* Match! Untuk mengidentifikasi fasa yang terbentuk secara kualitatif.



Gambar 4.8 Pola Difraksi Sinar-X BaM

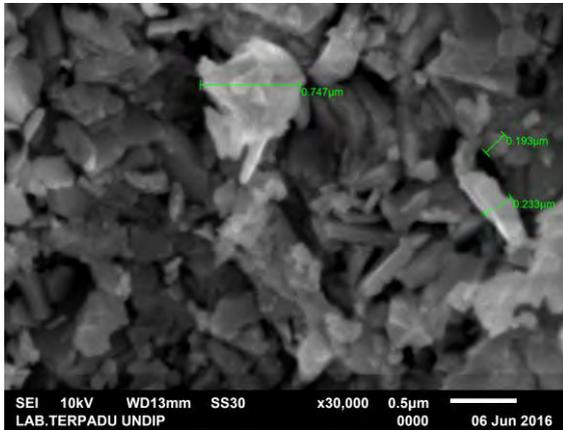
Berdasarkan hasil *searchmatch*, sampel tersebut teridentifikasi memiliki dua fasa yaitu fasa $(\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3)$

[PDF 00-072-0469] serta fasa yang kedua yaitu BaM [PDF 00-084-0757]. Terbentuknya fasa (α -Fe₂O₃) dikarenakan adanya proses pemanasan fasa magnetit (Fe₃O₄) pada pasir besi. Digunakan suhu 1000° C pada proses kalsinasi karena pada penelitian yang telah dilakukan Irwan (2011), pada temperatur 1000°C diperoleh serbuk BaM yang paling baik. Untuk mengetahui kandungan fasa secara kuantitatif maka dilakukan analisa lebih lanjut dengan metode *Rietveld* menggunakan *software rietica*. Hasil *refinement* menggunakan *software rietica* menunjukkan bahwa fasa BaM (BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O₁₉) yang terbentuk sebesar 86,44% dan fasa Hematite (Fe₂O₃) sebesar 13,56% dengan parameter kecocokan (GoF) sebesar 1,24 yang menunjukkan tingkat kesesuaian data terhitung dan data terukur yang cukup tinggi.

Kehadiran ion Zn²⁺ pada struktur BaM menggantikan ion Fe³⁺ tidak mengubah struktur kristal nya, namun menyebabkan perubahan parameter kisi akibat jari-jari ionik Zn lebih besar dari jari-jari ionik Fe. Parameter kisi BaM tanpa doping (BaFe₁₂O₁₉) berdasarkan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Rosyidah (2013) yaitu a=b=5,880 Å dan c=23,123 Å, dengan volume sel satuan 692,4 Å. Sedangkan pada penelitian ini parameter kisi BaM dengan doping ion Zn²⁺ x=0,3 (BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O₁₉) berdasarkan analisis *software Rietica* diperoleh a=b=5.882538 Å dan c=23.193657 Å, dengan volume sel satuan 695.071106 Å. Pergeseran nilai parameter kisi dan volume sel satuan ini mengkonfirmasi bahwa Zn²⁺ menggantikan posisi Fe³⁺ dalam struktur BaM (BaFe_{11,7}Zn_{0,3}O₁₉), dimana volume BaM dengan doping Zn lebih besar daripada tanpa doping.

4.2.4 Analisis Mikrostruktur BaM menggunakan SEM

Karakterisasi menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscope*) dimaksudkan untuk mengetahui mikrostruktur serta morfologi dari BaM doping ion Zn. Adapun hasilnya ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Bentuk Morfologi barium M-heksferit menggunakan SEM

Gambar 4.9 menunjukkan struktur morfologi BaM dengan perbesaran 25.000 kali. Dari hasil tersebut dapat dilihat bahwa belum terbentuk kristal-krisal heksagonal sebagaimana teori yang menyatakan bahwa BaM memiliki struktur heksagonal. Ukuran partikel BaM yang terbentuk memiliki ukuran , 33μ - , 979μ , namun ada beberapa partikel yang berbentuk lain sehingga mengindikasikan masih adanya partikel dari fasa lain yaitu partikel hematite. Hal tersebut dapat dikonfirmasi melalui hasil identifikasi fasa hasil XRD yang menunjukkan bahwa memang terbentuk fasa dominan BaM dan fasa sekunder hematite. Untuk mengetahui secara kualitatif dan kuantitatif persebaran elemen-elemen penyusun BaM maka dilakukan analisis menggunakan SEM-EDX. Pengujian ini juga dimaksudkan untuk mengetahui distribusi komposisi yang terdapat pada material BaM dan meyakinkan bahwa penambahan doping ion Zn pada $BaFe_{12}O_{19}$ telah berhasil disubstitusi pada BaM sesuai dengan tujuan awal. Hasil karakterisasi menggunakan EDX ditunjukkan pada gambar 4.10. Hasil SEM-EDX tersebut dapat dikonfirmasi bahwa telah terbentuk $BaFe_{11.7}Zn_{0.3}O_{12}$ yang dibuktikan dengan adanya persebaran elemen-elemen penyusun utamanya antara lain Ba, Fe, O dan Zn. Dari hasil tersebut juga

terlihat bahwa telah terjadi penambahan dopan Zn pada BaM ini yang dibuktikan dengan munculnya komposisi unsur Zn pada hasil SEM-EDX.



Gambar 4.10 Penyebaran Komposisi Penyusun BaM Menggunakan SEM-EDX

Dari data tersebut dapat dibuat tabel prosentase persebaran atom penyusun dari BaM seperti ditunjukkan pada tabel 4.3 berikut:

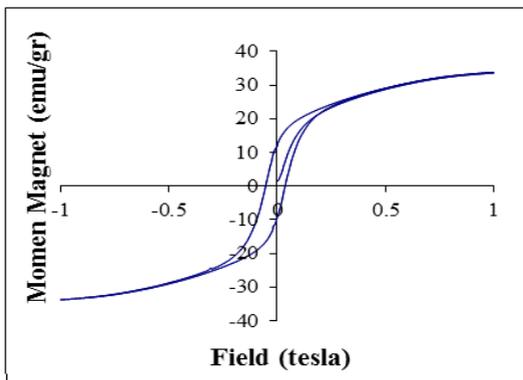
Tabel 4.3 Prosentase persebaran atom penyusun BaM

Elemen	Nomor Atom	Atom (at. %)
O	8	95.08
Fe	26	4.44
Zn	30	0.24
Ba	56	0.24

Berdasarkan pengamatan *backscatter* (warna) merah (O), ungu (Ba), biru (Zn), dan hijau (Fe) dimana material tersebut menyebar merata, yang merupakan elemen utama pembentuk BaM. Prosentase persebaran atom penyusun BaM dapat dilihat pada tabel 4.3. prosentase atom Ba, Fe, Zn dan O secara berturut-turut adalah 0.24 %, 4.44 %, 0.24% dan 95.08%. prosentase persebaran atom O dan Fe memiliki nilai yang paling besar karena O dan Fe merupakan unsur utama pada pembentukan $\text{BaFe}_{11.7}\text{Zn}_{0.3}\text{O}_{12}$.

4.2.3 Analisis Sifat Magnet BaM menggunakan VSM

Untuk mengetahui sifat magnet dari BaM, maka dilakukan pengukuran dengan menggunakan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Data yang diperoleh dari pengujian ini yaitu berupa kurva histeresis. Kurva histeresis terbentuk melalui mekanisme pemberian medan magnet eksternal pada bahan sehingga domain-domain magnetik dalam bahan akan mensejajarkan diri searah dengan medan magnet dari luar. Dari kurva histeresis dapat diketahui besarnya medan koersivitas (H_c), magnetisasi remanen (M_r) dan magnetisasi maksimum (M_s). Medan koersivitas menunjukkan besarnya medan magnet luar yang dibutuhkan untuk menyearahkan domain-domain magnetik. Semakin besar nilai medan koersivitas maka sifat kemagnetannya semakin kuat. Magnetisasi maksimum merupakan kemampuan partikel untuk mempertahankan kesearahan domain-domain magnetiknya. Dalam keadaan ini semua domain berada pada arah yang sama (saturasi).. Magnetisasi remanensi adalah remanensi magnetisasi yang tersisa dalam bahan setelah medan luar dihilangkan. Hasil pengukuran sifat magnet BaM dengan konsentrasi doping Zn = 0,3 ditunjukkan pada gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil VSM BaM Doping $x=0,3$

Dari kurva histeresis hasil VSM tersebut dapat dibuat Tabel nilai magnetisasi remanen (M_r), magnetisasi maksimum (M_s) dan medan koersivitas (H_c) yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Sifat Magnet BaM

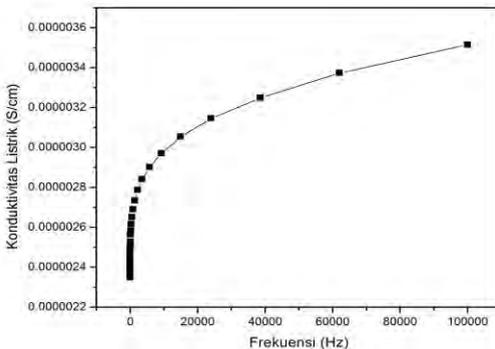
X	Medan Koersivitas (T)	Magnetisasi Remanensi (emu/gr)	Magnetisasi Maksimum (emu/gr)
0,3	0,0506	14,782	34

Material BaM memiliki sifat *hard magnetic* dengan koersivitas tinggi. Penelitian yang telah dilakukan oleh Rosyidah (2013) diperoleh material BaM tanpa doping dengan nilai magnetisasi maksimum ~ 16 emu/gr, medan koersivitas (H_c) $\sim 0,1734$ T, dan besar magnetisasi remanensi (M_r) $\sim 8,334$ emu/gr. Dalam aplikasinya, material *hard magnetic* sukar untuk demagnetisasi akibat domain-domain yang telah terarah, akibatnya dibutuhkan energi yang sangat besa untuk mengubah arah doaminnya, untuk itu diperlukan mekanisme perubahan sifat megnetnya menjadi *soft magnetic* untuk menjadikan arah domain yang acak agar energi yang dibutuhkan tidak terlalu besar untuk aplikasinya sebagai penyerap gelombang mikro. Jika dibandingkan dengan BaM tanpa doping, maka dapat dilihat bahwa terjadi penurunan medan koersivitas setelah diberikan doping Zn^{2+} . Nilai magnetisasi maksimum dari BaM meningkat dari 16 emu/g menjadi 34 emu/g dan nilai magnetisasi remanensi BaM juga meningkat dari 8,334 emu/g menjadi 14,782 emu/g. Sedangkan nilai medan koersivitas menurun dari 0,1734 T menjadi 0,0506 T. Penurunan nilai medan koersivitas dikarenakan kehadiran ion Zn^{2+} yang masuk ke dalam struktur $BaFe_{12}O_{19}$ menggantikan ion Fe^{3+} sehingga mampu mengacak-acak susunan domain magnetik dan memperkecil momen magnetik total. Dari hasil karakterisasi menggunakan VSM mengkonfirmasi bahwa pemberian doping ion Zn^{2+} dengan konsentrasi $x=0,3$ pada

material BaM telah mengubah sifat magnetik BaM menjadi *soft magnetic*.

4.3 Analisis Campuran Karbon Aktif dan BaM

Material RAM pada penelitian ini merupakan campuran dari karbon aktif kulit singkong yang berperan sebagai material dielektrik dan BaM yang disintesis dari pasir besi sebagai material magnetik. Kedua bahan ini dicampurkan guna dapat diaplikasikan sebagai material penyerap radar. Konduktivitas listrik campuran karbon aktif kulit singkong dan BaM diukur menggunakan LCR meter dengan metode *two point probe*. Hasil pengujian konduktivitas listrik menunjukkan hubungan antara konduktivitas listrik dan frekuensi yang ditunjukkan pada gambar 4.12.



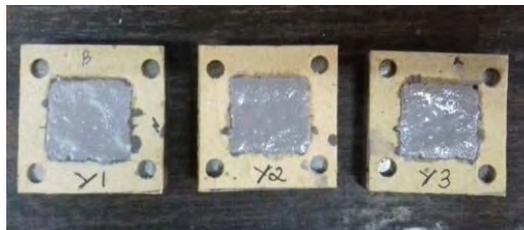
Gambar 4.12 Konduktivitas Listrik Campuran Karbon-BaM

Pada pengukuran konduktivitas campuran karbon aktif kulit singkong dan BaM adalah untuk mengetahui kemampuan material tersebut dalam menghantarkan arus listrik setelah dicampurkan dengan BaM yang merupakan material dengan sifat kemagnetan yang besar. Dari gambar 4.12 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas campuran karbon aktif kulit singkong dan BaM meningkat berdasarkan penambahan frekuensi. Nilai

konduktivitas campuran karbon aktif kulit singkong dan BaM memiliki nilai rata-rata $2,68 \times 10^{-6}$ S/cm, nilai tersebut lebih kecil bila dibandingkan dengan nilai konduktivitas karbon, hal ini dikarenakan adanya BaM pada campuran yang bersifat magnet kuat sehingga terjadi penurunan nilai konduktivitas. Kehadiran karbon aktif pada campuran ini tidak hanya memiliki konduktivitas listrik yang baik, tetapi juga meningkatkan penyerapan gelombang mikro dan memperluas wilayah penyerapan dari material penyerap radar tersebut.

4.4 Analisis Penyerapan Material RAM

Pengukuran daya serap terhadap gelombang mikro dilakukan dengan melapiskan campuran karbon aktif – BaM dengan perbandingan massa 1:1 pada baja *grade* A tipe AH36 dengan variasi ketebalan 2 mm, 3 mm dan 4 mm. Pelapisan ini dilakukan dengan mencampurkan pada cat khusus plat kapal (Cat Aghata). Plat baja *grade* A tipe AH36 merupakan plat yang digunakan untuk konstruksi kapal perang di Indonesia. Dengan menggabungkan kedua material karbon aktif-BaM serta variasi ketebalan lapisan diharapkan dapat memperluas aplikasi dari material tersebut pada pembuatan *radar absorbing material*. Sampel pelapisan campuran karbon aktif-BaM dan cat pada plat baja *grade* A tipe AH36 ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Sampel Pelapisan Campuran Karbon-BaM

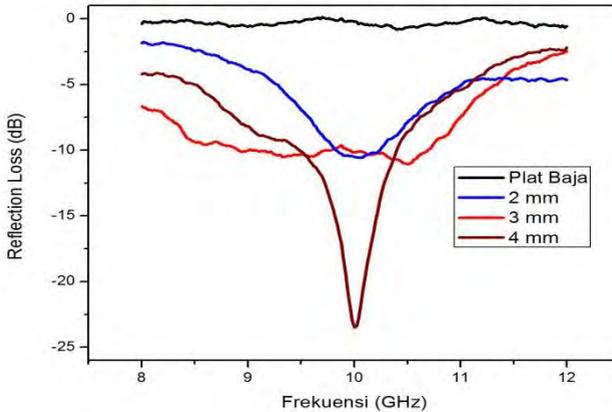
Pengukuran ketebalan lapisan pada plat baja dilakukan dengan menggunakan jangka sorong, hal ini dilakukan untuk

memastikan ketebalan sampel pelapisan seperti ditunjukkan pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Pengukuran ketebalan lapisan menggunakan jangka sorong

Campuran karbon aktif- BaM yang telah disintesis ini mempunyai sifat kemagnetan dan kelistrikan dimana sifat kemagnetannya disumbangkan oleh partikel BaM dan sifat kelistrikannya disumbangkan oleh karbon aktif. Dengan sifat ini diharapkan campuran karbon aktif kulit singkong dan BaM memiliki rugi magnetik dan elektrik pada saat dikenai gelombang mikro pada daerah frekuensi *x-band* (8-12 GHz). *Range* frekuensi *x-band* merupakan *range* yang biasa digunakan untuk operasi gelombang mikro pada kapal selam atau teknologi militer. Penyerapan gelombang mikro akan diidentifikasi dengan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) pada rentang frekuensi 8– 12 GHz. Hasil karakterisasi menggunakan VNA ditunjukkan pada gambar 4.15. Dari hasil karakterisasi menggunakan VNA dapat dikonfirmasi bahwa telah terbentuk material RAM yang berperan pada penyerapan gelombang mikro. Hal ini dibuktikan dengan meningkatnya nilai *reflection loss* dari masing-masing sampel dengan variasi ketebalan jika dibandingkan dengan plat baja tanpa pelapisan bahan RAM.



Gambar 4.15 Grafik hubungan frekuensi terhadap nilai *reflection loss* pada rentang frekuensi 8 – 12 GHz

Tabel 4.5 Nilai *reflection loss* sampel pada rentang frekuensi 8– 12 GHz

No	Nama Sampel	Frekuensi (GHz)	<i>Reflection Loss</i> (dB)
1	Plat Baja	10,45	-0.214
2	2 mm	10	-10.147
3	3 mm	10,6	-10.494
4	4 mm	10	-23.479

Penyerapan gelombang mikro dapat dilihat berdasarkan nilai *reflection loss* nya. Semakin besar nilai negatif *reflection loss* nya, maka semakin besar daya serap material tersebut terhadap gelombang mikro. Pada gambar 4.15 dapat dianalisa bahwa plat baja memiliki penyerapan sebesar -0,214 dB pada frekuensi 10,45 GHz, ini menunjukkan bahwa plat baja memiliki penyerapan dengan daya yang relatif kecil. Nilai maksimum *reflection loss* adalah pada sampel dengan ketebalan pelapisan 4 mm, yaitu sebesar -23,479 dB pada frekuensi 10 GHz. Sementara nilai minimum *reflection loss* terjadi pada ketebalan pelapisan 2 mm yaitu sebesar -10,147 dB pada frekuensi 10 GHz. Pada

sampel dengan ketebalan pelapisan 3 mm memiliki nilai *reflection loss* sebesar -10,494 dB pada frekuensi 10,6 GHz. Pada sampel dengan ketebalan pelapisan 4 mm memiliki nilai *reflection loss* paling besar dikarenakan volume yang besar. Pada proses penyerapan gelombang mikro berkorelasi dengan kuantitas partikel penyusun bahan penyerap gelombang mikro terhadap kemampuan penyerapannya.

Parameter penyerapan pada variasi ketebalan pelapisan yang baik tidak hanya dilihat dari nilai *reflection loss*, namun dapat juga ditinjau dari lebar pita penyerapan. Hal ini terkait dengan efektivitas pelapisan material pada aplikasinya sebagai penyerap gelombang mikro. Ketebalan pelapisan juga dapat memengaruhi bobot dari objek sehingga mengurangi utilitasnya, maka dari itu dari segi efektivitas dapat ditinjau dari lebar pita penyerapan sehingga ketebalan pelapisan dapat diminimalisir namun dari segi penyerapan tetap maksimum. Analisis lebih lanjut mengenai pelebaran pita serapan pada pelapisan dengan variasi ketebalan dapat dilihat pada tabel 4.6

Tabel 4.6 Lebar pita penyerapan pelapisan

Ketebalan	Pita Penyerapan (GHz)	Lebar Pita Penyerapan (GHz)	Reflection loss (dB)
2 mm	9,4-11	1,6	-10.147
3 mm	8,4-11,5	3,1	-10.494
4 mm	8,6-10,5	1,9	-23.479

Dari analisis lebar pita penyerapan, dapat dilihat bahwa sampel dengan ketebalan 3 mm memiliki rentang pita penyerapan yang paling besar. Sedangkan pada sampel dengan ketebalan 2 mm dan 4 mm terdapat dominasi puncak serapan pada range frekuensi tertentu. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan penyerapan material maksimum terletak pada frekuensi tersebut. Sehingga dari segi lebar pita penyerapannya didapatkan bahwa sampel dengan ketebalan 3 mm memiliki nilai lebar penyerapan

yang paling efektif.

Banyak tinjauan yang menyebabkan adanya mekanisme absorpsi pada bahan cat – campuran karbon aktif/BaM yaitu secara optik dan material. Pada tinjauan optik secara umum ada empat metode yang digunakan untuk mengurangi pendeteksian radar yaitu *shape*, *active loading*, *passive loading*, dan *distributed loading*. Pada metode *shape*, objek di desain sedemikian rupa sehingga meminimalkan gelombang yang refleksi kan, tetapi hal ini kurang efektif karena membuat desain dan struktur yang canggih memerlukan biaya yang cukup banyak. *Active loading* mendeteksi radiasi yang datang dan sinyal yang teremisikan dari amplitudo sebanding dan fase yang berlawanan saling meniadakan. *Passive loading* merupakan material yang didesain untuk memodifikasi impedansi permukaan sehingga sinyal yang kembali akan tersebar. Sedangkan *distributed loading* adalah menutupi permukaan material dengan material penyerap gelombang mikro yang memiliki sifat kelistrikan dan kemagnetan dengan distribusi yang merata.

Telah diketahui bahwa gelombang elektromagnetik terdiri dari dua komponen yaitu komponen medan listrik dan komponen medan magnet yang saling tegak lurus. Untuk mengoptimalkan penyerapan gelombang elektromagnetik, maka material pelapis harus memiliki komponen rugi kelistrikan (*electrical loss*) dan komponen rugi magnetic (*magnetical loss*) yang mampu berinteraksi dengan medan listrik maupun medan magnet dalam gelombang elektromagnetik. Material RAM pada penelitian ini merupakan campuran karbon aktif sebagai material dielektrik yang memiliki nilai rugi kelistrikan dan BaM sebagai material magnetik yang memiliki nilai rugi magnetik.

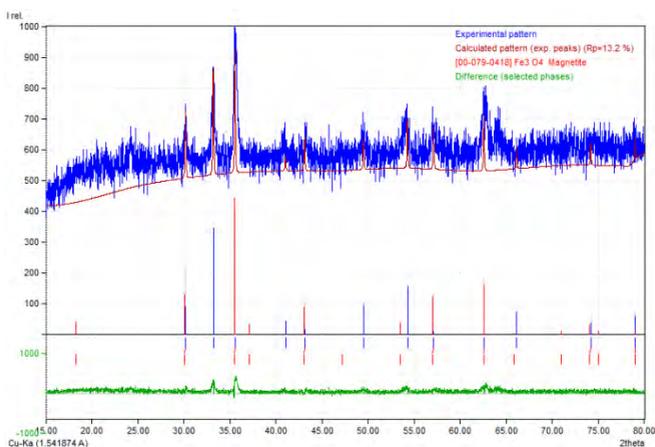
Mekanisme penyerapan oleh material magnetik diawali dengan konversi energi gelombang EM dalam proses pergerakan dipol magnetic sehingga timbul perputaran medan magnet material. Materil BaM yang pada awalnya memiliki sifat magnet yang kuat dengan domain yang terarah telah berhasil di reduksi sifat kemagnetannya melalui mekanisme doping sehingga arah

domain acak dan mudah disearahkan dengan medan magnet luar. Oleh karena itu energi yang dibutuhkan untuk memutar medan magnet dari material tidak terlalu besar. Perputaran medan magnet searah dengan medan magnet luar yang diberikan ini berperan pada proses penyerapan gelombang. Mekanisme penyerapan pada material dielektrik karbon aktif disebabkan oleh kehadiran radikal bebas yang berperan dalam proses penghantaran arus. Ketika gelombang mikro mengenai material yang dilapisi dengan bahan dielektrik seperti karbon aktif yang memiliki radikal bebas, maka medan listrik dari gelombang EM akan menyebabkan timbulnya gaya Coulomb. Muatan akan bergerak dengan percepatan tertentu sehingga dari pergerakan muatan ini menghasilkan arus listrik. Medan magnet yang ditimbulkan oleh arus listrik diperkuat oleh medan magnet dari material magnetik BaM. Adanya medan magnet dari kedua material akan saling bersuperposisi destruktif dengan medan magnet dari gelombang mikro yang datang dimana nilai amplitude sama namun memiliki beda fase yang berbeda, sehingga gelombang mikro tidak diterima kembali oleh *receiver* radar (Mustafa, 2008).

LAMPIRAN A

HASIL ANALISA KUALITATIF MENGGUNAKAN SOFTWARE MATCH!

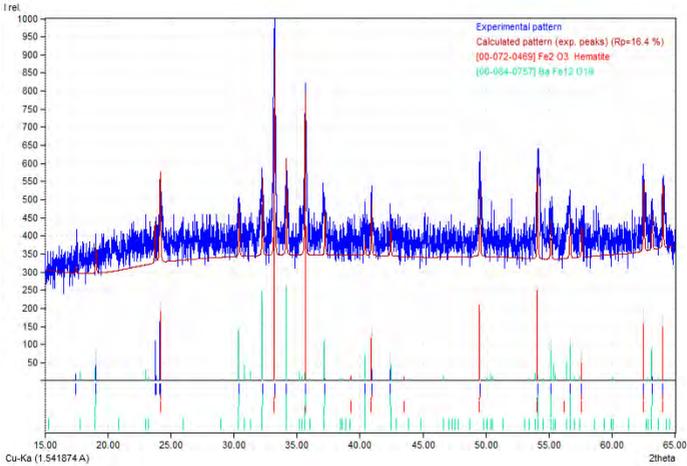
1. Pasir Besi Setelah Pencucian



A: Magnetite (100%)

Formula sum	= Fe_3O_4
Entry number	= 00-079-0418
Figure-of-Merit (FoM)	= 0.879201
Total number of peaks	= 17
Peaks in range	= 15
Peaks matched	= 7
Intensity scale factor	= 0.44
Space group	= Fd-3m
Crystal system	= Fd-3m
Unit cell	= $a = 8.3985 \text{ \AA}$
I/Icor	= 5.15
Calc. density	= 5.191 g/cm^3
Reference	= Calculated from ICSD using POWD-12++ 62 , 75 (1997)

2. Barium M-Heksaferit



<i>Index</i>	<i>Amount (%)</i>	<i>Name</i>	<i>Formula Sum</i>
A	63.3	Hematite	Fe ₂ O ₃
B	36.7		Ba Fe ₁₂ O ₁₉

A: Hematite (63.3 %)

Formula sum	= Fe ₂ O ₃
Entry number	= 00-072-0469
Figure-of-Merit (FoM)	= 0.929390
Total number of peaks	= 26
Peaks in range	= 26
Peaks matched	= 9
Intensity scale factor	= 0.61
Space group	= R-3c
Crystal system	= R-3c
Unit cell	= a= 5.0380 Å
I/Icor	= 3.24
Calc. density	= 5.255 g/cm ³
Reference	= Calculated from ICSD using POWD-12++ 51 , 123 (1997)

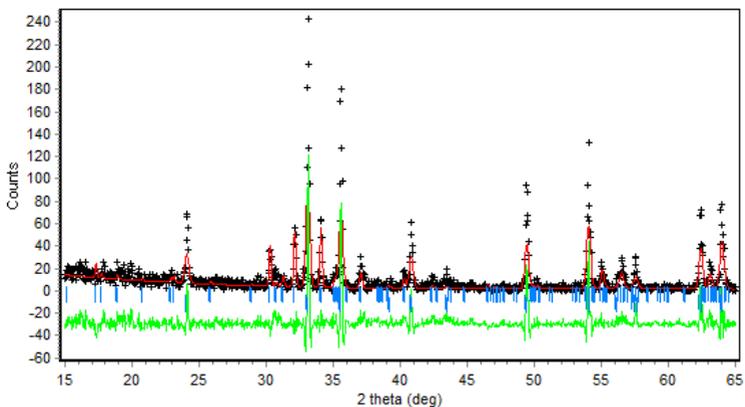
B: Ba Fe₁₂ O₁₉ (36.7 %)

Formula sum	= Ba Fe ₁₂ O ₁₉
Entry number	= 00-084-0757
Figure-of-Merit (FoM)	= 0.827622
Total number of peaks	= 126
Peaks in range	= 124
Peaks matched	= 12
Intensity scale factor	= 0.26
Space group	= P63/mmc
Crystal system	= P63/mmc
Unit cell	= a= 5.8920 Å
I/I _{cor}	= 2.34
Calc. density	= 5.295 g/cm ³
Reference	= Calculated from ICSD using POWD 12++ 56 , 171 (1997)

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN B

HASIL ANALISA KUANTITATIF MENGGUNAKAN *SOFTWARE RIETICA*



MOLAR PERCENTAGE OF PHASES:

PHASE 1: 2.94 0.26

PHASE 2: 97.06 9.02

WEIGHT PERCENTAGE OF PHASES:

13.56 1.15

86.44 7.65

Hist	Rp	Rwp	Rexp	Durbin Unwght	Durbin Wght	N-P
1	37.78	46.67	30.08	0.505	1.042	1198
SUMYDIF	SUMYOBS	SUMYCALC	SUMWYOBSQ	GOF	CONDITION	
0.5002E+04	0.1324E+05	0.1036E+05	0.1324E+05	0.2407E+01	0.3400E+18	

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Material $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ yang telah didoping ion Zn bersifat *soft magnetic* dengan medan koersivitas 0,0506 T, magnetisasi remanensi 14,782 emu/gr dan magnetisasi saturasi 34 emu/gr.
2. Karbon aktif kulit singkong bersifat elektrik dengan nilai konduktivitas rata-rata sebesar $4,24 \times 10^{-6}$ S/cm. Nilai ini berada pada rentang konduktivitas bahan semikonduktor, dimana konduktivitasnya berkisar antara 10^{-8} sampai 10^2 S/cm.
3. Nilai *reflection loss* paling besar adalah pada ketebalan 4 mm sebesar -23,479 dB. Sementara nilai *reflection loss* pada ketebalan 2 mm dan 3 mm berturut-turut sebesar -10,147 dB dan -10,494 dB.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai penelitian ini yaitu perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan metode pelapisan *multi layer*. Serta diperlukan adanya penelitian dengan menggunakan bahan RAM campuran dari bahan yang lain.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Chand, B., Roop, and Meenakshi. 2005. "Activated Carbon Adsorption." Lewis Publisher, United States of America.
- Chao, Qing. 2005. "Process Effect an Activated Carbon with Spesific Surface Area from Corn Cob." Key Laboratory for Coal Science and Technology of Shanxi Province and Ministry of Education Taiyuan University of Technology. China. hal. 110–15.
- Devi, Sukma. 2014. "Sintesis Nanopartikel dan Karakterisasi Barium M-Heksaferit Berbasis Batu Besi Tanah Laut Kalimantan Selatan Dengan Variasi Doping Zn, Temperatur Kalsinasi dan Waktu Penahanan." Laporan Thesis Jurusan Fisika. ITS Surabaya.
- Ikawati, and Melati. 2010. "Pembuatan Karbon Aktif Dari Limbah Kulit Singkong UKM Tapioka Kabupaten Pati." Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik UNDIP. Semarang.
- Mashuri. 2012. "Partikel Nano $Ni_{0,5}Zn_{0,5}Fe_2O_4$ dari Pasir Besi Sebagai Bahan Penyerap Gelombang Mikro pada Frekuensi Tinggi." Laporan Disertasi Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Pardianto, Bambang, and Wahyu Widodo. 2014. "Potensi Endapan Bijih Besi Di Kusan Hulu Kabupaten Tanah Bumbu Kalimantan Selatan." Laporan, Kelompok Kerja Mineral Pusat Sumber Daya Geologi.
- Pari, G., Saptadi Darmawan, and Bambang Prihandoko. 2014. "Porous Carbon Spheres from Hydrothermal Carbonization and KOH Activation on Cassava and Tapioca Flour Raw Material." *Procedia Environmental Sciences*.

- Pullar, R. C. 2012. "Hexagonal Ferrites: A Review of the Synthesis, Properties and Applications of Hexaferrite Ceramics." *Progress in Materials Science* Vol. 57: hal. 1191–1334.
- Rosler S., Wartewig, P., and Langbein, H. 2003. "Synthesis and Characterization of Hexagonal Ferrites $\text{BaFe}_{12-2x}\text{Zn}_x\text{Ti}_x\text{O}_{19}$ ($0 \leq X \leq 2$) by Thermal Decomposition of Freeze-Dried Precursors." *Cryst. Res. Technol.* hal. 927–34.
- Rosyidah, K. C. 2013. "Sintesis Dan Karakterisasi Struktur, Sifat Magnet Dan Sifat Listrik Komposit Barium M-Heksaferit/Polianilin Berstruktur Core-Shell Berbasis Pasir Besi Alam." Laporan Tugas Akhir Jurusan Fisika. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Saville, Paul. 2005. "Review of Radar Absorbing Materials." Defence R & D Canada. Canada.
- Sembiring, Meiliata Tryana, and Tuti Sarma. 2003. "Arang Aktif (Pengenalan Dan Proses Pembuatannya)." *USU Digital Library. Indonesia.* hal. 1–9.
- Seo, I. S., W. S. Chin, and G. L. Lee. 2004. "Characterization of Electromagnetic Properties of Polymeric Composite Materials with Free Space Method." *Composite Structures.* vol. 66: hal. 533–42.
- Shepherd, Philip, Kajal K. Mallick, and Roger J. Green. 2007. "Magnetic and Structural Properties of M-Type Barium Hexaferrite Prepared by Co-Precipitation." *Journal of Magnetism and Magnetic Materials.* hal. 683–92.
- Sholihah, and Lia Kurnia. 2010. "Sintesis Dan Karakteristik Partikel Nano Fe_3O_4 Yang Berasal Dari Pasir Besi dan Fe_3O_4 Bahan Komersial (ALDRICH)." Tugas Akhir Jurusan Fisika Fakultas FMIPA ITS.

- Sudaryanto Y. 2006. "High Surface Area Activated Carbons Prepared from Cassava Peel by Chemical Activation. Chemical Engineering" Widya Mandala Surabaya Catholic University. hal. 734–39.
- Suhartana. 2006. "Pemanfaatan Tempurung Kelapa Sebagai Bahan Baku Arang Aktif Dan Aplikasinya Untuk Penjernihan Air Sumur Di Desa Belor Kecamatan Ngarangan Kabupaten Grobogan." Laboratorium Kimia Organic FMIPA UNDIP. Semarang.
- Sunaryo, and Wira Widyawidura. 2010. "Metode Pembelajaran Bahan Magnet Dan Identifikasi Kandungan Senyawa Pasir Alam Menggunakan Prinsip Dasar Fisika." Jurnal Cakrawala Pendidikan FMIPA Universitas Negeri Jakarta No. 1 Th, XXIX.
- Suzuki, R. M. 2007. "Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Bran." Departemen of Chemistry, Universidade Estadual de Maringó, Brazil, hal. 106–111.
- Ting, Tzu-Hao, and Kuo-Hui. 2009. "Synthesis, Characterization of polyaniline/BaFe₁₂O₁₉ Composites with Microwave-Absorbing Properties" Journal of Magnetism and Magnetic Materials. vol. 322: hal. 2160–66.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis “Khoirotul Yusro” merupakan anak kedua dari dua bersaudara yang lahir di desa Mendogo, Dsn. Mendogo Lor, kec. Glagah, kabupaten Lamongan pada tanggal 06 Maret 1995 dari pasangan Abdul Jamil dan Mariyam. yang telah menempuh pendidikan formal diantaranya TK Mendogo, SDN Mendogo, MTs N lamongan, MAN Lamongan dan mendapatkan pendidikan non

formal di Taman Pendidikan AL-qur’an (TPA) Mendogo. Setelah lulus dari MAN Lamongan tahun 2012, penulis mengikuti jalur tes tulis dengan beasiswa bidikmisi dan diterima di jurusan Fisika ITS pada tahun 2012 dan terdaftar dengan NRP 1112100065. Selama menjadi mahasiswa Fisika ITS penulis aktif dalam mengikuti organisasi baik jurusan maupun Institut, diantaranya staff departemen sosial masyarakat HIMASIKA ITS selama 2 periode yakni pada tahun 2013-2014 dan 2014-2015, Departemen hubungan luar UKM Cinta Rebana ITS tahun 2013-2014. Selain itu, penulis juga menjadi asisten laboratorium fisika madya, asisten laboratorium fisika dasar, serta asisten mata kuliah fisika laboratoium.