

Submitted : 14 February 2024

Revised : 23 April 2024

Accepted : 18 May 2024

**PENGARUH AMPLITUDO DAN WAKTU SONIKASI TERHADAP PENURUNAN REFLECTION LOSS PADA SINTESIS MATERIAL ABSORBER BERBASIS PASIR BESI BANTEN UNTUK APLIKASI PESAWAT ANTI RADAR**

**Erlina Yustanti<sup>1,2\*</sup>, Agung Trisdian<sup>1</sup>, Alfian Noviyanto<sup>3,4</sup>**

<sup>1</sup>Department of Metallurgical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

<sup>2</sup>Centre of Excellence, Nanomaterial and Process Technology Laboratory, Faculty of Engineering, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, 42435, Indonesia

<sup>3</sup>Center of Excellence Advanced Materials Nano Center Indonesia, Tangerang Selatan, 15314, Indonesia

<sup>4</sup>Department of Mechanical Engineering, Mercu Buana University, Jakarta Barat, 11650, Indonesia

\*Email: [erlina.yustanti@untirta.ac.id](mailto:erlina.yustanti@untirta.ac.id)

**Abstrak**

Pada era industri 5.0 kebutuhan akan perangkat elektronik dan teknologi informasi berkembang sangat pesat. Rekayasa material untuk memenuhi kebutuhan pengguna dan perkembangan zaman melibatkan penggunaan gelombang elektromagnetik dari frekuensi rendah hingga ultra tinggi. Gelombang elektromagnetik banyak membantu dalam mendukung teknologi informasi, namun efek radiasi gelombang elektromagnetik sangat mengganggu kesehatan manusia, sehingga perlu dikembangkan bahan penyerap gelombang elektromagnetik. Pada penelitian ini dikembangkan material penyerap gelombang elektromagnetik berbasis muatan lokal pasir besi dari wilayah Banten. Barium heksaferit merupakan salah satu kandidat terbaik sebagai bahan baku untuk sintesis material penyerap gelombang mikro.  $Fe_2O_3$  sebagai bahan baku barium heksaferit yang saat ini masih impor dapat digantikan fungsinya melalui penggunaan pasir besi lokal sebagai sumber Fe melalui teknik kopresipitasi menghasilkan  $FeCl_3$ . Pada penelitian ini dilakukan kombinasi rekayasa melalui substitusi Mg-Al pada Fe untuk meningkatkan unjuk kinerja material anti radar yang lebih maksimal. Prinsip kopresipitasi pada penelitian ini mencampurkan  $BaCl_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $MgCl_2$  dan  $AlCl_3$  dan diendapkan menggunakan  $NaOH$  4M. Sampel hasil kopresipitasi disinter pada temperatur  $1050^\circ C$  selama 2 jam dilanjutkan sonikasi pada variasi 0, 3, dan 6 jam dengan variasi amplitudo 45 dan 55%. Karakterisasi komposisi unsur penyusun menggunakan XRF, dilanjutkan analisis struktur kristal menggunakan XRD. Ukuran partikel dikarakterisasi menggunakan *particle size analyser* (PSA) dan unjuk kinerja sebagai material anti radar menggunakan *vector network analyzer* (VNA). Penelitian ini menghasilkan  $FeCl_3$  sebagai bahan baku dengan kemurnian 41,65% menggantikan peran  $Fe_2O_3$  dalam sintesis barium heksaferit. Material anti radar fase tunggal  $BaFe_{1,8}Mg_{0,1}Al_{0,1}O_{19}$  berhasil disintesis dengan ukuran partikel 151 nm menghasilkan *reflection loss* -23,39 dB pada sonikasi 6 jam dengan amplitudo 55%. Material cerdas anti radar hasil penelitian ini dapat penyerapan gelombang elektromagnetik hingga 99,50% pada frekuensi X-Band 8-12 GHz.

**Kata Kunci:** Absorber; Barium heksaferit; Kopresipitasi; *Reflection loss*; Sonikasi

**Abstract**

*In the decade of Industry 5.0, there has been a significant swift increase in the demand for electronic gadgets and information technology. Material engineering responds to human demands and technological advancements using electromagnetic waves throughout a wide frequency range, from low-frequency to ultra-high. Electromagnetic waves play a crucial role in supporting information technology, but the radiation from these waves harms human*

health. Therefore, designing a material that can absorb this radiation is important. This work focuses on developing an electromagnetic wave absorber material using locally sourced iron sand from the Banten region. Barium hexaferrite is an excellent choice as a primary substance to generate microwave-absorbing materials. The barium hexaferrite, which currently uses imported  $Fe_2O_3$  as its raw material, can be substituted with local iron sand as a source of Fe. This can be achieved by co-precipitation processes that produce  $FeCl_3$ . This work involved using Mg-Al substitution on Fe as an engineering technique to enhance the performance of anti-radar materials to their highest potential. In this investigation, the co-precipitation principle was employed by combining  $BaCl_2$ ,  $FeCl_3$ ,  $MgCl_2$ , and  $AlCl_3$  and then precipitating them using NaOH 4M. The sample underwent co-precipitation in the sinter at a temperature of  $1050^\circ C$  for 2 hours, followed by sonication for 0, 3, and 6 hours with amplitude changes of 45 and 55%. The sample composition is characterized using X-ray fluorescence (XRF), and further investigation of its crystal structure is conducted using X-ray diffraction (XRD). The particle size was assessed using a particle size analyzer (PSA), and the effectiveness as an anti-radar material was evaluated using a vector network analyzer (VNA). In this study,  $FeCl_3$  with a purity of 41.65%, was successfully synthesized as a substitute for  $Fe_2O_3$  in the synthesis of barium hexaferrite. The  $BaFe_{11.8}Mg_{0.1}Al_{0.1}O_{19}$  phase anti-radar material was effectively created with a particle size of 151 nm, resulting in a reflection loss of -23.37 dB after being subjected to 6 hours of sonication with an amplitude of 55%. The highly advanced anti-radar material can absorb electromagnetic waves with an efficiency of 99.50% at the X-Band frequency between 8-12 GHz.

**Keywords:** Absorber; Barium hexaferrite; Coprecipitation; Reflection loss; Sonication

## 1. PENDAHULUAN

Pada umumnya pasir besi alam di Indonesia saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Pasir besi alam dengan kadar Fe tinggi dapat dimanfaatkan dalam sintesis material magnet, beberapa dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan besi dan bahan tambahan pada industri semen. Bahan baku magnet ferit di Indonesia saat ini masih memerlukan impor dari luar negeri. Pasir besi alam yang terdapat pada berbagai pantai di Indonesia memiliki kadar Fe yang cukup tinggi pada kisaran 70-80% dan saat ini belum dimanfaatkan secara optimal untuk digunakan sebagai bahan baku magnet ferit (Rianna, 2019). Mineral pasir besi alam saat ini paling banyak digunakan sebagai bahan baku magnet ferit berukuran nanopartikel karena memiliki sifat kemagnetan semakin baik. Pasir besi alam dalam ukuran nanopartikel memiliki berbagai macam peluang aplikasi diantaranya industri elektronik, medis, studi kemagnetan bumi, dan pertahanan sebagai bahan anti radar (Purwanto & Dani, 2017). Pasir besi alam di daerah kawasan wisata Anyer, Banten mempunyai potensi besar untuk diolah dan memiliki kandungan Fe dengan kemurnian tinggi 83,504% serta ukuran partikelnya 76 nm sangat sesuai sebagai bahan baku magnet ferit untuk mensintesis barium heksaferit (Khotimah & Febrianti, 2020).

Sejalan dengan perkembangan teknologi elektronik dan informasi yang demikian pesat, sesuai data Badan Pusat Statistik (BPS) pada 2019, teknologi informasi dan komunikasi memiliki porsi 5,32% dan meningkat 5,59% pada tahun 2020. Perkembangan tersebut dapat meliputi sistem peralatan berbasis elektronik seperti sistem kontrol elektronik pada peralatan telekomunikasi, kesehatan, transportasi udara dan laut tidak terkecuali bidang pertahanan dan keamanan (Khairunnisa, Susilawati, Savalas, Taufik, & Wahyudi, 2018).

Barium heksaferit merupakan bagian dari material penyerap gelombang elektromagnetik

dengan struktur kristal heksagonal dan memiliki peluang untuk dilakukan rekayasa. Barium heksaferit memiliki sifat magnet kuat seperti koersivitas, temperatur curie, saturasi magnet yang tinggi serta stabilitas kimia yang baik. Upaya meningkatkan daya serap gelombang mikro agar dihasilkan nilai *reflection loss* serendah mungkin dapat didekati melalui sintesis nanopartikel dan substitusi dopan pada kedudukan Fe pada barium heksaferit sehingga merubah sifat *hard magnet* menjadi *soft magnet* sebagai syarat material anti radar. Sintesis nanopartikel pada penelitian ini dipilih melalui teknik sonikasi karena efektif dan tidak menghasilkan limbah. Rekayasa material melalui substitusi beragam dopan diantaranya logam transisi Al, Mg, Mn, dan Ti yang menggantikan sebagian kedudukan ion  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  terbukti efektif dalam merubah sifat magnet (Ealias & Saravanakumar, 2017).

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, sintesis barium heksaferit dengan dopan penambahan Mg-Al melalui metode kopresipitasi menghasilkan *reflection loss* sebesar -53,23 dB, frekuensi 10,83 GHz, ukuran partikel 20 hingga 4  $\mu m$  (Gultom, Rianna, Sebayang, & Ginting, 2020). Sedangkan penelitian ini fokus pada peningkatan nilai tambah bahan baku lokal menggantikan prekursor  $Fe_2O_3$  yang selama ini masih impor sebagai bahan baku utama material anti radar. Penelitian terkait barium heksaferit dengan substitusi dopan Mn-Ti melalui metode *mechanical alloying* dan destruksi ultrasonik menghasilkan *reflection loss* sebesar -19,75 dB, frekuensi 13,6 GHz, ukuran rata-rata partikel 15 dan 18  $\mu m$  (Yustanti, Trenggono, & Manaf, 2020). Pada studi ini, dikaji sintesis barium heksaferit dengan menggunakan dopan Mg-Al melalui pemanfaatan pasir besi dari pantai Anyer, Banten. Diharapkan akan dihasilkan material anti radar dengan kinerja serapan yang tidak kalah dengan penggunaan bahan baku impor.

## 2. BAHAN DAN METODE

Pasir besi alam ukuran 100#, dan beberapa prekursor Sigma Aldrich, diantaranya  $\text{AlCl}_3$  99,9%,  $\text{BaCl}_2$  99,9%,  $\text{MgCl}_2$  99%,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  99%,  $\text{HCl}$  37%, serta  $\text{NaOH}$  99,99%.

Metode sintesis barium heksaferit dopan Mg-Al/ $\text{BaFe}_{11,8}\text{Mg}_{0,1}\text{Al}_{0,1}\text{O}_{19}$  terbagi atas 4 tahap. Tahap pertama pengolahan pasir besi alam dari pantai Anyer Banten Indonesia agar di hasilkan  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Serbuk  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  di reaksikan dengan  $\text{HCl}$  untuk menghasilkan filtrat  $\text{FeCl}_3$  sebagai pengganti precursor import  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  pada sintesis material anti radar. Tahap kedua metode kopresipitasi dilanjutkan tahap ketiga sonikasi pada variasi waktu 0, 3, dan 6 jam dengan amplitudo 45 dan 55%. Tahap keempat karakterisasi sampel.

### 2.1 Tahap Pengolahan Pasir Besi dan Pembuatan Larutan $\text{FeCl}_3$

Pasir besi alam dihaluskan hingga lolos 100 mesh dan dipisahkan dari pengotornya untuk diambil mineral berharganya dengan menggunakan *magnetic separator*. Pasir besi yang telah dipisahkan dari pengotornya diayak menggunakan ayakan 100 mesh yang bertujuan untuk mendapatkan serbuk Fe dengan kemurnian tinggi. Serbuk Fe melalui proses *milling* menggunakan *ball mill* selama 15 jam. Serbuk halus Fe dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur  $100^\circ\text{C}$  selama 3 jam untuk menghilangkan kadar air. Serbuk Fe bebas kadar air selanjutnya diayak kembali hingga 200 mesh *standard-meshes sieve* ( $\leq 76 \mu\text{m}$ ) agar dihasilkan magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Penimbangan serbuk magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sesuai perhitungan untuk direaksikan ke dalam 50 ml  $\text{HCl}$ , dilanjutkan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 30 kemudian pada suhu  $26^\circ\text{C}$ . Larutan magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  disaring dengan menggunakan kertas whatmann 40 hingga dihasilkan filtrat  $\text{FeCl}_3$ .

### 2.2 Tahap Kopresipitasi

Pada tahap kopresipitasi melalui pencampuran  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{BaCl}_2$ , dan  $\text{FeCl}_3$  secara stoikiometrik. Disiapkan dua gelas beaker 500 ml, bahan prekursor ditimbang dan ditambahkan 100 ml akuades ke dalam gelas beaker pertama. Dalam gelas beaker kedua ditambahkan  $\text{NaOH}$  24 gram dan akuades 150 ml. Masing-masing pada kedua gelas beaker dilanjutkan pengadukan 500 rpm selama 2 jam pada temperatur  $26^\circ\text{C}$ . Campuran prekursor diaduk pada 500 rpm selama 2,5 jam dan temperatur  $100^\circ\text{C}$ , lalu dilanjutkan penambahan  $\text{NaOH}$  tetes demi tetes. Larutan hasil titrasi disaring menggunakan kertas whatmann 40. Endapan hasil sintesis dicuci 10 kali menggunakan akuades dan pada pencucian ke-5 dan ke-8 menggunakan etanol. Konsentrat dioven selama 15 jam pada suhu  $100^\circ\text{C}$  dilanjutkan penghalusan menggunakan ayakan 325#. Sampel dikalsinasi selama 2 jam pada temperatur  $1050^\circ\text{C}$  agar dihasilkan kristalin  $\text{BaFe}_{11,8}\text{Mg}_{0,1}\text{Al}_{0,1}\text{O}_{19}$ .

### 2.3 Tahap Sonikasi

Serbuk  $\text{BaFe}_{11,8}\text{Mg}_{0,1}\text{Al}_{0,1}\text{O}_{19}$  sebanyak 2,4 g sampel/200 ml air demin dimasukkan ke dalam gelas

beaker 250 ml, dilanjutkan proses sonikasi menggunakan Qsonica sonicator Q500 pada frekuensi 20 kHz. Dipersiapkan 2 kondisi amplitudo 45 dan 55% dengan variasi waktu sonikasi 0, 3, dan 6 jam. Selanjutnya sampel yang telah dilakukan sonikasi ditambahkan surfaktan ionik 0,01% sebanyak 3 tetes untuk mencegah terjadinya aglomerasi.

## 2.4 Tahap Karakterisasi

### 2.4.1 Karakterisasi x-ray fluorescence (XRF)

*X-Ray Fluorescence* PANalytical Minipal 4 adalah instrumen yang dapat menganalisis unsur dalam bentuk cair  $\text{FeCl}_3$  yang dihasilkan dari pasir besi alam dari pantai Anyer, provinsi Banten, Indonesia.

### 2.4.2 Karakterisasi vector network analyzer (VNA)

Pengujian VNA merupakan deteksi unjuk kinerja material anti radar menggunakan *vector network analyzer* keysight PNA-L pada frekuensi 300 kHz-20 GHz. Karakterisasi serapan gelombang elektromagnetik dideteksi berdasarkan nilai *reflection loss (RL)*. Material absorber yang sempurna akan menyerap semua gelombang elektromagnetik yang datang dan tidak ada atau sangat minim gelombang elektromagnetik yang direfleksikan.

### 2.4.3 Karakterisasi x-ray diffraction (XRD)

Sampel yang sudah disonikasi selama 6 jam pada amplitudo 55% dikarakterisasi XRD untuk mengetahui fase dan struktur kristal, serta menentukan parameter kisi sampel  $\text{BaFe}_{11,8}\text{Mg}_{0,1}\text{Al}_{0,1}\text{O}_{19}$  menggunakan Rigaku MiniFlex 600 dengan  $\text{Cu } \alpha$ ,  $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$ , tegangan 40 kV, arus 15 mA pada rentang  $2-\theta$  20-80 derajat, *step scan*  $0,05^\circ(2\theta)$ . Karakterisasi XRD merupakan indentifikasi kualitatif struktur kristal dan semi kuantitatif bila dilanjutkan dengan *refinement* menggunakan permodelan melalui perangkat lunak terkait. XRD sangat andal untuk indentifikasi fase dan struktur kristal.

### 2.4.4 Karakterisasi particle size analyzer (PSA)

Analisis distribusi ukuran diameter partikel menggunakan instrument PSA Beckman Coulter. Sampel didispersikan pada media akuademin selanjutnya dimasukkan kuvet untuk dianalisis distribusi diameter partikelnya berdasarkan gerak Brown. Variasi yang digunakan pada proses sonikasi yaitu waktu sonikasi selama 0, 3, dan 6 jam serta variasi amplitudo 45% dan 55%. Penambahan surfaktan ionik sebelum karakterisasi PSA sangat diperlukan dalam upaya membantu mencegah terjadinya aglomerasi sesama nanopartikel yang telah terbentuk.

### 2.4.5 Karakterisasi vibration sample magnetometer (VSM)

Karakterisasi sifat magnet menggunakan *vibrating sample magnetometer* VSM 250. Material serbuk  $\text{BaFe}_{11,8}\text{Mg}_{0,1}\text{Al}_{0,1}\text{O}_{19}$  hasil sintesis dapat diketahui nilai saturasi magnet (Ms), koersivitas magnet (Hc), *magnetic remanence* (Mr), dan energi produk (BHmax). Karakterisasi ini untuk membuktikan efek

akibat substitusi dopan Mg-Al yang menghasilkan perubahan sifat magnetik dari barium heksaferit *hard magnet* menjadi *soft magnet* sebagai salah satu syarat material anti radar.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Analisis Hasil Karakterisasi X-Ray Fluorescence (XRF) Pasir Besi Alam dan FeCl<sub>3</sub>**

Analisis XRF pasir besi alam pantai Anyer, Banten yang telah dilakukan peneliti terdahulu (Purwanto & Dani, 2017) membuktikan kandungan unsur Fe dominan hingga 83,50%. Kadar Fe dengan tingkat kemurniannya di atas 80% dapat digunakan untuk sintesis nanopartikel barium heksaferit (Susilawati et al., 2019). Setelah dilakukan pengujian XRF pada serbuk magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) kemudian dilakukan pemurnian pada serbuk magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) dengan penambahan HCl pekat 37% tanpa diencerkan yang bertujuan untuk menghilangkan oksida-oksida pengotor dan meningkatkan kemurnian oksida besi (Prasdiatika & Susanto, 2020).

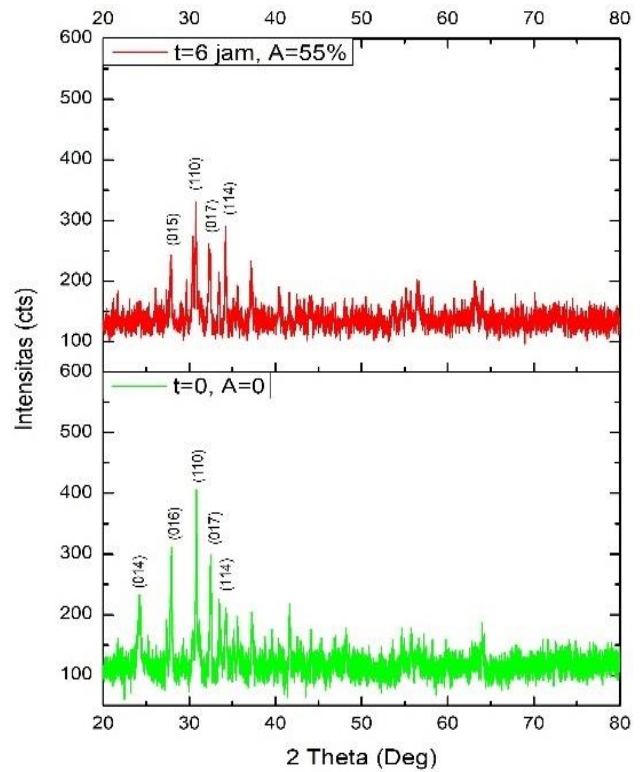
Tabel 1 memperlihatkan kadar Fe sebesar 41,646% dan terdapat senyawa klorida (Cl) sebesar 52,438% dan fosfor (P) sebesar 0,257% yang terdapat pada FeCl<sub>3</sub>. Hal ini dimungkinkan karena pada saat pemurnian, proses pencucian sampel belum bersih sempurna sehingga klorida (Cl) dan fosfor (P) tertinggal. Sebagai upaya pencegahan, untuk penelitian selanjutnya perlu ditingkatkan temperaturnya. Berdasarkan kajian peneliti terdahulu membuktikan bahwa semakin meningkat temperatur maka menghasilkan peningkatan kemurnian karena pengotor yang bukan bersifat magnet menghilang (Firdaus et al., 2021; Metungku, Darwis, & Sesa, 2017).

**Tabel 1.** Hasil analisis XRF rata-rata unsur pada sampel FeCl<sub>3</sub>

Unsur	Rata-rata, %	Unsur	Rata-rata, %
Cl	52,438	Zn	0,286
Al	0,535	Zr	0,009
Si	0,054	As	0,011
P	0,257	Br	0,026
Sr	0,011	Eu	0,167
Ca	1,089	Ag	0,320
Ti	2,556	Re	0,002
V	0,170	Pb	0,033
Cr	0,025	Mn	0,359
Fe	41,646	-	-

**3.2 Analisis Hasil Karakterisasi XRD Barium Heksaferit Mg-Al**

Hasil dari karakterisasi *X-ray diffraction* (XRD) pada Gambar 1 menunjukkan bahwa berhasil disintesis BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> pada daerah sudut 2θ 34.336° dengan puncak bidang (114) untuk proses sebelum sonikasi dan pada sudut 2θ 34.291° dengan puncak bidang yang sama (114) setelah sonikasi. Pola difraksi ini bersesuaian dengan pangkalan data *inorganic crystal structure database* (ICSD) masing-masing nomor 98-006-5442 dan 98-020-1654.

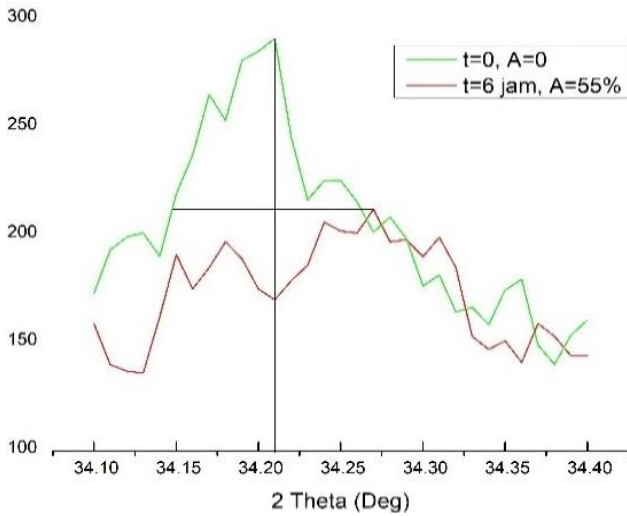


**Gambar 1.** Perbandingan pola difraksi BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> sebelum sonikasi dan setelah sonikasi

Pola difraksi karakterisasi XRD menunjukkan puncak tertinggi merupakan senyawa *barium iron oxide* pada bidang (110). Hal ini mengindikasikan unsur Fe dari pasir alam belum total berubah menjadi FeCl<sub>3</sub>, sehingga sebagai evaluasi dari penelitian ini perlu dilakukan penelitian lanjutan untuk mendapatkan kadar FeCl<sub>3</sub> yang lebih tinggi jika akan digunakan sebagai salah satu bahan prekursor agar dihasilkan material kristalin dengan intensitas tinggi dan fase tunggal, terhindar dari senyawa amorf dengan meningkatkan variasi temperatur sintesis (Rianna, 2019; Usvanda & Zainuri, 2016). Sonikasi bertujuan mereduksi ukuran partikel. Mengingat nanopartikel memberikan kontribusi peningkatan *surface to volum ratio* sehingga ada peningkatan interaksi antar muka material nano, dengan demikian jelas akan meningkatkan kinerja material anti radar dengan lebih maksimal. Reduksi ukuran partikel terlihat dari adanya pelebaran dan penurunan intensitas pola difraksi hasil sonikasi yang diperjelas pada Gambar 2.

Perlakuan dari kedua proses sintesis material absorber pada Gambar 2 menginformasikan pelebaran pola difraksi terjadi karena dipengaruhi faktor utama yaitu ukuran partikel lebih halus. Selain itu, juga dikarenakan adanya regangan mikro dan cacat kristal pada saat sintesis. Hal ini disebabkan karena jarak antar bidang kristal telah berubah akibat regangan mikro sehingga menyebabkan struktur kristal terdeformasi secara tidak teratur dengan ukuran kristal yang semakin halus. Pelebaran pola difraksi atau nilai *full width half maximum* (FWHM) yang semakin besar jelas mempengaruhi intensitas puncak

difraksi (Fitriana, Hafizah, & Manaf, 2017; Sumadiyasa & Manuaba, 2018; Yustanti, 2017; Yustanti, Hafizah, & Manaf, 2016; Yustanti et al., 2020; Yustanti & Manaf, 2018).

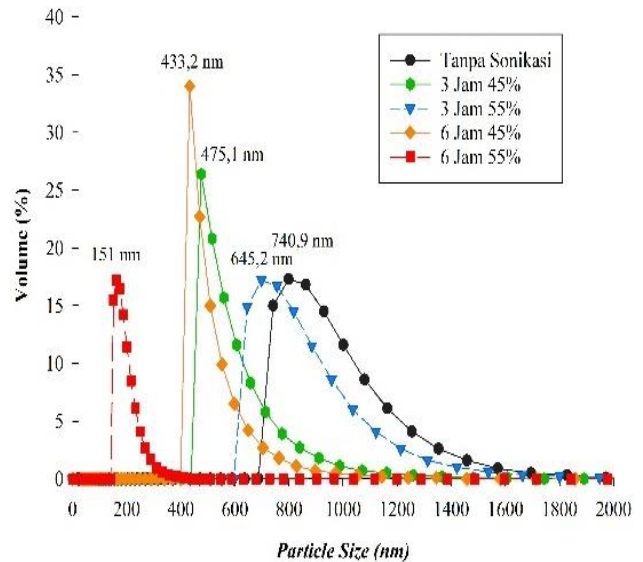


**Gambar 2.** Pengamatan detail pelebaran pola difraksi  $BaFe_{11,8}Mg_{0,1}Al_{0,1}O_{19}$  sebelum dan setelah sonikasi

**3.3 Analisis Hasil Karakterisasi PSA Barium Heksaferit Mg-Al**

Hasil karakterisasi *particle size analyzer* (PSA) menggunakan QSonica Sonicator Q500 disajikan pada Gambar 3. Parameter tetap selama proses sonikasi pada frekuensi 20 kHz, *pulse on off* 59-59 detik, kerapatan partikel 2,4 g/200 ml air demineralisasi pada gelas beaker 500 ml. Proses sonikasi efektif dengan menggunakan reaktor yang besar karena semakin luas permukaan reaktor, maka partikel akan tersebar ke seluruh permukaan sehingga partikel tidak menumpuk dan menutupi jalur pembentukan kavitas (Saputra, 2021). Setelah dilakukan sonikasi, ditambahkan surfaktan nonionik pada konsentrasi 0,01% sebanyak 3 tetes, kemudian dilakukan kembali sonikasi selama 5 menit. Teknik ini terbukti efektif mencegah terjadi aglomerasi nanopartikel, konsentrasi surfaktan yang rendah menghasilkan energi lebih kecil dan tidak reaktif terhadap nanopartikel bebas disekitarnya (Chotimah, 2021; Yustanti, 2017; Yustanti et al., 2020).

Tabel 2 menunjukkan partikel  $BaFe_{11,8}Mg_{0,1}Al_{0,1}O_{19}$  hasil sonikasi 3 jam amplitudo 55% seharusnya berukuran nanopartikel lebih halus, namun justru telah terjadi aglomerasi, membesar kembali (645,2 nm) dibandingkan 3 jam amplitudo 45% (475,1 nm). Hal ini terjadi karena nanopartikel bersifat metastabil pada waktu tertentu, partikel akan kembali ke bentuk semula, membuat *cluster* (Saputra, 2021), kondisi ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya (Prasetyaningtyas, Prasetya, & Widiarti, 2020).



**Gambar 3.** Hasil karakterisasi PSA  $BaFe_{11,8}Mg_{0,1}Al_{0,1}O_{19}$  dengan variasi waktu sonikasi dan amplitudo

**Tabel 2.** Data hasil karakterisasi PSA sampel

Perlakuan Sonikasi	Ukuran Partikel (nm)	<i>Polydispersity Index</i> (PDI)	Deviasi Gelombang
t = 0 jam, A = 0	740,9	0,410	1384
t = 3 jam, A = 45%	475,1	0,536	1303,3
t = 3 jam, A = 55%	645,2	0,873	1132,2
t = 6 jam, A = 45%	433,2	0,800	911,3
t = 6 jam, A = 55%	151,1	0,271	259,6

Perlakuan sonikasi ini sangat efektif untuk mereduksi ukuran partikel melalui variasi waktu sonikasi dan amplitudo. Pernyataan ini dapat dibuktikan dengan sampel tanpa dilakukan sonikasi ukurannya diameter partikelnya mencapai 740 nm dengan *polydispersity index* (PI) 0,410 serta deviasi pola difraksi 1384% dan perbandingan dengan menggunakan sonikasi menghasilkan ukuran yang lebih kecil yaitu 151,1 nm dengan *polydispersity index* (PI) 0,271 dan deviasi pola difraksi yang sebesar 259,6% seperti diperlihatkan pada Tabel 3. Kondisi ini bersesuaian dengan hasil penelitian terdahulu (Fitriana et al., 2017; Manaf, Hafizah, Belyamin, Nainggolan, & Manawan, 2017; Sumadiyasa & Manuaba, 2018; Yustanti et al., 2016, 2020). Peningkatan durasi waktu sonikasi serta amplitudo jelas berkontribusi meningkatkan pertumbuhan dan intensitas gelembung kavitas, dan ketika gelembung mencapai puncak maksimal dan pecah menghasilkan energi yang kuat dalam mereduksi ukuran partikel.



**3.4 Analisis Karakterisasi VNA Barium Heksaferit Mg-Al**

Hasil yang didapatkan dari karakterisasi VNA yaitu empat data nilai permeabilitas, permitivitas, S parameter/*loss tangent* dan nilai *reflection loss* BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub>. Karakterisasi VNA yang pertama dilakukan yaitu variasi waktu 0, 3, dan 6 jam dengan amplitudo 45 dan 55%. Tabel 3 menunjukkan nilai permitivitas ril dan imajiner yang mengalami fluktuasi seiring perbedaan parameter sonikasi.

**Tabel 3.** Nilai permitivitas ril dan imajiner BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub>

Waktu dan Amplitudo	Nilai Ril	Nilai Imajiner
t=0, A=0	478,44 10,72 GHz	-231,53 12,148 GHz
t=3 jam, A=45%	282,16 10,72 GHz	-324,44 12,148 GHz
t=3 jam, A=55%	283,59 10,72 GHz	-310,58 12,148 GHz
t=6 jam, A=45%	349,62 9,712 GHz	-244,01 12,148 GHz
t=6 jam, A=55%	327,88 9,712 GHz	-236,01 12,148 GHz

Dari kelima perlakuan sonikasi ini terjadi peningkatan dan penurunan secara fluktuatif permitivitas ril maupun permitivitas imajiner BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> ketika variasi sonikasi dan amplitudo diterapkan. Hal ini diduga karena efek penghalusan pada serbuk BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> yang dihasilkan dari reduksi ukuran partikel dengan proses sonikasi yang menunjukkan turunnya nilai permitivitas dan meningkatnya permitivitas imajiner. Dengan demikian, jika nilai permitivitas ril rendah dan permitivitas imajiner tinggi maka material dikatakan aktif sebagai material penyerap gelombang mikro, karena material mempunyai kemampuan untuk terjadinya polarisasi dan hilangnya medan listrik yang akan mempengaruhi material untuk menyerap gelombang mikro (Aisiyah, 2018; Rianna, 2019; Yustanti, 2017).

Tabel 4 menunjukkan permeabilitas ril dan imajiner BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> tidak menunjukkan perbedaan signifikan, hal ini diduga material BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> hasil sintesis merupakan material magnetik dari jenis yang sama. Pada serapan magnetik jika menghasilkan penurunan permeabilitas atau mendekati nol maka akan semakin banyak gelombang elektromagnetik yang diserap dan akan mengabsorpsi gelombang mikro maksimal (Aisiyah, 2018). Bahan dengan magnetisasi tinggi dan nilai konstanta anisotropi magnetokristalin rendah akan menjadi kandidat potensial untuk aplikasi bahan penyerap gelombang mikro (Manawan, Manaf, Soegijono, & Hercuadi, 2014).

**Tabel 4.** Nilai permeabilitas ril dan imajiner BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub>

Waktu dan Amplitudo	Nilai Ril	Nilai Imajiner
t=0, A=0	840,51 8,62 GHz	-328,01 11,392 GHz
t=3 jam, A=45%	516,14 8,962 GHz	-392,39 11,392 GHz
t=3 jam, A=55%	480,83 8,62 GHz	-339,02 8,532 GHz
t=6 jam, A=45%	588,71 9,712 GHz	-1176,92 12,148 GHz
t=6 jam, A=55%	609,59 8,62 GHz	-886,41 9,964 GHz

Pada Tabel 5 menunjukkan bahwa reduksi ukuran partikel melalui sonikasi mampu menurunkan nilai *magnetic loss tangent* dan *dielectric loss tangent*. Namun dengan bertambahnya waktu sonikasi dan meningkatnya amplitudo menurunkan nilai dari masing-masing *loss tangent* yang berbeda. Hal ini disebabkan karena terjadinya penghalusan partikel dari efek sonikasi (Dong et al., 2020; Yustanti et al., 2020). Dalam upaya mengoptimalkan serapan gelombang elektromagnetik, material pelapis harus memiliki sifat *electric loss tangent* kecil dan *magnetic loss tangent* yang besar agar mampu berinteraksi dengan medan listrik maupun medan magnet dalam gelombang elektromagnetik (Rianna, 2019; Yusro, 2016). Semakin tinggi nilai *loss tangent* maka akan semakin besar kekuatan kerugian gelombang elektromagnetik pada bahan.

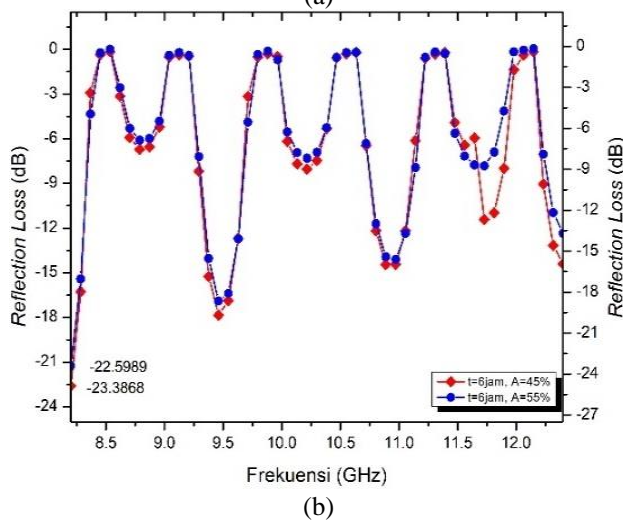
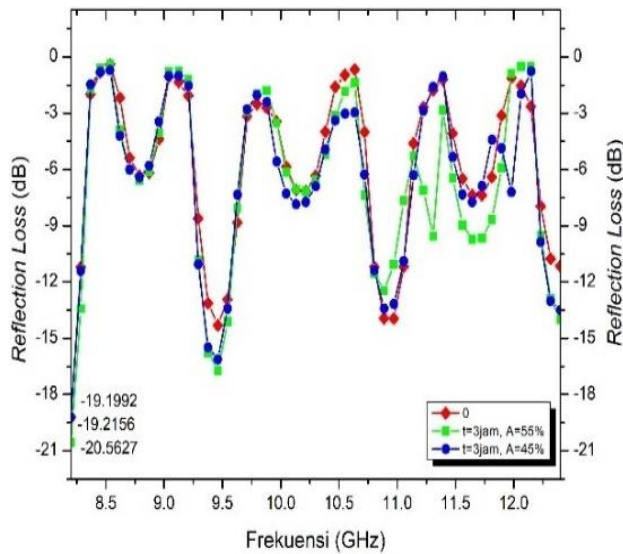
**Tabel 5.** Nilai *dielectric* dan *magnetic loss tangent* BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub>

Waktu dan Amplitudo	Dielectric Loss Tangent (dx)	Magnetic Loss Tangent (du)
t=0, A=0	21,603 (-10,154)	15,211 (-4,288)
t=3 jam, A=45%	12,768 (-7,131)	10,095 (-7,967)
t=3 jam, A=55%	19,261 (-10,852)	20,489 (-10,473)
t=6 jam, A=45%	105,872 (-31,609)	78,707 (-21,098)
t=6 jam, A=55%	64,474 (-27,081)	55,356 (-8,071)

Penelitian ini bersesuaian dengan hasil penelitian terdahulu (Candani, Ulfah, Noviana, & Zainul, 2018; Fitriana et al., 2017; Yustanti et al., 2020; Zurcher, 2018), bahwa peningkatan waktu sonikasi dan amplitudo membuktikan penurunan *reflection loss*. Reduksi ukuran partikel melalui variasi waktu sonikasi dan amplitudo terbukti sangat efektif sehingga menghasilkan material anti radar yang

mempunyai daya serap maksimal. Pada Gambar 4(b) sampel hasil sonikasi 6 jam amplitudo 55% menunjukkan *reflection loss* hingga -23,3868 dB, material cerdas dengan karakteristik seperti ini mampu menyerap gelombang elektromagnetik hingga 99,50%.

Dengan demikian, reduksi ukuran partikel berpengaruh penting terhadap penurunan *reflection loss*. Efek reduksi ukuran partikel menghasilkan peningkatan luas permukaan terjadi efek polarisasi dan refleksi sehingga serapan gelombang elektromagnetik maksimal (Saputra, 2021; Yustanti, 2017).

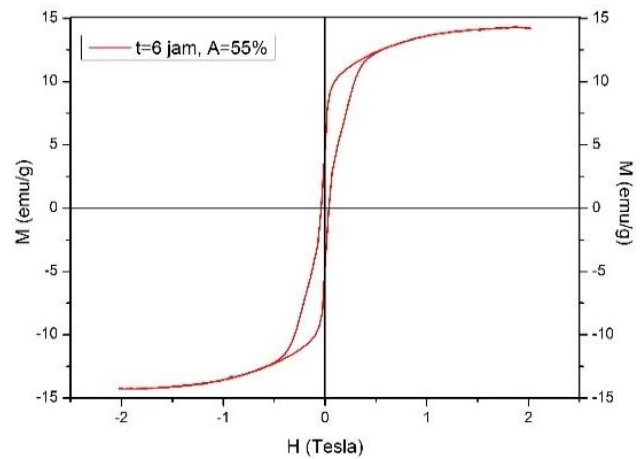


**Gambar 4.** Nilai *reflection loss* BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> (a) Variasi waktu sonikasi 0 dan 3 jam pada amplitudo 45 & 55%, (b) Waktu sonikasi 6 jam pada variasi amplitudo 45 & 55%

### 3.5 Analisis Karakterisasi VSM Barium Heksaferrit Mg-Al

Gambar 5 memperlihatkan hasil karakterisasi VSM sampel BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> dengan parameter sintesis optimum yaitu waktu sonikasi 6 jam dan amplitudo 55% menghasilkan koersifitas (H<sub>c</sub>) 0,32 T, saturasi magnet (M<sub>s</sub>) 14,30 emu/g dan magnet remanen (M<sub>r</sub>) 4,61 emu/g. Dibandingkan dengan

penelitian sebelumnya menggunakan pasir alam Yogyakarta didapatkan nilai koersifitas, saturasi dan remanen sebesar 0,11 T, 46,6 emu/g, dan 10 emu/g dengan waktu ultrasonik selama 30 menit (Purwanto & Dani, 2017). Dapat disimpulkan bahwa efek interaksi pertukaran antar butir pada sistem nanopartikel mampu meningkatkan nilai saturasi dan remanent magnet yang dihasilkan dari interaksi pertukaran antar butir serta penambahan dopan Mg<sup>2+</sup> Al<sup>3+</sup> mampu mengubah sifat kemagnetannya (Rianna, 2019).



**Gambar 5.** Hasil karakterisasi VSM kurva histerisis BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub>

## 4. KESIMPULAN

Pengolahan pasir besi alam Banten menghasilkan FeCl<sub>3</sub> 41,65%. Sampel hasil kopresipitasi dan sonikasi memiliki fase utama BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> dan fase sekunder *barium iron oxide* pada suhu kalsinasi 1050°C. Hal ini mengindikasikan bahwa keberhasilan pensubstitusian atom Mg<sup>2+</sup> dan Al<sup>3+</sup> dapat ditingkatkan pada suhu di atas suhu kristalisasinya. Metode kopresipitasi menghasilkan ukuran partikel 740,9 nm dan metode sonikasi menghasilkan 151 nm. Pada metode kopresipitasi menunjukkan nilai *reflection* -19,20 dB pada 8,2 GHz sedangkan metode sonikasi 6 jam pada amplitudo 55% menghasilkan *reflection loss* hingga -23,39 dB pada 8,2 GHz. Pasir besi alam dari pantai Anyer, Banten, Indonesia berpotensi menjadi bahan baku anti radar melalui metode kopresipitasi hingga dihasilkan material BaFe<sub>11,8</sub>Mg<sub>0,1</sub>Al<sub>0,1</sub>O<sub>19</sub> yang mampu menyerap gelombang elektromagnetik hingga 99,50%.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada *Nanomaterial and Processing Technology Laboratory* Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Nano Center Indonesia, PT Krakatau Pipe Industries dan Laboratorium Radar Cross Section Balitbang Kemhan Republik Indonesia atas fasilitas dan karakterisasi hasil penelitian yang disediakan.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

Aisyah, M. (2018). Sintesis dan karakterisasi barium m-heksaferrit BaFe 12-2x Cu x Zn x O 19 sebagai

- material penyerap radar. Sepuluh Nopember Institute of Technology.
- Candani, D., Ulfah, M., Noviana, W., & Zainul, R. (2018). A review pemanfaatan teknologi sonikasi. A review.
- Chotimah, L. (2021). Pengaruh variasi waktu dan amplitudo destruksi ultrasonik pada barium hexaferrite dopan mg-al terhadap nilai reflection loss. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Dong, Q., Su, Y., Liu, Y., Zhang, J., Zhang, H., & Shi, C. (2020). Effects of particle size on the electrical properties of NdFeO<sub>3</sub> nanoparticles. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 31(24), 21913–21922.
- Ealias, A. M., & Saravanakumar, M. P. (2017). A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(3).
- Firdaus, I., Stevani, A., Handayani, Y. N., Febriyanti, N., Marjunus, R., & Manurung, P. (2021). Synthesis and characterization of TiO<sub>2</sub> from Lampung's iron sand using leaching method with temperature variation. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 17(2), 37.
- Fitriana, K. N., Hafizah, M. A. E., & Manaf, A. (2017). Synthesis and magnetic characterization of Mn-Ti substituted Sr<sub>0.6</sub>Fe<sub>2-x</sub>Mn<sub>x</sub>/2Ti<sub>x</sub>/2O<sub>3</sub> (x = 0.0–1.0) nanoparticles by combined destruction process. *International Journal of Technology*, 4, 644–650.
- Gultom, G., Rianna, M., Sebayang, P., & Ginting, M. (2020). The effect of Mg-Al binary doped barium hexaferrite for enhanced microwave absorption performance. *Case Studies in Thermal Engineering*, 18, 100580.
- Khairunnisa, Susilawati, Savalas, R., Taufik, M., & Wahyudi. (2018). Sintesis bahan m-hexaferrites dengan doping logam Co menggunakan metode kopresipitasi. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA)*, 4(1), 4–9.
- Khotimah, C., & Febrianti, W. (2020). Analisa persebaran pasir besi di sekitar kawasan wisata Anyer dan peluang untuk diolah.
- Manaf, A., Hafizah, M. A. E., Belyamin, B., Nainggolan, B., & Manawan, M. T. E. (2017). Magnetic and microwave absorption characteristics of Ti<sup>2+</sup>- Mn<sup>4+</sup> substituted barium hexaferrite. *International Journal of Technology*, 3, 458–465.
- Manawan, M., Manaf, A., Soegijono, B., & Hercuadi, A. Y. (2014). Microstructures, magnetic properties and microwave absorption characteristics of Ti<sup>2+</sup>-Mn<sup>4+</sup> substituted barium hexaferrite. *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi*, 14(1),
- Metungku, N. A., Darwis, D., & Sesa, E. (2017). Pemurnian dan karakterisasi senyawa sio<sub>2</sub> berbasis pasir kuarsa dari desa Pendolo kecamatan Pamona Selatan kabupaten Poso. *Gravitasi*, 16(1), 39–43.
- Prasdiatika, R., & Susanto, S. (2020). Pencucian material magnetik pasir besi Lansilowo menggunakan larutan asam klorida. *Jurnal Teknosains*, 10(1), 75.
- Prasetyaningtyas, T., Prasetya, A. T., & Widiarti, N. (2020). Sintesis nanopartikel perak termodifikasi kitosan dengan bioreduktor ekstrak daun kemangi (*Ocimum Basilicum L.*) dan uji aktivitasnya sebagai antibakteri. *Indonesian Journal of Chemical Science*, 9(1), 37–43.
- Purwanto, S., & Dani, M. (2017). Strukturmikro dan sifat magnet pasir besi pasca ultrasonifikasi. *Jurnal Sains Materi Indonesia*, 19(1), 14–18.
- Rianna, M. (2019). Sintesis bahan magnet BaFe<sub>12-2x</sub>MgxAlxO<sub>19</sub> (x=0-0.5%mol) Berbasis bahan baku komersil dan pasir besi alam Sumatera Barat untuk material penyerap gelombang mikro. *Repository Institusi Universitas Sumatera Utara. Universitas Sumatera Utara.*
- Saputra, M. A. R. (2021). Pengaruh destruksi ultrasonik dengan variasi kerapatan partikel dan rasio diameter transduser–reaktor pada barium hexaferrite dopan Mg–Al terhadap nilai reflection loss. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Sumadiyasa, M., & Manuaba, I. B. S. (2018). Penentuan ukuran kristal menggunakan formula scherer, williamson-hull plot, dan ukuran partikel dengan SEM. *Buletin Fisika*, 19, 10.
- Susilawati, Doyan, A., Taufik, M., Wahyudi, Gunawan, E. R., Fitriani, A., & Nazarudin. (2019). Characterization of barium m-hexaferrite with doping Zn and Mn for microwaves absorbent. *Materials Science Forum*, 966 MSF, 282–289.
- Usvanda, L. N., & Zainuri, M. (2016). Sintesis dan karakterisasi lapisan radar absorbing material (RAM) berbahan dasar BaM/PANi pada rentang gelombang x-band dengan variasi ketebalan. *Jurnal Sains Dan Seni ITS*, 5(2), 74–79.
- Yusro, K. (2016). Karakterisasi material penyerap gelombang radar berbahan dasar karbon aktif kulit singkong dan barium m-heksaferit doping ion Zn. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember.*
- Yustanti, E. (2017). Sintesis nanopartikel barium titanate substitusi strontium dan nanopartikel barium hexaferrite substitusi mangan-titanium melalui pepaduan mekanik dan destruksi ultrasonik daya tinggi, 164.
- Yustanti, E., Hafizah, M. A. E., & Manaf, A. (2016). Exploring the effect of particle concentration and irradiation time in the synthesis of barium strontium titanate (BST) Ba(1-X)SrXTiO<sub>3</sub> (X:0-1) nanoparticles by high power ultrasonic irradiation. *International Journal of Technology*, 7(6), 1016–1025.
- Yustanti, E., & Manaf, A. (2018). The effect of milling time and sintering temperature on Mn, Ti substituted barium hexaferrite nanoparticle. *AIP Conference Proceedings*, 1945.
- Yustanti, E., Trenggono, A., & Manaf, A. (2020). Physical and microwave absorption characteristics of high powered ultrasonically irradiated crystalline BaFe<sub>9</sub>Mn<sub>1.5</sub>Ti<sub>1.5</sub>O<sub>19</sub> particles. *International Journal of Technology*, 11(2), 310–321.
- Zurcher, R. (2018). Pengaruh varisi komposisi PEG-6000 dan waktu sonikasi terhadap karakteristik nano-fluida Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Universitas Sumatera Utara.