

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI BONDED MAGNET HIBRIDA
BARIUM HEKSAFERIT DAN NEODYMIUM FERON BORON DENGAN
PEREKAT POLIVINIL ALKOHOL**

SKRIPSI

*Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains Di
Bidang Studi Fisika Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya*



OLEH:

SITI JUMIATI

08021281621068

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

INDRALAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI BONDED MAGNET HIBRIDA
BARIUM HEKSAFERIT DAN NEODYMIUM FERON BORON DENGAN
PEREKAT POLIVINIL ALKOHOL**

SKRIPSI

*Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains Di
Bidang Studi Fisika Fakultas MIPA Universitas Sriwijaya*

Oleh

SITI JUMIATI

08021281621068

Indralaya, Mei 2020

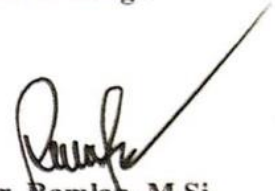
Menyetujui,

Pembimbing II



Ir. Muljadi, M. Si.
NIP. 195711161931121002

Pembimbing I



Dr. Ramlah, M.Si.
NIP. 196604101993031003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika



Dr. Piusyab Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

SURAT KETERANGAN PENGECEKAN SIMILARITY

Saya yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Siti Jumiati
Nim : 08021281621068
Prodi : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Menyatakan bahwa benar hasil pengecekan similarity Skripsi/Tesis/Disertasi/Lap. Penelitian yang berjudul Pembuatan dan Karakterisasi Bonded Magnet Hibrida Barium Heksaferit dan Neodimium Feron Boron dengan Perekat Polivinil Alkohol adalah 7%. Dicek oleh operator *:

1. Dosen Pembimbing
- ② UPT Perpustakaan
3. Operatur Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Demikianlah surat keterangan ini saya buat dengan sebenarnya dan dapat saya pertanggung jawabkan.

Indralaya, Juli 2020

Menyetujui
Dosen pembimbing,


Dr. Ranlan
NIP: 196604101993031003

Yang menyatakan,



Siti Jumiati
NIM: 08021281621068

*Lingkari salah satu jawaban tempat anda melakukan pengecekan Similarity

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabaarakatuuh

Alhamdulillahirrabbi'l'amin, puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat Rahmat dan Ridho-Nyalah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul **“Pembuatan dan Karakterisasi Bonded Magnet Hibrida Barium Heksaferit dan Neodimium Feron Boron dengan Perekat Polivinil Alkohol”**.

Penulisan skripsi ini dibuat sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains bidang studi Fisika di Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya. Skripsi ini berisi penelitian yang dilakukan penulis pada bidang ilmu material dilaksanakan di Pusat Penelitian Fisika (P2F) LIPI, kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan, pada 13 Mei 2019 hingga selesai. Penulis sangat bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena dalam menjalani proses skripsi ini penulis selalu diberikan kekuatan, keteguhan, dan kesehatan, serta nikmat lainnya yang telah diberikan-Nya. Penulis juga mengucapkan banyak terima kasih terutama kepada Dr. Ramlan, M.Si., selaku pembimbing yang selalu mengarahkan dan memberikan motivasi yang membangun dan Bapak Ir. Muljadi, M.Si. selaku pembimbing dari P2F – LIPI yang telah mengarahkan penulis selama penelitian, juga kepada:

1. Kedua orang tua tercinta Syamsudin dan Tumirah, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan do'a.
2. Bapak Dr. Frinsyah Virgo, S.Si, M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Dr. Fitri Suryani Arsad, bapak Dr. A. Aminuddin Bama, dan bapak M. Yusup Nur Khakim, Ph. D. selaku penguji yang telah memberikan banyak masukan dan koreksi.
4. Seluruh dosen Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan motivasi.
5. Adik tercinta Siti Kurniati, yang selalu memberikan semangat dan do'a.
6. Teman-teman Fisika Material seperjuangan yang selalu memberikan saran dan semangat.

7. Teman-teman F16hter Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya
8. Seluruh pihak terkait yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini masih banyak terdapat kekurangan dan jauh dari kata sempurna yang disebabkan masih kurangnya pengetahuan dari penulis. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun demi lebih baiknya skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua, terutama manfaat pengetahuan.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabaarakatuuh

Inderalaya, Mei 2020
Penulis,

Siti Jumiati
NIM. 08021281621068

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	i
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR LAMBANG	x
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Magnet	4
2.2 Jenis-jenis Magnet	4
2.2.1 Magnet permanen.	4
2.2.2 Magnet remanen	4
2.3 Bahan Magnetik.....	5
2.3.1 Diamagnetik	5
2.3.2 Paramagnetik	5
2.3.3 Bahan Ferromagnetik	5
2.3.4 Antiferromagnetik.....	6
2.3.5 Ferrimagnetik	6
2.4 Komposit.....	7
2.5 Neodymium Ferron Boron	7
2.6 Barium Hexaferrite	9
2.7 Polyvinyl Alcohol	10
2.8 Metalurgi Serbuk.....	11
2.9 Karakterisasi Material	12

2.9.1 Densitas.....	12
2.9.2 Fluks Magnet	13
2.9.3 VSM.....	14
2.9.3 Korosi	15
2.9.4 SEM.....	17
2.10 Penelitian Sebelumnya	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1. Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.2. Alat dan Bahan Penelitian.....	20
3.2.1 Alat Penelitian.....	20
3.2.2 Bahan Penelitian.....	20
3.2 Variabel, Parameter, dan Data	21
3.2.1 Variabel	21
3.2.2 Parameter	21
3.2.3 Data	21
3.2.4 Proses Pencampuran	21
3.2.5 Proses pencampuran dengan perekat.....	21
3.2.6 Proses pencetakan sampel.....	22
3.2.7 Proses pemanasan.....	22
3.2.8 Karakterisasi Sampel	22
3.3 Diagram Alir Penelitian	23
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1. Hasil Pengujian Densitas Sampel.....	25
4.2 Hasil Pengujian Magnetisasi Sampel.....	26
4.3 Hasil uji korosi sampel.....	28
4.4 Hasil Pengujian VSM.....	30
4.5 Hasil Uji SEM	33
BAB V PENUTUP	35
5.1 Kesimpulan	35
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA	36
LAMPIRAN	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur tetragonal NdFeB	9
Gambar 2.2 Struktur kristal BaFe ₁₂ O ₁₉	10
Gambar 2.3. Struktur kimia polivinil alkohol	10
Gambar 2.4. Fluks magnetik menyatakan jumlah garis gaya yang menembus permukaan dalam arah tegak lurus.....	14
Gambar 2.5. Kurva induksi awal B dengan medan magnet H	15
Gambar 2.6 Korosi pada baja di bawah tetesan air	15
Gambar 2.7 Cara kerja SEM	18
Gambar 4.1 Grafik pengaruh persentase komposisi NdFeB terhadap densitas	26
Gambar 4.2 Grafik pengaruh persentase komposisi NdFeB terhadap fluks magnet	27
Gambar 4.3 Grafik hasil uji korosi dengan proses perendaman	29
Gambar 4.4 Sampel hasil uji korosif.....	30
Gambar 4.6 Kurva histerisis.....	31
Gambar 4.6 Grafik kurva histerisis komposisi bahan 50% BaFe ₁₂ O ₁₉ + 50% NdFeB ...	31
Gambar 4.7 Grafik kurva histerisis komposisi bahan 75% BaFe ₁₂ O ₁₉ + 25% NdFeB ...	31
Gambar 4.8 hasil uji SEM pada komposisi bahan 3:1 dengan perbesaran 5.000X	33
Gambar 4.9 hasil uji SEM pada komposisi bahan 1:1 dengan perbesaran 5.000X	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan karakteristik magnet permanen	8
Tabel 2.2. Karakteristik fisik polivinil alkohol	11
Tabel 4.1 Data hasil pengujian densitas sampel.....	25
Tabel 4.2 Pengukuran fluks magnet pada sampel.....	27
Tabel 4.3 Data hasil uji korosi tiap sampel	28
Tabel 4.4 Data hasil pengujian VSM	30

DAFTAR LAMBANG

ρ = Densitas (gram/cm³)

m = Massa sampel (gram)

V = Volume sampel (cm³)

G = Gauss

ϕ = Fluks Magnet (Wb)

B = Medan magnet

H_{ci} = Koersivitas (kOe)

M_s = Magnet Saturasi (emu/g)

M_r = Magnet Remanensi (emu/g)

BH_{max} = Energi Produk (MGOe)

ABSTRAK

Telah dilakukan pembuatan magnet berupa bonded magnet hibrida *Barium Heksaferrite* ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) dan *Neodymium Feron Boron* (NdFeB) dengan perekat *Polivynil Alcohol* (PVA) sebanyak 3% dari massa total. Bahan dicetak menggunakan *hydraulic press* dengan gaya sebesar 4 ton selama 1 menit, lalu dipanaskan dengan oven pada suhu 110°C selama 1 jam. Karakterisasi yang dilakukan yaitu densitas sampel, fluks magnet, VSM, SEM dan korosi bahan. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa nilai densitas meningkat seiring dengan meningkatnya komposisi NdFeB . Sifat optimum magnet diperoleh pada komposisi bahan 2:1 yaitu 391 G. Dari kurva histerisis kondisi optimum terdapat pada komposisi 3:1 dengan koersivitas 1.406 KOe, saturasi 20.174 KOe, dan energi produksi (BH_{maks}) 0.005452 MGOe. Pada uji korosi bahan, kondisi yang paling stabil terdapat pada komposisi bahan 100% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

Kata kunci: $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, NdFeB , *Polivynil Alcohol* (PVA), densitas, fluks magnet, VSM (*Vibrating Sample Magnetometer*), korosi, SEM.

Indralaya, Mei 2020

Menyetujui,

Pembimbing II

Ir. Muljadi, M. Si.
NIP. 195711161931121002

Pembimbing I

Dr. Ramlah, M.Si.
NIP.196604101993031003

Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika




Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

ABSTRACT

Barium hexaferrite ($\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$) and Neodymium Feron Boron (NdFeB) hybrid bonded magnets were made with 3% Polivynil Alcohol (PVA) adhesive as part of the total mass. Material is printed using a hydraulic press with a force of 4 tons for 1 minute, then heated with an oven at 110°C for 1 hour. Characterization carried out were sample density, magnetic flux, VSM, SEM and material corrosion. The characterization results show that the density value increases with increasing NdFeB composition. The optimum magnetic properties were obtained in the composition of 2: 1 material which is 391 G. From the hysteresis curve the optimum conditions were found in composition 3: 1 with coercivity of 1,406 KOe, saturation of 20,174 KOe, and production energy (BH_{max}) 0.005452 MGOe. In the corrosion test of materials, the most stable condition is found in the composition of the material 100% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$.

Keywords: $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, NdFeB , Polyvinyl Alcohol (PVA), density, magnetic flux, VSM (Vibrating Sample Magnetometer), corrosion, SEM.

Pembimbing II


Ir. Muljadi, M. Si.
NIP. 195711161931121002

Menyetujui,

Indralaya, Mei 2020

Pembimbing I


Dr. Ramlan, M.Si.
NIP.196604101993031003

**Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika**


Dr. Fransyah Virgo, S.Si., M.T.
NIP. 197009101994121001

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Magnet telah banyak digunakan sebagai komponen pada bidang elektronik dan juga pada bidang otomotif. Penggunaan magnet pada bidang elektronik seperti pada televisi, speaker, telepon dan sebagainya. Penggunaan magnet pada bidang otomotif, misalnya untuk *starter*, *door lock*, dan *wiper*. Dari contoh tersebut menunjukkan bahwa bahan magnet yang mempunyai kekuatan tinggi akan dapat menghasilkan peningkatan efisiensi operasi.

Salah satu magnet permanen yang dikenal paling kuat dan banyak digunakan yaitu magnet neodimium feron boron. Magnet ini terbuat dari jenis logam tanah jarang yang memiliki induksi magnet saturasi dan remanensi yang tinggi. Namun bahan magnet ini juga memiliki kekurangan yaitu sifat termal yang kurang baik dan mudah teroksidasi sehingga mudah terkorosi. Sedangkan telah diketahui bahwa bahan magnet permanen barium heksaferit bersifat tahan terhadap korosi dengan harga yang relatif lebih murah dibanding bahan magneti neodimium feron boron. Namun, nilai induksi magnetnya lebih rendah dibanding neodimium feron boron. Sehingga dalam penelitian ini dilakukan proses hibrida antara bahan magnet Barium heksa ferit dengan Neodimium feron boron. Hibrida merupakan suatu teknologi untuk menggabungkan dua bahan yang berbeda namun tetap mempertahankan kedua bahan tersebut. Agar diperoleh bentuk magnet yang kuat dari penggabungan kedua bahan ini, maka magnet ini dibuat dengan cara bonded atau digunakan pengikat dari bahan polimer sebagai perekat untuk mengikat kedua bahan tersebut. Dengan pembuatan magnet dari kedua bahan utama tersebut ini diharapkan mampu meningkatkan ketahanan bahan terhadap korosi juga mampu menurunkan biaya produksi yang mahal, meskipun kemungkinan akan terjadi penurunan pada sifat magnetiknya (Mulyadi, 2019). Oleh sebab itu pada penelitian ini dilakukan pembuatan sampel dengan variasi komposisi 1:1 (50% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + 50% NdFeB); 2:1 (66.67% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + 33.33% NdFeB); 3:1 (75% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + 25% NdFeB), kedua variasi tersebut dipilih dengan komposisi NdFeB yang lebih sedikit dibanding komposisi $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$, agar sampel magnet yang diperoleh akan lebih tahan terhadap korosi namun tetap memiliki nilai karakterisasi sifat magnet yang tinggi.

Pada penelitian Rahayu dkk., pada tahun 2018 telah dilakukan variasi komposisi untuk kedua bahan magnet tersebut, diperoleh bahwa semakin banyak neodimium feron boron yang digunakan maka sifat magnetiknya akan lebih baik, namun dalam hal ini tidak dilakukan uji korosi bahan, sehingga tidak dapat diketahui bahan tersebut tahan terhadap suhu yang tinggi atau tidak (Rahayu, Handayani, & Kuncoro, 2018).

Untuk proses pengikatan kedua dalam penelitian ini digunakan polimer polivinil alkohol sebanyak 3% dari massa total bahan. Digunakan sebanyak 3% karena dari penelitian sebelumnya oleh mulyadi pada tahun 2019, pada pembuatan magnet permanen neodimium feron boron dengan variasi komposisi bahan perekat polivinil alkohol 2,3,5,7,dan 9% berat, diperoleh bahwa semakin banyak perekat yang digunakan maka nilai densitas, tingkat kekerasan, dan nilai medan magnet akan cenderung menurun, namun nilai kuat tekannya akan semakin tinggi. Sehingga pada penelitian ini perekat yang digunakan hanya 3% dari massa total.

Sampel magnet yang telah berhasil dibuat kemudian dilakukan uji karakterisasi material untuk mengetahui sifat magnetnya. Uji karakterisasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu densitas, fluks magnet, VSM, korosi, dan SEM. Dari proses karakterisasi tersebut maka akan dapat diketahui komposisi kedua bahan magnet yang paling baik.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara pembuatan bonded magnet hibrida barium heksaferit dan neodimium feron boron dengan perekat polivinil alkohol?
2. Bagaimana pengaruh variasi komposisi bahan magnet dengan peningkatan dari karakterisasi bahan?
3. Bagaimana sifat magnet yang diperoleh dari pembuatan bonded magnet hibrida barium heksaferit dan neodimium feron boron dengan perekat polivinil alkohol?
4. Bagaimana sifat korosi dari variasi komposisi bonded magnet hibrida barium heksaferit dan neodimium feron boron?

1.3 Tujuan

1. Dapat diketahui cara pembuatan bonded magnet hibrida barium heksaferit dan neodimium feron boron dengan perekat polivinil alkohol.
2. Dapat menganalisis sifat magnet (densitas, fluks magnet, VSM, SEM) yang diperoleh dari pembuatan bonded magnet hibrida barium heksaferit dan neodimium feron boron dengan perekat polivinil alkohol.
3. Dapat menganalisis sifat korosivitas bonded magnet hibrida barium heksaferit dan neodimium feron boron dengan perekat polivinil alkohol.

1.4 Batasan Masalah

1. Bahan yang digunakan dalam pembuatan magnet ini adalah $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan serbuk halus NdFeB dengan perekat polivinil alkohol.
2. Variasi sampel yang dibuat yaitu 100% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ dan 100% NdFeB , dilakukan untuk melihat sifat karakterisasi bahan tanpa dilakukan pencampuran.
3. Variasi komposisi sampel komposit yang dibuat yaitu 1:1 (50% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + 50% NdFeB); 2:1 (66.67% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + 33.33% NdFeB); 3:1 (75% $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ + 25% NdFeB)
4. Komposisi polivinil alkohol yang digunakan adalah 3% dari massa total bahan setelah proses milling.

1.5 Manfaat

1. Dapat diperoleh bonded magnet hibrida dari bahan barium heksaferit dan neodimium feron boron dengan perekat polivinil alkohol.
2. Dapat diperoleh sifat magnet yang lebih baik dari variasi komposisi bahan yang dibuat.
3. Dapat diperoleh bahan magnet yang tahan terhadap korosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Afza, E. 2011. *Pembuatan Magnet Permanent Ba-Hexa Ferrite (BaO.6Fe₂O₃) Dengan Metode Koopresipitasi Dan Karakterisasinya*. [Skripsi]. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Anderson, J. J., 2010. *Structural and Magnetic Properties of Neodymium-Iron-Boron Clusters*. [Tesis]. Lincoln: Universitas Nebraska.
- Andry, A. P., 2010. *Study Penentuan Kadar Fe₂O₃ dalam Alumina yang Digunakan Sebagai Bahan Baku di PT Inalum dengan Metode Spektrofotometri*. Medan : Universitas Sumatera Utara.
- Ginting, D., 2014. *Efek Penambahan Boron Terhadap Mikrostruktur, Sifat Fisis, dan Magnetik Barium Heksaferit*. [Tesis]. Medan : Universitas Sumatra Utara.
- Gunawan, B. dan Azhari, C. D., 2010. *Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) Sensor Gas dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (PEG)*. Jurnal Sains dan Teknologi, 3(2) : 7-8.
- Hulu, B. 2014. *Pembuatan Magnet Berbasis BaFe₁₂O₁₉-SiO₂ Dan Karakterisasinya*. [Tesis]. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Irasari, P. dan Idayanti, N., 2009. *Aplikasi Magnet Permanen BaFe₁₂O₁₉ dan NdFeB Pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil*. Jurnal Sains Materi Indonesia, 1(11) : 39.
- Johan, A. dkk., 2005. *Pengaruh High-Energy Milling Terhadap SifatMagnetik Bahan Barium Heksaferit (BaO.6Fe₂O₃)*. Jurnal Sains Materi Indonesia, 1(7) : 26.
- Jayanti, N. D., Yulianto, A., & Sulhadi. (2013). *Fabrikasi Magnet Komposit Berbahan Dasar Magnet Daur Ulang dengan Pengikat Cult*. Unnes Physics Journal, 2(1), 24–29.
- Lubis, K. (2015). *Metoda-Metoda Karakterisasi Nanopartikel Perak*. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 21(79), 50–55.
- Mardiansyah, D. 2013. *Analisa Sifat Ferromagnetik Material Menggunakan Metode Monte Carlo*. Jurnal Ilmiah Edu Research, 2(2) : 65-74.
- Mulyadi. (2019). *Analisis Sifat Mekanik, Sifat Fisis dan Magnet Komposit Magnet Permanen NdFeB dengan Perekat Polyvynil Alcohol (PVA)*. Jurnal Teknik Mesin (CAKRAM), 2(1), 29–33.

- Munasir, 2009. *Laju Korosi Baja SC 42 Dalam Medium Air Laut Dengan Metode Immers Total*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA : 282 – 285.
- Rahayu, T. O. C., Handayani, I. P., & Kuncoro, H. S. (2018). *Karakterisasi Sifat Mekanik pada Magnet Hybrid BaFe/NdFeB dengan Matrik Polivinil Alkohol dan Karboksimetil Selulosa*. E-Proceeding of Engineering, 5(3), 5686–5693.
- Sari, T. A., Hamdi, & Mufit, F. (2014). *Identifikasi Mineral Magnetik pada Guano di Gua Bau-Bau Kalimantan Timur Menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM)*. Pillar of Physics, 1(April), 97–104.
- Tippler, Paul A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Tehnik*. Edisi Ketiga. Jilid 2. Erlangga: Jakarta.
- Warsito, A., & Haning, A. E. P. (2018). *Komparasi Solusi Kasus Fluks Magnetik di Sekitar Kawat Berarus Listrik dengan Metode Analitik dan Komputasi*. Jurnal ILMU DASAR, 19(1), 23–28.
- Widiyanto, 2010. *Karakterisasi Struktur Kristalin Tipe-M Barium Heksaferit Tersubstitusi Ion Mangan dan Ion Titanium Menggunakan Analisis Rietveld*. Semarang : Universitas Deponegoro.