

**PENGARUH WAKTU *MILLING* PADA PEMBUATAN MAGNET
PERMANEN *BONDED NEODYMIUM IRON BORON* (NdFeB)
ANISOTROPI**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di bidang
Studi Fisika Fakultas MIPA**



OLEH :

IRA KUSUMAWATI

NIM. 08021181320016

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA**

2017

LEMBAR PENGESAHAN

**PENGARUH WAKTU MILLING PADA PEMBUATAN MAGNET
PERMANEN BONDED NEODYMIUM IRON BORON (NdFeB)
ANISOTROPI**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dibidang
studi Fisika Fakultas MIPA*

Oleh:

IRA KUSUMAWATI

08021181320016

Inderalaya, September 2016

Mengetahui,

Pembimbing II

Drs. Ramlan, M.Si.
NIP. 196604101993031003

Pembimbing I

Candra Kurniawan, S.Si, M.Si.
NIP. 1988100320101121003

Disetujui,

Ketua Jurusan Fisika

EMIPA Universitas Sriwijaya

Drs. Octavianus CS, M.T.
NIP. 196510011991021001

Kepala Pusat Penelitian

Fisika-LIPI

Dr. Bambang Widiatmoko, M.Eng.
NIP. 196204301988031001

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

*“ Dibalik kesedihan pasti ada ada kebahagiaan,
Begitu juga dengan perjuangan, pasti membawa hasil
Jadi jangan berhenti berjuang untuk mencapai mimpi yang akan
membawa kesuksesan”*

(IRA KUSUMAWATI)

Ku Persembahkan skripsi ini untuk,

- Allah SWT; Sumber cinta pertama*
- Rasulullah SAW; yang kurindu syafaatnya*
- Kedua orang tua ku tercinta serta kakak dan adikku
tersayang*
- Sahabat- sahabat terbaik ku*
- Almamater ku (Universitas Sriwijaya)*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **"PENGARUH WAKTU MILLING PADA PEMBUATAN MAGNET PERMANEN BONDED NEODYMIUM IRON BORON (NdFeB) ANISOTROPI"** Tak lupa shalawat dikirimkan pada baginda Nabi Muhammad SAW beserta para sahabat, sehingga syafaatnya dikaruniakan kepada kita semua. Aamiin.

Penulisan laporan tugas akhir ini bertujuan sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains bidang studi Fisika di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Penelitian tugas akhir ini difokuskan pada bidang ilmu material yang penelitiannya dilaksanakan di Pusat Penelitian Fisika LIPI, Kawasan PUSPITEK, Serpong, Tangerang Selatan.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu selama penyusunan dan pelaksanaan tugas akhir terutama kepada : Dosen pembimbing I, Bapak Candra Kurniawan, S.Si, M.Si dan Dosen pembimbing II Bapak Drs. Ramlan, M.Si. Selain itu penulis juga mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak memberikan bantuan, bimbingan, dukungan, saran dan kritiknya, diantaranya :

1. Kedua orang tua tercinta yang selalu berjuang demi masa depan tanpa mengenal lelah dan memberikan motivasi, dukungan, semangat dan do'a untukku.
2. Kakak dan adekku, serta seluruh keluarga tercinta yang selalu menasehati dan mendukung serta mendoakan kesuksesanku.
3. Bapak Dr. Iskhaq Iskandar, M.Sc. selaku dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

4. Bapak Drs. Octavianus Cakra Satya, MT selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya.
5. Bapak Dr. Akhmad Aminuddin Bama, Dr. Dedi Setia budidaya, dan Ibu Dr. Idha Royani selaku Dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis.
6. Seluruh dosen-dosen Fisika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah memberikan banyak ilmu dan petuah- petuah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
7. Bapak Dr. Bambang Widiyatmoko, M. Eng selaku Kepala Pusat Penelitian Fisika (PPF) LIPI atas perizinan tempat skripsi.
8. Bapak Prof. Perdamean Sebayang, M.Si, Bapak Ir. Muljadi, M.Si, Bapak Prijo Sardjono, M.Eng, dan Ibu Dr. Nenen Rusnaeni Djauhari, M.T yang selalu memberi masukan dan mengajari ilmu yang serta membimbing penulis dengan baik selama tugas akhir.
9. Bapak Ir. Muljadi, M. dari PPF LIPI yang rela meluangkan waktunya kepada penulis di tengah kesibukan dalam pekerjaannya.
10. Pak Ahmat dan pak Lukman selaku pembimbing lapangan yang bersedia meluangkan waktunya dalam mengarahkan dan membimbing.
11. Teman seperjuangan TA Fitri Arneti, Rhinda Aprilita, Umami lathifa, syinti Ilmiati Tri Destika Sari dan kak Danilman.
12. Teman- teman terbaikku Rika Damayanti, Damayanti, Soya Gemaya, Mona Destianty, Cunni yarsi, yesi Taslin, Sintia Peronika, Tri Wulandari, M. Yulian Akbar Dan Hini Karlina yang selalu memberi dukungan dan do'a untukku.

13. Teman seperjuangan dari satu daerah Indah Novita Khasana yang selalu memberi dukungan dan do'a untukku.
14. Saudara– saudaraku di FMIPA angkatan 2013 terimakasih atas segala kenangan yang kita lalui bersama.
15. Tema –teman ku di SMA Nora viktoria, Rosdinarti, dan Opita Sari yang selalu memberikan semangat padaku.
16. Guru SD, SMP dan SMA yang telah membekali ilmu yang sangat bermanfaat untukku.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan dan jauh dari sempurna yang disebabkan oleh keterbatasan pengetahuan yang dimiliki penulis. Oleh karena itu, penulis mengharapkan tanggapan baik saran ataupun kritik yang sifatnya membantu dan membangun dalam penyempurnaan laporan tugas akhir ini. Akhir kata penulis berharap semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Terima Kasih

Inderalaya, Juni 2017

Penulis

**"PENGARUH WAKTUMILLING PADA PEMBUATAN MAGNET
PERMANEN BONDED NEODYMIUM IRON BORON (NDFEB) ANISOTROPI"**

**Ira Kusumawati
08021181320016**

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian pembuatan *bonded magnet* NdFeB tipe MQP-B+ dan tipe MQA dengan waktu milling yaitu 15, 60, dan 180 menit. Tujuan menganalisis pengaruh waktu milling terhadap PSA, Bulk Density, Kuat Medan Magnet, XRD, dan SEM. Bahan baku yang digunakan adalah serbuk NdFeB tipe MQP-B+ dan tipe MQA. Serbuk dimilling dengan menggunakan *High Energy Milling* (HEM) dengan toluene. Selanjutnya dilakukan uji PSA, dicetak dengan alat *magnetic field press* secara anisotropi dengan *epoxy resin* 3%, *Curing* selama 4 jam dengan suhu 100°C. Selanjutnya dilakukan uji Bulk density, magnetisasi dan di uji kuat medan magnet. kemudian di dmagnetisasi untuk melakukan uji XRD dan SEM. Dari hasil *particle size Analyzer* (PSA) ukuran partikel pada diameter 50% untuk serbuk NdFeB menunjukkan bahwa pada waktu milling 15 menit ukuran diameter besar. Hasil uji *bulk density bonded* NdFeB tipe MQP-B+ cenderung meningkat. Hasil pengujian kuat medan magnet nilai terbesar NdFeB tipe MQP-B+ dimiliki oleh kutub selatan yaitu sebesar 1361,25. Hasil indentifikasi pola difraksi sinar-X (XRD) neodymium iron boron dalam penelitian memiliki struktur fasa tunggal Nd₂Fe₁₄B. Analisis pengujian SEM-EDX bahwa morfologi waktu milling 180 menit NdFeB tipe MQP-B+ memiliki morfologi permukaan yang halus.

Kata Kunci: Anisotropi, Serbuk NdFeB, sifat magnet.

Inderalaya, Mei 2017

Mengetahui,

Pembimbing II

Drs. Ramlan, M.Si.

NIP: 196604101993031003

NIP: 1988100320101121003

Pembimbing I

Candra Kurniawan, S.Si, M.Si.

NIP: 1988100320101121003

Disetujui,

Ketua Jurusan Fisika

Drs. Octavianus Cakra Setya, M.T.
NIP. 196510011991021001

**"MILLING TIME'S EFFECT IN THE PRODUCTION OF PERMANEN
MAGNETIC BONDED NEODYMIUM IRON BORON (NdFeB) ANISOTROPI"**

Ira Kusumawati
08021181320016

ABSTRACT

Production research of bonded magnet NdFeB type MQP-B+ and type MQA with milling time 15,60 and 180 minutes already done. The aim are to analyzed the milling time impact of PSA, Bulk Density, Magnetic Field, XRD, and SEM. The raw material were NdFeB powder type MQP-B+ and type MQA. The powder was milled by using High Energy Milling (HEM) with toluene. Afterward PSA test was done, molded by magnetic field press tool in anisotropy manner with 3% of epoxy resin, cured for 4 hours with 100°C temperature. For the next step, Bulk density test, magnetization and magnetic field test was done. Then, be magnetized to did XRD and SEM test. From particle size Analyzer (PSA) result, particlesize in 50% of diameter for NdFeB powder showed that in milling time 15 minutes, the diameter size is rough. The result of bulk density test of bonded NdFeB type MQP-B+ increased. The result of magnetic field test, the biggest of NdFeB type MQP-B+ owned by south polar that is 1361,25. Identification result of diffraction model of X-ray (XRD) neodymium iron boron in research has single phase structure Nd₂Fe₁₄B. The analysis of SEM-EDX testing showed that the morphology of milling time 180 minutes NdFeB type MQP-B+ has a smooth surface.

Key Words: Anisotropy, NdFeB powder, magnetic properties.

Inderalaya, Mei 2017

Mengetahui,

Pembimbing II

Drs. Ramlan, M.Si.
NIP: 196604101993031003

NIP: 1988100320101121003

Pembimbing I

Candra Kurniawan, S.Si, M.Si.
NIP: 1988100320101121003

Disetujui,



DAFTAR ISI

Lembar pengesahan.....	i
Motto dan Persembahan.....	ii
Kata pengantar	iii
Abstrak.....	vi
Abstrak.....	vii
Daftar isi.....	viii
Daftar Gambar.....	xi
Daftar Tabel	xii

BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistem Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pengertian Magnet	5
2.2 Sifat Kemagnetan Bahan	6
2.2.1 Bahan Diamagnetik.....	6
2.2.2 Bahan Paramagnetik	7
2.2.3 Bahan Ferromagnetik.....	8
2.2.4 Bahan Anti Ferromagnetik	10
2.2.5 Bahan Ferrimagnetik.....	10
2.3 Perkembangan Magnet Permanen.....	11
2.4 Magnet Permanen NdFeB (Neodymium Iron Boron).....	12
2.4.1 Unsur Pemasukan pada Magnet NdFeB	12
2.4.2 Sifat Fisis Magnet NdFeB	16
2.5 Bonded Magnet.....	17
2.6 <i>High Energy Milling</i> (HEM)	17
2.7 Karakterisasi	17

2.7.1 Particle Size Analyzer (PSA).....	17
2.7.2 X- Ray Diffraction (XRD)	20
2.7.3 Bulk Density.....	21
2.7.4 Scanning Electron Microscope (SEM).....	22
2.7.5 Kuat Medan Magnet.....	23
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	24
3.2 Alat dan Bahan Penelitian	24
3.2.1 Alat Penelitian.....	24
3.2.2 Bahan Penelitian	25
3.3 Variabel, Parameter dan Data	25
3.3.1 Variabel	25
3.3.2 Parameter	25
3.3.3 Data	26
3.4 Tahapan Penelitian	26
3.4.1 Preparasi Serbuk	26
3.4.2 Proses Pencampuran.....	26
3.4.3 Proses Pencetakan Sampel Mgnet NdFeB.....	27
3.4.4 Proses Currie.....	27
3.4.5 Magnetisasi	27
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	29
4.1 Analisa Particle Analyzer (PSA)	29
4.2 Analisa Bulk Density.....	31
4.3 Analisa Kuat Medan Magnet.....	33
4.4 Analisa XRD (X-Ray Diffraction).....	35
4.5 Analisis SEM –EDX	36
4.5.1 SEM (Scenning Elektron Microscope).....	37
4.5.2 EDX (Energy Dispersive X- Ray Spectrometry).....	38
BAB V PENUTUP.....	39
5.1 Kesimpulan.....	39
5.2 Saran.....	39

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN GAMBAR
LAMPIRAN DATA
LAMPIRAN GRAFIK

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arah domain bahan paramagnetik	7
Gambar 2.2 Arah domain bahan ferromagnetik	9
Gambar 2.3 Arah domain bahan anti ferromagnetik	10
Gambar 2.4 Arah domain bahan ferrimagnetik	11
Gambar 2.5 Struktur atom unsur neodymium1	13
Gambar 2.6 Struktur atom besi	14
Gambar 2.7 Struktur atom boron	15
Gambar 2.8 Difraksi bidang atom	21
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	29
Gambar 4.1 Hasil pengukuran diameter serbuk NdFeB MQP-B+ dan Tipe MQA ...	32
Gambar 4.2 Hasil pengukuran <i>bulk density</i> NdFeB tipe MQP-B+ dan tipe MQA	34
Gambar 4.3 Hasil pengukuran gaussmeter	36
Gambar 4.5 Hasil pola difraksi	37
Gambar 4.6 Hasil pengujian SEM NdFeB tipe MQP-B+ dan MQA	38

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Informasi dasar unsur neodimium.....	13
Tabel 2.2 Informasi dasar besi.....	15
Tabel 2.3 Informasi dasar boron.....	16
Tabel 2.4 Sifat fisis magnet NdFeB.....	16
Tabel 3.1 komposisi bahan baku	27
Tabel 4.1 Distribusi ukuran partikel serbuk NdFeB tipe MQP-B+	30
Tabel 4.2 Distribusi ukuran partikel serbuk NdFeB tipe MQA	31
Tabel 4.3 Nilai bulk density sampel magnet NdFeB tipe MQP-B+ dan tipe MQA....	33
Tabel 4.4. Hasil pengujian sifat magnet permanen NdFeB tipe MQP-B+.....	34
Tabel 4.5. Hasil pengujian sifat magnet permanen NdFeB tipe MQA.....	35
Tabel 4.6 Hasil pengukuran EDX.....	39

BAB I

PENDAHULUAN

I.I Latar Belakang

Istilah “anisotropi magnetik” mengacu pada ketergantungan sifat magnetik pada arah dimana mereka diukur. Anisotropi magnetik mempengaruhi sifat magnetisasi kurva histerisis dalam bahan magnetik. Sebagai akibatnya sifat sifat anisotropi merupakan faktor penting dalam menentukan kesesuaian bahan magnetik untuk aplikasi tertentu (Spaldin, 2003).

Anisotropi adalah suatu keadaan arah Kristal yang tergantung pada medan magnet eksternal yang di terapkan, sehingga dapat dikatakan bahwa medan magnet eksternal yang diterapkan pada saat kompaksi tersebut bertujuan untuk menyetarakan arah domain partikel.

Perkembangan material magnet permanen sangat cepat sejak tahun 1900an hingga saat ini, diikuti dengan semakin meningkatnya karakteristik magnet yang dihasilkan (Sudrajat dan Tony, 2013). Magnet permanen merupakan material magnet dengan aplikasi luas yang banyak digunakan pada industri-industri di Indonesia, namun pemenuhan komponen magnet permanen sampai saat ini masih bergantung pada produk impor, seperti Jepang dan China. Hal ini disebabkan karena belum adanya produsen magnet permanen lokal dalam negeri (Deswita,2007).

Neodymium Iron Boron ($Nd_2Fe_{14}B$) merupakan bahan magnet permanen yang memiliki medan anisotropi dan energi produk yang sangat tinggi, serta mampu menghasilkan neomagnet, yaitu magnet yang memiliki medan magnet yang lebih baik dari pada magnet biasa (Anwar, 2011).

Magnet NdFeB memiliki karakteristik magnet permanen yang paling tinggi yang memiliki nilai produk energi maksimum sampai dengan 450 kJ/m^3 . Namun, selain memiliki sifat magnet yang tinggi magnet NdFeB ini memiliki temperatur currie (T_c) yang rendah, sehingga sulit untuk diaplikasikan pada suhu tinggi. Bahan ini juga memiliki ketahanan korosi yang relative rendah sehingga dalam aplikasinya diperlukan *surface* treatment melalui *coating* atau pelapisan (Drak, M, 2007).

NdFeB dikenal sebagai magnet tanah jarang karena komposisi materialnya tersusun dari unsur-unsur tanah jarang. NdFeB memiliki sifat korosif dan energi produk yang maksimum (Kristiantoro, dkk, 2013).

Pembuatan magnet permanen dapat dilakukan dengan metode *mechanical milling*. *Mechanical milling* merupakan salah satu penggilingan mekanik dengan suatu proses penggilingan bola dimana suatu serbuk yang ditempatkan dalam suatu wadah penggiling di giling dengan cara dikenai benturan bola – bola berenergi tinggi. Proses ini merupakan metode pencampuran yang dapat menghasilkan produk yang sangat homogen dan juga dapat memperoleh partikel campuran relatif yang lebih kecil (Izumi dan Rietveld, 2012). Ada dua tipe penggilingan serbuk yaitu, serbuk dimilling dengan media cairan dan dikenal dengan proses penggilingan basah (*wet milling*). Jika dilakukan bukan dengan cairan dikenal dengan penggilingan kering (*dry milling*).

Karakterisasi untuk menentukan ukuran atau distribusi partikel dapat dilakukan dengan beberapa cara, salah satunya adalah menggunakan mikroskop electron seperti SEM dan TEM, atau menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA).

Penelitian sebelumnya, pada pembuatan magnet dari bahan flakes NdFeB dari proses *wet milling* dengan variasi milling 16, 24, 48 dan 72 jam. Didapatkan hasil pengukuran partikel serbuk dengan ukuran diameter terbesar pada waktu milling 16 jam, yaitu pada

diameter 10% sebesar 20,26 μm , pada diameter 50% sebesar 41,65 μm , dan pada diameter 90% μm sebesar 68,67 μm . Ukuran diameter terkecil di dapatkan hasil pada waktu milling 48 jam, yaitu pada diameter 10% sebesar 0,3 μm , pada diameter 50% sebesar 1,49 μm , dan pada diameter 90% sebesar 4,7 μm . namun pada waktu milling diteruskan hingga 72 jam terjadi penggumpalan yang menyebabkan diameter partikel semakin besar, yaitu pada diameter 10% sebesar 3,42 μm , pada diameter 50% sebesar 8,66 μm , dan pada diameter 90% sebesar 17,05 μm . Penggumpalan ini disebabkan karena semakin lamanya waktu milling (Sipahutar, dkk., 2015).

Pada penelitian kali ini akan di lakukan Pembuatan Magnet Permanen *Bonded Neodymium Iron Boron* (NdFeB) Anisotropi dengan variasi waktu milling dimana serbuk dimilling dengan menggunakan media cairan atau *wet milling*.

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana efek waktu high energy milling terhadap karakterisasi *Particle Size Analyzer* (PSA), *Bulk Density*, kuat medan magnet, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM).

I.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya :

1. Menggunakan bahan baku serbuk NdFeB tipe MQP-B+ dan tipe MQA dengan perekat serta *epoxy resin* sebagai *bindernya*.
2. Variasi waktu milling 15 menit, 60 menit dan 180 menit.

I.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain sebagai berikut :

1. Membuat magnet permanen *Neodymium Iron Boron* (NdFeB) dengan variasi waktu milling.

2. Menganalisa *Particle Size Analyzer* (PSA), *Bulk Density*, kuat medan magnet, *X-Ray Diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM) dari magnet permanen bonded NdFeB.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari tujuan yang telah disebutkan diatas, maka diharapkan penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Dapat membuat dan menganalisa karakterisasi magnet permanen *neodymium iron boron* (NdFeB) dengan variasi waktu milling.
2. Menambah pengetahuan mengenai teknologi magnet permanen bonded NdFeB dalam rangka penguasaan teknologi pengolahan bahan magnetik di indonesia.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penulisan skripsi ini terdiri dari beberapa bab dan masing-masing bab berisi uraian singkat dan memperjelas selama pengerjaan skripsi. Bab I, pendahuluan, membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, dan manfaat penelitin. Bab 2 Tinjauan pustaka, menguraikan tentang studi literatur dan teori-teori yang mendukung dan digunakan sebagai bahan dasar penelitian skripsi ini. Bab 3 Metode penelitian, menguraikan tentang metode dan proses penelitian skripsi yang dilakukan. Bab 4 Hasil dan pembahasan menuraikan tentang hasil yang diperoleh pada penelitian skripsi ini beserta uraian pembahasan-pembahasannya. Bab 5 Penutup, terdiri dari kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran-saran yang diharapkan untuk perbaikan penelitian yang telah dilakukan ini untuk kedepannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Afza, E., 2011, *Pembuatan Magnet Permanen Ba-Hexa Ferrite ($BaO.6Fe_2O_3$) Dengan Metode Koopresipitasi Dan Karakterisasinya*, FMIPA Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Anwar, N., 2011, *Pembuatan Magnet Permanen $Nd_2Fe_{14}B$ Melalui Melalui Metode Mechanical Alloying*, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Syarif Hidayatullah : Jakarta.
- Dermayu, S., S. 2012, Pengaruh Komposisi Cuo Terhadap Penyerap Gelombang Mikro pada Pembuatan Magnet Barium Heksaferit ($BaFe_{12-x}Cu_x O_{19}$), Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Deswita, 2007, Pembuatan dan Karakterisasi Rigid Bonded Magnet Berbasis Logam Tanah Jarang (Nd-Fe-B) Berperekat Resin Poliester, *Jurnal Sain Materi Indonesia*. 2007.126-131.
- Ginting, D., 2014, *Efek Penambahan Boron Terhadap Mikrostruktur, Sifat Fisis, Dan Magnetik Barium Heksaferit*, Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Halliday & Resnick, 1989, *Fisika*, Jakarta : Erlangga.
- Hilda, A., dan Marlina, 2013, *Pembuatan Magnet Bonded Permanen $PrFeB$ Dengan Binder polyester Dan Silicone Rubber*, Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Ihsan, M., 2005, Ketahanan Korosi Bahan Magnet Berbasis Rigid Bonded Magnet (RBM), *Jurnal Sains Materi Indonesia No. I Vol. 7 : 55 – 59*.
- Irasari, P., dan Idayanti, N., 2009, Aplikasi magnet permanen $BaFe_{12}O_{19}$ dan $NdFeB$ pada Generator Magnet Permanen Kecepatan Rendah Skala Kecil, *Jurnal Sains Materia Indonesia*. Pusat Penelitian Tenaga Listrik dan Mekani (TEKIMEK) – LIPI : LIPI.
- Izumi, I., dan A, Rievet, 2012, Refinement Program RIETAN-94 for Angie Dispersive X-Ray an Neutron Powder Diffraction. *National Institute for ResearchIn Orgnic Materials* 28. 104 – 110.
- Jiles, D. C., 1998, *Introduction to Magnetism and Magnetic Materials*, CRC Press, 95 – 105.
- Jiantie,Xu.,2014.*Advanced materials for lithium-ion batteries and sodium-ion batteries*, University of Wollongong.
- Johan, A., Ridwan, Mujamilah Dan Ramlan, 2007, Magnetik Nanokristalin Barium Heksaferit ($BaO_6Fe_{20}3$) Hasil proses High Energy Milling, *Jurnal Sains Materi Indonesia Edisi Khusus*. 120 – 125.

- Kristiantoro, Tony, dkk, 2013, *Pembuatan dan Karakterisasi Magnet Bonded NdFeB dengan Teknik Green Compact*, *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, Vol. 9, No. 1 (2013).
- Mentari, H, R., 2014, *Efek Holding Time Heat Treatment Terhadap Sifat Fisis Mikrostruktur, dan Sifat Magnet pada Pembuatan Bonded Magnet Pr-Fe-B*, Universitas Utara : Medan.
- Drak, M, et al., Hard Magnetic Materials Nd-Fe-B/Fe With Epoxy Resin Matrix. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 2007. 24 (2). 63-66
- Oktavia, S., Lya, 2014, *Efek Variasi Waktu rotary Ball Mill Pada Serbuk NdFeB Terhadap Mikrostruktur, Densitas, dan sifat Magnetnya*, Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Sari, P.F, 2016, *Sintesis Dan Karakterisasi BaFe_{12-2x}Mg_xAl_xO₁₉(x = 0,3;0,9;1,5% mol)*, FMIPA Universitas Sriwijaya : Inderalaya.
- Simbolan, 2013, *Pengaruh Komposisi Doping Io Mn pada Pembuatan Magnetik Barium Heksaferit (BaFe_{12-x}Mn_xO₁₉) sebagai Penyerap Gelombang Mikro*, Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Sipahutar, W.S., Maghfirah, A., Sardjono, P., 2015, *Efek Waktu Wet Milling dan Suhu Annealing Terhadap Sifat Fisis, Mikrostruktur dan Magnet dari Flakes NdFeB*, Prosiding Seminar Nasional Fisika Universitas Andalas (SNFUA). P2F LIPI : Serpong.
- Spaldin, Nicola. 2003. *Handbook of Magnetic Material: Fundamentals and Applications. Second Edition. University of California*. 135-139.
- Siregar, S.D., 2012, *Pengaruh Komposisi CuO Terhadap Penyerap Gelombang Mikro Pada Pembuatan Magnet Barium Heksaferit (BaFe_{12-x}Cu_xO₁₉)*, FMIPA Universitas Sumatera Utara : Medan.
- Sudrajat, N., dan Tony, K., 2013, *Fabrikasi Magnet Permanen Bonded NdFeB untuk Prototipe Generator*, Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI : Bandung.
- Syukri, 1999, *Kimia Dasar Jilid 2*, Bandung : UI Press.
- Triwibowo, J., 2011. *Rekayasa Bahan Li_xTiMn_yFe_z(PO₄)₃ Sebagai Katoda Solid Polimer Baterai (SPB) Lithium*. Depok: Universitas Indonesia.
- Utama, A. D. P., 2016, *Pembuatan Hibrid Bonded Magnet Nd₂Fe₁₂B-BaFe₁₂O₁₉*, FMIPA Universitas Sriwijaya : Inderalaya.
- Utami, P P., 2016, *Pembuatan Magnet Permanen BaO.6Fe₂O₃*, FMIPA Universitas Sriwijaya : Inderalaya.
- Windartun, 2008, *Kemagnetan*, Universitas Pendidikan Indonesia : Bandung.