

**ANALISIS SIFAT MAGNETIK SERBUK NANOKOMPOSIT
Fe₃O₄/POLYPIRROLE YANG DISINTESIS DENGAN METODE SOL GEL**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains



RISYAF FERNANDO

NIM. 18034137/2018

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG**

2022

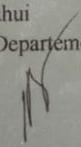
PERSETUJUAN SKRIPSI

**ANALISIS SIFAT MAGNETIK SERBUK NANOKOMPOSIT
 Fe_3O_4 /POLYPYRROLE YANG DISINTESIS DENGAN METODE
SOL GEL**

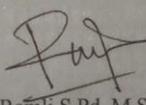
Nama : Risyaf Fernando
NIM : 18034137
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 23 Agustus 2022

Mengetahui
Kepala Departemen Fisika


Prof. Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh:
Pembimbing


Dr. Ramli S.Pd, M.Si.
NIP. 197302042001121002

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

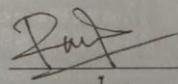
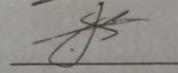
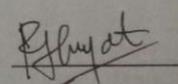
Nama : Risyaf Fernando
NIM : 18034137
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ANALISIS SIFAT MAGNETIK SERBUK NANOKOMPOSIT Fe_3O_4 /POLYPYRROLE YANG DISINTESIS DENGAN METODE SOL GEL

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Skripsi Departemen
Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri
Padang

Padang, 23 Agustus 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dr. Ramli S.Pd, M.Si.	1. 
2. Anggota	: Dra. Yenni Darvina, M.Si.	2. 
3. Anggota	: Rahmat Hidayat, S.Pd., M.Si.	3. 

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Risyaf Fernando
NIM/TM : 18034137/2018
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul "**Analisis Sifat Magnetik Serbuk Nanokomposit $Fe_3O_4/Polypyrrole$ yang Disintesis dengan Metode Sol Gel**" adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di Institusi UNP maupun dimasyarakat dan hukum Negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Saya yang menyatakan,



Risyaf Fernando

NIM. 18034137

Analisis Sifat Magnetik Serbuk Nanokomposit Fe₃O₄/Polypirrole Yang Disintesis Dengan Metode Sol Gel

Risyaf Fernando

ABSTRAK

Penelitian material magnetik yang bertujuan mengetahui sifat magnet dari bahan magnetik. Material magnetik diaplikasikan pada bidang teknologi informasi, sensor magnet, dan lainnya. Bahan ferromagnetic yang digunakan yaitu pasir besi yang berasal dari pantai tiram, Sumatera Barat. Fe₃O₄ yang dibuat dalam ukuran nano memiliki interaksi lebih kuat di dalam medan magnet. Sebagai polimer digunakan *Polypirrole* yaitu bahan yang paling stabil dan mudah larut. Salah satu riset berskala nano yang mempunyai aplikasi yang luas yaitu material nanokomposit. Pada penelitian yang dilakukan, Fe₃O₄ bertindak sebagai *filler* dan *Polypirrole* sebagai matriks dalam pembuatan nanokomposit Fe₃O₄/*Polypirrole*. Pengembangan dalam serbuk dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik. Dengan tujuan mendapatkan sifat magnet yang diinginkan maka dilakukan penelitian analisis sifat magnetik Fe₃O₄/*Polypirrole* yang disintesis dengan metode sol-gel.

Penelitian ini dilakukan sebanyak 5 variasi komposisi Fe₃O₄ dalam *Polypirrole* yaitu 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% (w/w). Nanokomposit dipreparasi menggunakan metode sol-gel. Gel nanokomposit yang dihasilkan berupa serbuk. Kemudian serbuk dikarakterisasi menggunakan alat *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infra Red* (FTIR), *Scanning Electron Microscope* (SEM), *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM).

Hasil karakterisasi VSM didapatkan bahwa bahan yang dibuat merupakan magnet keras yang ditandai dengan kurva histeresis besar dan nilai koersifitas (H_c) yang tinggi diatas 200 Oe dengan nilai berturut turut setiap variasi yaitu 240 Oe, 440 Oe, 610 Oe, 800 Oe, 940 oe. Hal ini memperlihatkan bahwa nanokomposit Fe₃O₄/*Polypirrole* memiliki sifat ferromagnetic yang dapat di aplikasikan pada sensor magnetik.

Kata Kunci: Fe₃O₄/*Polypirrole*, Nanokomposit, Sifat Magnet, Metode Sol Gel.

**Analysis of Magnetic Properties of Fe₃O₄/Polypyrrole Nanocomposite Powder
Synthesized by Sol-Gel Method**

Risyaf Fernando

ABSTRACT

material used is iron sand from the oyster beach, West Sumatra. Fe₃O₄ made in nano size has a stronger interaction in the magnetic field. Polypyrrole is used as a polymer, which is the most stable and easily soluble material. One of the nanoscale research that has wide applications is nanocomposite materials. In the research conducted, Fe₃O₄ acts as a filler, and Polypyrrole as a matrix in the manufacture of Fe₃O₄/Polypyrrole nanocomposites. Developments in powders can be applied as magnetic sensors. To obtain the desired magnetic properties, the analysis of the magnetic properties of Fe₃O₄/Polypyrrole which was synthesized by the sol-gel method was carried out.

Magnetic material research aims to determine the magnetic properties of magnetic materials. Magnetic materials are applied in the fields of information technology, magnetic sensors, and others. The ferromagnetic This research was conducted on as many as 5 variations of the composition of Fe₃O₄ in Polypyrrole, namely 30%, 40%, 50%, 60%, and 70% (w/w). Nanocomposites were prepared using the sol-gel method. The resulting nanocomposite gel is in the form of a powder. Then the powder was characterized using X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infra-Red (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), and Vibrating Sample Magnetometer (VSM).

The results of the VSM characterization showed that the material made is a hard magnet which is characterized by a large hysteresis curve and a high coercivity (H_c) value above 200 Oe with successive values for each variation, namely 240 Oe, 440 Oe, 610 Oe, 800 Oe, 940 Oe. This shows that Fe₃O₄/Polypyrrole nanocomposite has ferromagnetic properties that can be applied to magnetic sensors.

Keywords: Fe₃O₄/Polypyrrole, Nanocomposite, Magnetic Properties, Sol-Gel Method.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah *subhanahu wata'ala* yang telah memberikan rahmat, nikmat, karunia serta petunjuk-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Analisis Sifat Magnetik Serbuk Nanokomposit Fe₃O₄/Polypyrrole Yang Disintesis Dengan Metode Sol Gel.**

Skripsi ini merupakan bagian penelitian pusat/kelompok riset tahun 2022 dari lembaga penelitian dan pengabdian masyarakat Universitas Negeri Padang pada kelompok riset nanosain dan nanoteknologi dengan ketua peneliti bapak Dr. Ramli, M.Si. Penulis menyampaikan penghargaan yang tinggi dan terimakasih kepada lembaga penelitian dan pengabdian masyarakat Universitas Negeri Padang yang telah membiayai penelitian ini dengan nomor kontrak penelitian: 1767/UN35.13/LT/2022.

Dalam penyusunan skripsi ini penulis telah mendapatkan arahan, bantuan, serta dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ramli, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi
2. Ibu Dra.Yenni Darvina, M.Si sebagai penguji I skripsi;
3. Bapak Rahmat Hidayat, S.Pd., M.Si sebagai penguji II skripsi dan sekaligus pembimbing akademik;
4. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D selaku Ketua Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang;
5. Ibu Dr. Ratnawulan, M.Si sebagai Ketua Departemen Fisika FMIPA UNP;

6. Bapak dan Ibu Staf Dosen Pengajar Departemen Fisika FMIPA UNP yang telah membekali penulis selama mengikuti perkuliahan sampai akhir penulisan skripsi ini;
7. Staf Tata Usaha Departemen Fisika FMIPA UNP yang telah banyak membantu penulis selama mengikuti perkualihan dan penulisan skripsi ini;
8. Para sahabat terdekat (Fikhri, indah, dan ica), teman, kakak dan abang yang selalu memberikan semangat, doa dan dukungan serta membantu penyusunan skripsi penulis;
9. Rekan-rekan seperjuangan Program Studi Fisika angkatan 2018 tanpa terkecuali yang telah memberikan motivasi, doa dan dukungan kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini;
10. Semua pihak yang telah membantu dalam perencanaan, pelaksanaan, dan penyusunan demi terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersifat konstruktif guna penyempurnaan skripsi ini.

Padang, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Rumusan Masalah.....	3
D. Batasan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian.....	4
F. Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN TEORI	6
A. Magnetite (Fe₃O₄)	6
B. Nanokomposit.....	8
C. Polypirrole (PPy).....	10
D. Magnet.....	11
E. Klasifikasi Material Magnet.....	14
F. Sifat Kemagnetan Bahan.....	18
G. Kurva Histeresis	19

H. Metode Sol-gel	21
I. VSM (Vibrating Sample Magnetometer).....	23
J. Pengaruh Komposisi Nanokomposit Terhadap Sifat Magnetiknya.....	23
K. Penelitian Relevan.....	24
BAB III.....	26
METODE PENELITIAN.....	26
A. Jenis Penelitian.....	26
B. Waktu dan Tempat Penelitian	26
C. Variabel Penelitian.....	27
D. Instrument Penelitian	27
E. Prosedur Penelitian.....	39
F. Diagram Alir.....	45
BAB IV	47
HASIL DAN PEMBAHASAN	47
A. Hasil Penelitian.....	47
B. Pembahasan.....	69
BAB V.....	73
PENUTUP.....	73
A. Kesimpulan.....	73
B. Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN.....	80

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur spinel Fe_3O_4	7
Gambar 2. Struktur Fe_3O_4	7
Gambar 3. Arah domain-domain dalam Bahan Paramagnetik Sebelum Diberi Medan Magnet Luar	13
Gambar 4. Kurva Histeresis Magnet Keras.....	15
Gambar 5. Kurva Histeresis Magnet Lunak.....	16
Gambar 6. Kurva Histeresis bahan ferromagnetik, paramagnetik berdasarkan besaran magnetisasi (M_s), Magnetisasi remanen (M_r), dan (H_c)	17
Gambar 7. Kurva Histeresis	20
Gambar 8. HEM-E3D (High Energy Milling).....	28
Gambar 9. Magnetik Stirer.....	28
Gambar 10. Timbangan Digital	29
Gambar 11. Furnance	30
Gambar 12. Magnet Permanen.....	30
Gambar 13. Gelas Ukur.....	31
Gambar 14. Spatula.....	31
Gambar 15. Batang Pengaduk.....	32
Gambar 16. XRD (X-Ray Diffraction)	32
Gambar 17. SEM (Scanning Electron Microscopy)	33
Gambar 18. VSM	33
Gambar 19. FTIR	34

Gambar 20. Pasir Besi.....	35
Gambar 21. Aquades.....	35
Gambar 22. Ethilene Glycole.....	36
Gambar 23. NaOH	36
Gambar 24. Aquabidest.....	36
Gambar 25. Ethanol	37
Gambar 26. N-Hexana	37
Gambar 27. Aseton.....	38
Gambar 28. Polypirrole.....	38
Gambar 29. HCL (Asam Klorida).....	39
Gambar 30. diagram alir penelitian.....	46
Gambar 31. Kurva Histeresis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan Variasi Komposisi 30%	48
Gambar 32. Kurva Histeresis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan Variasi Komposisi 40%	49
Gambar 33. Kurva Histeresis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan Variasi Komposisi 50%	50
Gambar 34. Kurva Histeresis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan Variasi Komposisi 60%	51
Gambar 35. Kurva Histeresis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan Variasi Komposisi 70%	52
Gambar 36. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 30%	53

Gambar 37. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 40% .	54
Gambar 38. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 50% .	56
Gambar 39. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 60% .	57
Gambar 40. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 70% .	59
Gambar 41. Data karakterisasi menggunakan FTIR variasi 30% .	60
Gambar 42. Data karakterisasi menggunakan FTIR variasi 40% .	61
Gambar 43. Data karakterisasi menggunakan FTIR variasi 50% .	62
Gambar 44. Data karakterisasi menggunakan FTIR variasi 60% .	62
Gambar 45. Data karakterisasi menggunakan FTIR variasi 70% .	63
Gambar 46. Data hasil karakterisasi menggunakan SEM variasi 30% .	63
Gambar 47. Data hasil karakterisasi menggunakan SEM variasi 40% .	64
Gambar 48. Data hasil karakterisasi menggunakan SEM variasi 50% .	65
Gambar 49. Data hasil karakterisasi menggunakan SEM variasi 60% .	65
Gambar 50. Data hasil karakterisasi menggunakan SEM variasi 70% .	66
Gambar 51. Kurva Histeresis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole untuk 5 variasi komposisi .	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Parameter-parameter yang terdapat pada pengukuran	23
Tabel 2. Parameter-parameter yang akan diukur	45
Tabel 3. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2θ variasi komposisi 30%	53
Tabel 4. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2θ variasi komposisi 40%	55
Tabel 5. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2θ variasi komposisi 50%	56
Tabel 6. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2θ variasi komposisi 60%	58
Tabel 7. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2θ variasi komposisi 70%	59
Tabel 8. Data Analisis Sifat Magnet Nanokomposit dengan Variasi Komposisi Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole	68

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tahap Pelaksanaan Penelitian	80
Lampiran 2. Data VSM.....	82

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan teknologi memungkinkan terjadi pengembangan instrumen yang berbiaya rendah, multifungsi, ramah lingkungan, dan otomatis. Salah satu jenis instrument yang menarik untuk diteliti yaitu teknologi sensor yang dapat diaplikasikan pada berbagai bidang seperti bidang komunikasi, otomotif, teknologi informasi, dan bidang industri (Besse et al., 2002). Hal ini berdampak dengan banyaknya penelitian yang dilakukan pada bidang sains material dan salah satunya yaitu penelitian material magnetik untuk mengetahui sifat-sifat dari bahan magnetik. Material magnetik dapat diaplikasikan dalam bidang teknologi informasi dengan pemakaian bahan feromagnetik yang berukuran nanometer (Piramanayagam, 2007).

Salah satu bahan feromagnetik yang dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik yaitu pasir besi. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Aji,dkk (2007) menyatakan “sintesis nano partikel maghemit dan hematit dalam pasir besi bahwa bahan ini cocok dijadikan sebagai sensor dan tinta katalis”. Pasir besi dilihat dari sifat kemagnetannya pasir besi memiliki potensi yang sangat besar sebagai bahan cerdas jika diolah dengan teknologi modern (Yulianto,dkk. 2003). Akhir-akhir ini, penelitian tentang oksida magnetik mengalami kemajuan yang sangat pesat. Struktur nano dari oksida magnetik merupakan salah satu nanomaterial yang penting dalam pengembangan beberapa material cerdas dan fungsional baru (Ramli,2017), sehingga menimbulkan peningkatan daya guna. Peningkatan daya guna tersebut terjadi pada

perbedaan sifat fisis dan kimia yang berbeda ketika ukurannya besar dan ketika ukurannya nano. Perbedaan sifat ini berkaitan dengan keberadaan efek ukuran kuantum pada materialnya. Gubin,dkk (2005) menyatakan “sifat fisis yang unik dari nanopartikel magnetik adalah sifat kemagnetan yang dimilikinya, magnetisasi dan anisotropi magnetik nanopartikel berbeda dengan sifat material pada ukuran besarnya, selain itu pada nanopartikel ditemukan sifat yang menarik seperti *giant magnetoresistance* (GMR), efek magnetokalorik yang besar”. Wu,dkk (2010).

Penelitian tentang polimer konduktif telah banyak diteliti, salah satunya pada polimer konduktif PANI pada penelitian (Helmita, 2018) yang menggunakan bahan $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{PANI}$, pada penelitiannya didapatkan bahwa ukuran kristal yang dihasilkan besar, nilai koersifitasnya kecil, dan nilai magnetisasi saturasinya yang besar, sehingga tidak bagus untuk pengaplikasian pada sensor, sehingga dibutuhkan bahan baru yang sesuai standarisasi pengaplikasian sensor yang berbahan polimer konduktiv yaitu polypyrrole. *Polypyrrole* (PPy) adalah salah satu bahan yang menjanjikan dalam penggunaan produk komersil dikarenakan sifat stabilitas lingkungannya yang baik, sintesis yang mudah, dan memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dibanding polimer konduktif yang lain. Selain itu terdapat fakta bahwa monomer pirol mudah dioksidasi dan mudah larut dalam air (Qomariah,2011). *Polypyrrole* merupakan senyawa heterosiklik yang dapat disintesis secara elektrokimia dengan penambahan pengotor yang dapat meningkatkan konduktivitas listriknya. *Polypyrrole* merupakan senyawa dengan tekstur seperti bunga karang, terdekomposisi pada suhu $180 - 237^\circ\text{C}$ dan memiliki temperatur kaca $160 - 170^\circ\text{C}$, serta memiliki nilai konduktivitas dibawah 3 S cm^{-1} . *Polypyrrole* biasanya sering digunakan sebagai biosensor, sensor gas, kabel,

pelapis bahan anti listrik, kapasitor, baterai polimer, perlengkapan elektronik, membran fungsional, dan lain – lain (Wang,2001). Banyak metode yang telah dikembangkan untuk mensintesis nanokomposit seperti *hot press*, hidrotermal, kopresipitasi, *combustion methode*, sol-gel. Diantara metode-metode tersebut, metode sol-gel merupakan metode yang menjanjikan karena prosedurnya yang relative sederhana dan bisa dilakukan pada lingkungan normal. Pemakaian metode ini, membuat struktur Kristal dan sifat magnetik dapat dioptimalkan dan suatu material keramik dapat memiliki fungsional khusus seperti elektrik, optic, magnetic dengan cara menentukan prekursor yang tepat dengan bentuk produk akhir berupa powder, film aerogel atau serat.

Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis sifat magnetik nanokomposit $Fe_3O_4/polypyrrole$ yang disintesis dengan metode sol gel yang memiliki sifat magnet yang lebih tinggi lagi dan efektif untuk kepentingan pengaplikasiannya pada sensor magnetik.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka didapatkan identifikasi masalahnya:

1. Pasir besi yang melimpah di Indonesia yang masih belum banyak digunakan.
2. Sifat magnetik $Fe_3O_4/Polypirrole$ yang belum banyak diteliti.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang dapat dirumuskan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimanakah bentuk komposit Fe_3O_4 yang sudah berukuran nanometer?

2. Golongan material magnet apakah bahan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang dibuat?
3. Berapakah nilai koersivitas (H_c) bahan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang dibuat agar dapat diaplikasikan sebagai sensor magnet?
4. Bagaimanakah pengaruh komposisi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ terhadap sifat magnetik dari nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang disintesis dengan metode sol-gel?

D. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini yaitu:

1. Waktu milling sampel : 30 jam.
2. Perbandingan komposisi $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70%.
3. Analisis sifat magnetik dari $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$.

E. Tujuan Penelitian

Secara keseluruhan, tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui komposit Fe_3O_4 sudah berukuran nanometer.
2. Mengetahui termasuk golongan material magnet apa bahan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang dibuat.
3. Mengetahui nilai koersivitas (H_c) bahan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang dibuat sudah memenuhi syarat untuk dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik.
4. Meneliti pengaruh variasi komposisi Fe_3O_4 terhadap sifat magnetik dari nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang disintesis dengan metode sol-gel.

F. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu:

1. Bidang kajian material dan biofisika ataupun untuk jurusan fisika, sebagai acuan pengembangan ilmu dan teknologi yang berkembang sehingga melahirkan ide dan gagasan yang inovatif.
2. Bagi peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Studi Fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang kajian fisika material.
3. Peneliti lain, sebagai referensi dalam pengembangan selanjutnya.
4. Pembaca, dapat menambah pengetahuan dan memperluas wawasan.

BAB II

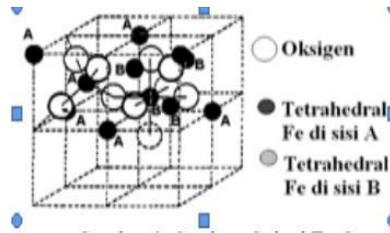
KAJIAN TEORI

A. Magnetite (Fe_3O_4)

Magnetite (Fe_3O_4) adalah material dengan sifat bahan semikonduktor. Bahan semikonduktor merupakan bahan yang memiliki konduktivitas listrik yang berada antara konduktor dan isolator dengan besar energi gap < 6 eV, ini dilaporkan oleh Ghandoor & Oktavian (Fitria, Ramli and Yenni, 2017). Nanopartikel Fe_3O_4 merupakan salah satu kelompok material oksida besi (ironoxide). Material Fe_3O_4 dalam bidang geologi diistilahkan dengan mineral magnetit. Material Fe_3O_4 dapat ditemukan secara bebas dan melimpah di alam dalam deposit pasir besi (iron sand). Material Fe_3O_4 memiliki berbagai potensi aplikasi. Potensi aplikasi tersebut sangat berkaitan dengan sifat- sifat fisika dan kimia yang dimiliki nanopartikel Fe_3O_4 . Adapun sifat fisika meliputi: sifat mekanik, optik, magnetik, elektromagnetik, akustik, dan termodinamik. Sementara sifat kimia meliputi: reaktivitas, laju reaksi, ikatan kimia, dan stabilitas dalam reaksi kimia (Indrayana, 2019).

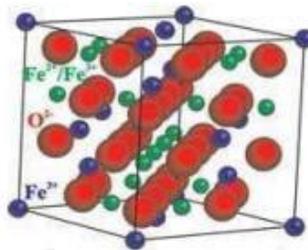
Luasnya aplikasi nanopartikel Fe_3O_4 dalam sains dan teknologi, mengharuskan pentingnya pengembangan material ini dari berbagai sisi. Bahkan sampai sekarang para peneliti terus gencar mengembangkan penelitian dengan melakukan pendopingan pada nanopartikel Fe_3O_4 dengan beragam metode sintesis dan prekursor yang pada umumnya masih relatif kompleks. Tidak hanya melakukan pendopingan

yang sangat penting untuk mendapatkan material baru dengan karakteristik yang lebih baik dari sebelumnya (Taufiq, 2012).



Gambar 1. Struktur spinel Fe_3O_4

Terlihat pada gambar 1, struktur tetrahedral: ion Fe dikelilingi oleh empat oksigen. Dan struktur oktahedral: ion Fe dikelilingi oleh enam ion Oksigen. Material feromagnetik atau biasa disebut ferit adalah bahan magnetik yang mempunyai sifat khas yaitu rapuh, tahan terhadap panas dan zat kimia, mempunyai tahanan jenis listrik yang tinggi, sehingga banyak digunakan dalam bidang elektronika dan juga keras. Ferit dapat termagnetisasi secara spontan pada temperature Currie dan bersifat paramagnetik untuk temperatur di atas temperatur Currie (Rahmi, Ramli, & Yenni, 2018).



Gambar 2. Struktur Fe_3O_4

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat bagaimana heksagonal dan struktur dari Fe_3O_4 . Dalam tiap sel terdapat sejumlah ion sebanyak delapan ion Fe^{3+} yang berada di bagian tetrahedral (A). Tetrahedron mempunyai empat sudut yang mana setiap

sudut itu ditempati oleh ion-ion karena letaknya ditengah-tengah sehingga strukturnya berbentuk heksagonal (Sovia, Ramli, Yulkifli, & Yenni, 2020).

Nanopartikel Fe_3O_4 merupakan jenis material magnetik yang banyak dikembangkan karena banyak digunakan dalam aplikasi sensor magnetik GMR dan mempunyai karakteristik yang cukup potensial (Hosokawa, 2007). Batuan besi terdiri dari mineral-mineral oksida besi seperti hematite ($-\text{Fe}_2\text{O}_3$), maghemite ($-\text{Fe}_2\text{O}_3$), dan magnetite (Fe_3O_4). Magnetite (Fe_3O_4) adalah oksida besi yang memiliki sifat kemagnetan yang paling kuat dibandingkan oksida besi lainnya dan paling banyak ditemukan (Ayu & Astuti, 2016).

B. Nanokomposit

Komposit memiliki arti yaitu susunan atau gabungan yang terdiri dari beberapa gabungan material yang berbeda baik dari segi bentuk maupun dari komposisi kimianya, sehingga jika digabungkan dengan metode dapat menghasilkan material baru yang lebih baik dari penyusunnya, material penyusun komposit terdiri atas dua bagian yaitu bagian pengikat (matriks) dan bagian penguat (filler) (Astley, dkk. 2001). Komposit dapat dibuat dengan bahan dasar ferit dan pengikat bahan yang bukan magnet seperti semen polimer, Portland, yang dicampur dengan komposisi yang diinginkan (Karakaro A. dkk, 2002). Menurut ASM Handbook (2001) yang membedakan komposit dengan paduan, dimana paduan dilakukan penambahan skala mikroskopis. Kombinasi beberapa material didalam komposit yang baik, yang memberikan sifat-sifat lebih baik diantara material penyusunnya. Maka dari itu, komposit diproduksi untuk mengoptimalkan sifat-sifat dari suatu material, seperti sifat mekanik (terutama kekuatan), sifat kimia dan fisika, optimalisasi sifat thermal

(ekspansi thermal, konduksi thermal, titik leleh) sebaik sifat elektriknya (konduktivitas listrik) dan sifat optiknya (ASM Handbook, 2001).

Menurut Hadiyawardman (2008) terdapat beberapa karakteristik komposit yaitu diantaranya yaitu tahan korosi, dan memiliki kekuatan jenis (rasio kekuatan terhadap berat jenis) yang tinggi (Hadiyawardman, 2008) Akhir-akhir ini komposit diperluas penggunaannya dijadikan dalam bentuk nanopartikel yang disebut dengan nanokomposit. Nanokomposit merupakan gabungan yang terdiri dari dua bahan atau lebih dengan sifat masing-masing bahan yang tersusun atas komponen matrik dengan menyisipkan bahan nanopartikel sebagai filler sehingga dihasilkan material baru dengan sifat yang lebih baik dibandingkan dengan bahan penyusun awalnya (Mulyawan, 2014). Menurut Chung (2001) nanokomposit mengacu pada ukurannya yang sangat kecil yaitu kurang dari 100 nanometer yang membuat nanokomposit menghasilkan karakteristik khusus yang tidak dimiliki bahan lain seperti kekuatan mekanik yang besar, yang disebabkan oleh ukurannya yang sangat kecil yang mengakibatkan luasan permukaan yang tinggi sehingga ketika semakin banyak partikel yang berinteraksi akan mengakibatkan kekuatan mekanisnya semakin besar (Chung, 2001).

Nanokomposit dibuat dengan menyisipkan nanopartikel (nanofiller) ke dalam sebuah material makroskopik (matriks). Pencampuran nanopartikel ke dalam matriks penyusun merupakan bagian perkembangan dunia nanoteknologi. Setelah menambahkan sejumlah nanopartikel ke dalam material matriks, nanokomposit yang dihasilkan menunjukkan sifat yang lebih unggul dibandingkan sifat material sebelumnya. Sedangkan matriks yang biasa digunakan berupa matriks polimer, logam

dan keramik. Nanokomposit berbasis polimer memiliki banyak keunggulan dibandingkan material komposit konvensional, makro maupun mikro. Keunggulannya dapat meningkatkan sifat elektrik, konduktivitas termal, sifat mekanik dan resistensi terhadap suhu tinggi. Semua keunggulan ini tergantung pada struktur dan sifat serta komposisi penyusun material komposit (Suyono, 2012).

Polimer Nanokomposit merupakan gabungan matriks polimer dan bahan pengisi yang berukuran nanometer. Apabila bahan pengisi berukuran nanometer ditambahkan kepada matriks polimer, bahan tersebut tersebar sebagai partikel halus, berstruktur seperti jarum atau sebagai lapisan dalam matriksnya. Secara tidak langsung, kehadiran bahan pengisi ini mempengaruhi kekuatan komposit yang dihasilkan. Jumlah bahan pengisi yang bertipe sangat kecil atau dalam dimensi nanometer hanya perlu digunakan dalam jumlah yang sedikit saja karena zarah nanometer menyediakan luas permukaan yang tinggi dan kebanyakan atom pada partikel tersebut berada pada permukaannya. Nanokomposit polimer menunjukkan sifat-sifat termal dan ketahanan yang lebih baik sesuai dengan polimer induknya. Diantaranya adalah memperbaiki ketahanan polimer, menghasilkan bahan yang lebih ringan, ketahanan suhu yang tinggi, memperbaiki permukaan polimer agar lebih cantik, memperbaiki kelemahan suatu polimer induk, pemrosesan yang lebih mudah dibanding resin konvensional (Sirait, 2014).

C. Polypyrrole (PPy)

Menurut Satria Sudigdo, Rizky Dharmawan and Hamidah Harahap (2014) *Polypyrrole* (PPy) adalah salah satu bahan yang menjanjikan dalam penggunaan produk komersil dikarenakan sifat stabilitas lingkungannya yang baik, sintesis yang

mudah, dan memiliki konduktivitas yang lebih tinggi dibanding polimer konduktif yang lain. *Polypyrrole* (PPy) merupakan polimer konduktif yang memiliki beberapa keunggulan seperti mudah dalam preparasi, ramah lingkungan, larut dalam air, mudah disintesis, dan konduktivitas yang relatif tinggi dibandingkan dengan polimer konduktif lainnya, (Satriaji Sudigdo, Rizky Dharmawan and Hamidah Harahap, 2014).

Menurut Satriaji Sudigdo, Rizky Dharmawan and Hamidah Harahap (2014) Polipirol merupakan senyawa heterosiklik yang dapat disintesis secara elektrokimia dengan penambahan pengotor yang dapat meningkatkan konduktivitas listriknya. Polipirol merupakan senyawa dengan tekstur seperti bunga karang, terdekomposisi pada suhu 180–237°C dan memiliki temperatur kaca 160 – 170°C, serta memiliki nilai konduktivitas dibawah 3 S cm⁻¹. Polipirol biasanya sering digunakan sebagai biosensor, sensor gas, kabel, pelapis bahan anti listrik, kapasitor, baterai polimer, perlengkapan elektronik, membran fungsional, dan lain – lain (Satriaji Sudigdo, Rizky Dharmawan and Hamidah Harahap, 2014). Menurut Efimov (Satriaji Sudigdo, Rizky Dharmawan and Hamidah Harahap, 2014) menyatakan bahwa polimer konduktif banyak menarik perhatian para peneliti dari berbagai cabang ilmu dan teknologi sebagai bahan baku elektroda untuk penyimpanan energi (baterai elektrokimia dan juga kapasitor), sebagai katalis elektrik, biosensor, membran pemisahan gas, pelindung anti korosif, dan lain– lain.

D. Magnet

Menurut Aji, dkk. (2007) magnet atau magnit merupakan sebuah benda yang terbuat dari logam dan dapat menarik besi ataupun baja yang memiliki medan

magnet. Kata magnet berasal dari kata magnesia artinya nama dari suatu daerah di Asia kecil. Menurut cerita pada daerah tersebut sekitar 4.000 tahun yang lalu telah ditemukan sejenis batu yang memiliki sifat yang dapat menarik besi atau baja ataupun campuran logam lainnya. Magnet selalu memiliki dua kutub, yaitu kutub utara dan kutub selatan. Sifat kemagnetan merupakan fenomena dimana suatu material dapat menimbulkan gaya tarik menarik dengan material lainnya (Aji, dkk. 2007). Material magnetik adalah material yang dipengaruhi oleh medan magnet yang berupa penyearahan dipol-dipol magnetik pada material (magnetisasi) yang memenuhi hubungan:

$$\vec{M} = X_m \cdot \vec{H} \quad (1)$$

Dimana M adalah magnetisasi yang timbul oleh medan magnet, X_m adalah suseptibilitas magnetik bahan dan H adalah kuat medan magnet yang diberikan pada bahan dengan nilai suseptibilitas magnetik untuk masing-masing material yang berbeda (Callister, 2007).

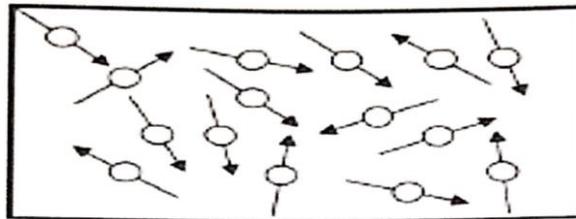
Adapun jenis-jenis magnetik pada material antara lain:

1. Diamagnetik

Diamagnetik merupakan suatu bahan yang tidak dapat dipengaruhi oleh material diamagnetik ini yang mempunyai nilai suseptibilitas magnetik X_m negatif dan sangat kecil, beberapa material yang termasuk golongan ini adalah timah, tembaga, intan, emas, air raksa, perak, hydrogen (1 tm) dan nitrogen (Tipler, 1996). Bahan diamagnetic memiliki nilai μ sedikit lebih kecil dari pada μ_0 . Hal ini disebabkan oleh atom-atom bahan diamagnetic yang tidak memiliki momen dipole (Giancoli, 2006).

2. Paramagnetik

Paramagnetik merupakan suatu bahan yang resultan H masing-masing atom atau molekulnya tidak nol, tetapi resultan H total seluruh atom atau molekul dalam bahan nol, hal ini disebabkan gerakan atom atau molekul acak, sehingga resultan H masing-masing atom saling meniadakan. Sifat paramagnetik ditimbulkan oleh momen magnetik spin yang menjadi terarah oleh medan magnet luar (Afza, 2011). Seperti yang terlihat pada gambar 1 arah domain-domain dalam bahan paramagnetik sebelum diberi medan magnet luar.



Gambar 3. Arah domain-domain dalam Bahan Paramagnetik Sebelum Diberi Medan Magnet Luar
 χ_m magnet dari bahan paramagnetik adalah positif dan berada dalam rentang 10^{-5} sampai $10^{-3} \text{m}^3/\text{kg}$ sedangkan untuk permeabilitasnya $\mu > \mu_0$. Bahan paramagnetik aluminium, magnesium, dan wolfram (Halliday, 1998).

3. Feromagnetik

Material feromagnetik merupakan material yang memiliki banyak spin elektron yang tidak berpasangan dan masing-masing spin elektron yang tidak berpasangan ini akan menimbulkan medan magnet, sehingga H total yang dihasilkan oleh satu atom menjadi lebih besar. Material yang termasuk feromagnetik ini yaitu besi murni, kobalt dan nikel. Sifat bahan feromagnetik biasanya terdapat dalam bahan ferit. Ferit ini merupakan bahan dasar magnet permanen yang banyak digunakan dalam industry

elektronika, seperti loudspeaker, motor-motor listrik, dynamo, kompas dan KWH-meter (Halliday, 1998).

4. Superparamagnetik

Sifat dari superparamagnetik merupakan sifat material yang memiliki magnetisasi tinggi ketika diberi H eksternal, namun ketika tidak ada H eksternal nilai magnetisasi rata-ratanya adalah nol. Bahan superparamagnetik timbul dari bahan feromagnetik yang berukuran sangat kecil (nano) (Naseri, et al., 2011). Ukurannya yang kecil menyebabkan material tersebut sangat reaktif terhadap medan magnet luar (Wu A, et al., 2010).

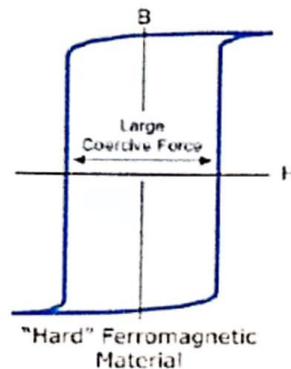
E. Klasifikasi Material Magnet

Berdasarkan wujudnya, magnet dibagi atas dua yaitu magnet permanen (*hardmagnet*), dan magnet sementara (*Soft magnet*).

1. Magnet Permanen (*Hard Magnet*)

Berdasarkan penelitian Tian Havwini (2015) menyatakan bahan magnet keras (magnet permanen) ditandai dengan nilai koersivitas H_c di atas 200 Oe.

Bahan magnet keras disebut juga sebagai magnet permanen yang digunakan untuk menghasilkan medan yang kuat tanpa menetapkan arus ke koil. Magnet permanen memerlukan koersivitas tinggi. Berikut kurva histeresis pada bahan magnet keras pada gambar 2.



Gambar 4. Kurva Histeresis Magnet Keras
(Chauhan Poja, 2010).

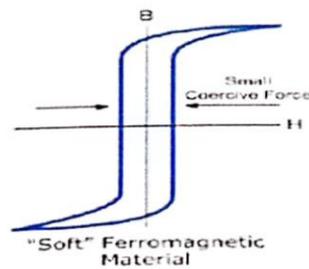
Pada gambar 4 menjelaskan dalam bahan magnet keras (*hard magnetik*) anisotropi diperlukan magnetik uniaksial dan sifat magnetik berikut:

- a. Koersivitas tinggi (*high coersivity*) disebut juga medan magnet koersif, dari bahan feromagnetik adalah intensitas medan magnet yang diterapkan atau dibutuhkan untuk mengurangi magnetisasi bahan ke nol setelah magnetisasi sampel telah mencapai saturasi. Koersivitas biasanya diukur dalam satuan oersted atau ampere/meter dan dilambangkan H_c . Bahan dengan koersivitas tinggi disebut bahan feromagnetik keras dan digunakan untuk membuat magnet permanen.
- b. Magnetisasi besar (*large magnetization*) merupakan proses pembuatan substansi sementara atau magnet permanen, dengan memasukkan bahan medan magnet. Bentuk kurva histeresis digunakan untuk klasifikasi antara *soft magnetic* dan *hard magnetic*. *Soft magnetic* memiliki nilai medan koersif dan remanen yang kecil, sehingga bentuk kurva sangat pipih. Nilai koersivitas yang kecil ini menunjukkan bahwa bahan dapat dengan mudah dihilangkan magnetisasinya. Aplikasi *soft magnetic* banyak dilakukan pada medan koersif yang kecil. Contoh

dari *soft magnetic* adalah campuran Si-Fe, Mn-Zn ferrite, dan Ni-Zn Ferrite (Bertotti, 1998).

2. Magnet Sementara (*soft magnetic*)

Bahan magnetik lunak (*soft magnetic*) dapat dengan mudah termagnetisasi dan mengalami demagnetisasi. Magnet lunak mempertahankan sifat magnet. Magnet lunak (*soft magnetic*) menunjukkan histeresis loop yang sempit, sehingga magnetisasi mengikuti variasi medan listrik hamper tanpa hysteresis loss. Magnet lunak (*soft magnetic*) digunakan untuk meningkatkan fluks yang dihasilkan oleh arus listrik didalamnya. Faktor kualitas dari bahan magnetik lunak adalah untuk mengukur permeabilitas yang sehubungan dengan medan magnet yang diterapkan. Parameter utama lainnya adalah koersivitas, magnetisasi saturasi dan konduktivitas listrik.

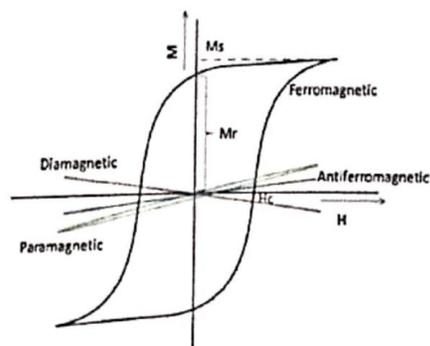


Gambar 5. Kurva Histeresis Magnet Lunak (Chauhan Poja, 2010).

Pada gambar 5 yang menjelaskan tentang kurva histeresis bahan magnetik lunak ideal akan memiliki koersivitas rendah (H_c), saturasi yang sangat besar (M_s), remanen (B_r) nol, *hysteresis loss* dan permeabilitas yang sangat besar. Kurva histeresis bahan magnetik lunak ditunjukkan pada gambar 5. Beberapa bahan penting magnetik lunak diantaranya Fe, paduan Fe-Si, Ferit lunak ($MnZnFe_2O_4$), besi, silikon dan lainnya (Chauhan Poja, 2010).

Karakteristik bahan ferromagnetik yang dipengaruhi oleh induksi magnetik, medan magnet luar, dan magnetisasi ditunjukkan dalam bentuk kurva histeresis. Ketika suatu bahan ferromagnetik dikenakan medan magnet luar H , maka bahan akan termagnetisasi. Jika nilai H diperbesar, magnetisasi M juga semakin besar. Pada keadaan tertentu saat magnetisasi sudah tidak naik dengan kenaikan H , keadaan ini disebut magnetisasi saturasi M_s .

Selanjutnya saat H dikecilkan nilainya dan mencapai nol, magnetisasi bahan ferromagnetik tidak kembali nol namun memiliki nilai dan disebut magnetisasi remanen. Magnetisasi remanen merupakan magnetisasi yang didapatkan setelah memberi perlakuan medan magnet pada bahan dan kemudian dihilangkan. Pada keadaan ini, ada momen magnetik yang orientasinya tidak kembali ke orientasi awal sehingga bahan memiliki sisa magnetisasi.



Gambar 6. Kurva Histeresis bahan ferromagnetik, paramagnetik berdasarkan besaran magnetisasi (M_s), Magnetisasi remanen (M_r), dan (H_c) (Kotnala & Shah, 2015).

Medan koersif H_c merupakan medan yang dibutuhkan untuk membuat magnetisasi remanen bernilai nol. Medan koersif mengukur besar medan magnet yang harus diberikan untuk membalik magnetisasi. Pada keadaan M_r bernilai nol ini, orientasi seluruh magnet bahan ferromagnetik tadi kembali ke orientasi awal. Medan

magnet luar kemudian dibalik polaritasnya dan diperbesar nilainya (dalam H bernilai negatif), hingga keadaan tertentu magnetisasi saturasi bernilai negatif terjadi.

Proses dilanjutkan dengan pemberian medan magnet luar bernilai nol, dan didapatkan magnetisasi remanen bernilai negative. Keseluruhan proses magnetisasi ditunjukkan dalam kurva histeresis pada gambar 6. Gambar 6 juga menunjukkan kurva histeresis setiap bahan. Terlihat bahwa bahan yang bersifat diamagnetik, jika diberi medan magnet luar maka akan mengalami magnetisasi dengan nilai sebaliknya. Jika medan magnet luarnya positif, maka magnetisasinya bernilai negatif. Selain itu, ketika medan magnet luarnya dihilangkan (bernilai nol), maka tidak ada magnetisasi sisa pada bahan (Kotnala & Shah, 2015). Hard magnetik memiliki nilai medan koersif dan remanen yang cukup besar. Hal ini berkaitan dengan aplikasi dari hard magnetik sebagai bahan yang stabil dan sebagai sumber permanen dari medan magnet. Parameter penting lain dari hard magnetik adalah hasil energi maksimum. Contoh dari hard magnetik adalah bahan campuran ferrite, nickel, cobalt, aluminium, dan cooper (Bertotti, 1998).

F. Sifat Kemagnetan Bahan

Bahan magnetik adalah bahan yang memiliki sifat kemagnetan dalam komponen pembentuknya. Menurut sifatnya terhadap adanya pengaruh kemagnetan, bahan magnet ini dapat digolongkan menjadi 5 yaitu bahan diamagnetik, bahan paramagnetik, bahan ferromagnetik, bahan anti ferromagnetik, dan bahan ferrimagnetik (Jiles, D.C, 1998). Berdasarkan percobaan Stern Gerlach, sifat magnetik didefinisikan sebagai interaksi antar atom-atom yang mempunyai elektron berpasangan dalam orbitalnya dengan medan magnet menyebabkan atom ditolak

medan magnet (diamagnetik). Jika dalam orbital atom terdapat elektron tidak berpasangan, maka atom akan ditarik medan magnet (paramagnetik). Semakin banyak terdapat elektron tidak berpasangan, sifat paramagnetiknya semakin kuat.

Sifat dan karakteristik magnetik suatu bahan erat kaitannya dengan nilai suseptibilitas magnetik χ_m dan permeabilitas magnetik μ . Rapat fluks magnet B , medan magnet H , dan magnetisasi M sangat diperlukan karena berhubungan dengan suseptibilitas dan permeabilitas magnetik suatu bahan. Hubungan antara B , H , dan M dapat ditulis dengan persamaan :

$$B = \mu_0 (H+M) \quad (2)$$

$$M = \chi_m H \quad (3)$$

Dengan :

B : Induksi magnet di titik yang diamati (Tesla/Oersted)

H : Medan magnet (Oersted)

μ_0 : Permeabilitas ruang hampa ($\text{WbA}^{-1} \text{m}^{-1}$)

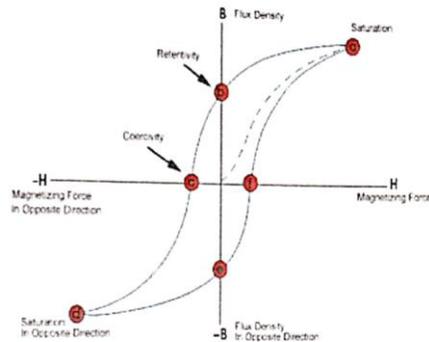
M : Magnetisasi (emu/g)

χ : Suseptibilitas dari bahan ($\text{A}^{-1} \text{m}^{-1}$)

(Tipler, 2001 : 326-327).

G. Kurva Histeresis

Hubungan antara magnetisasi (M), intensitas magnetisasi (H), dan induksi magnetik (B) dapat dilihat dari kurva histeresis. Sebuah loop histeresis menunjukkan hubungan antara kerapatan fluks induksi magnetik (B) dan gaya magnet/intensitas magnetik (H). Semakin besar nilai H maka semakin besar pola medan magnet B . Deskripsi rinci dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 7. Kurva Histeresis (Patrik. M, 2013).

1. Pada titik menunjukkan hamper seluruh domain magnetik adalah selaras dan peningkatan pada medan magnetik akan meningkatkan sedikit dari fluks magnetik. Maka pada titik ini bahan mengalami titik jenuh magnetik (magnetisasi saturasi).
2. Ketika H direduksi menjadi nol, kurva akan bergerak dari titik a ke titik b. Pada titik ini, dapat dilihat bahwa beberapa fluks magnetik tetap berada pada bahan meskipun gaya magnetisasi nol. Hal ini disebut titik retensivitas pada grafik yang menunjukkan remanen atau tingkat magnetisasi yang tersisa ketika H telah hilang. Ini menunjukkan kemampuan magnetisasi bahan saat diberi medan luar (H). Jika nilai retensivitas besar besar maka sifat kemagnetannya semakin kuat.
3. Pada titik c fluks magnetik mengalami pengurangan sampai ke nilai nol dan disebut titik koersivitas pada kurva. Koersivitas (H_c) merupakan besarnya medan yang diperlukan untuk membuat kemagnetannya = 0. Semakin besar nilai H_c maka sifat kemagnetannya akan semakin kuat.
4. Selanjutnya untuk titik d, kekuatan magnetik meningkat pada arah negatif sehingga bahan mengalami magnetisasi jenuh (magnetisasi saturasi) tetapi pada

arah yang berlawanan. Nilai H berkurang sampai nol dan kurva dibawa menuju ke titik e.

5. Pada titik f nilai H mengalami kenaikan ke arah positif sedangkan nilai B mengalami penurunan ke titik nol sehingga dari titik f kembali ke titik jenuh (magnetisasi saturasi). (Mareanus Mendrofia, 2016).

H. Metode Sol-gel

Pada sintesis nanomaterial berlapis dan berpori metode preparasi yang paling sering digunakan yaitu metode sol-gel. Metode sintesis menggunakan sol-gel untuk material berbasis oksida berbeda-beda bergantung pada prekursor dan bentuk produk akhir, baik itu berupa *powder*, film, aerogel, atau serat. Metode sol-gel cocok untuk preparasi thin film dan material berbentuk *powder*. Tujuan preparasi ini agar suatu material keramik dapat memiliki fungsional khusus (elektrik, optic, magnetik, dll). Metode ini merupakan salah satu “*wet method*” karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada metode sol-gel, sesuai dengan namanya larutan mengalami perubahan fase menjadi sol (koloid yang mempunyai padatan tersuspensi dalam larutannya) dan kemudian menjadi gel (koloid tetapi mempunyai fraksi solid yang lebih besar dari pada sol).

Sol merupakan suspensi koloid yang fasa terdispersinya berbentuk padat dan fasa pendispersinya berbentuk cairan. Suspensi dari partikel padat atau molekul-molekul koloid dalam larutan, dibuat dengan metal alkoxi dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan, dan reaksinya adalah reaksi hidrolisis (Paveena et al., 2010). Gel (*gelation*) adalah jaringan partikel atau molekul, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi didalam larutan

digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan anorganik terjadi di gel point, dimana energy ikat lebih rendah. Reaksinya adalah reaksi kondensasi, baik alcohol atau air, yang menghasilkan *oxygen bridge* (jembatan oksigen) untuk mendapatkan metal oksida (Paveena et al., 2010).

Prekursor atau bahan awal adalah aloksida logam dan klorida logam, yang kemudian mengalami reaksi hidrolisis dan reaksi polikondensasi untuk membentuk koloid, yang terdiri dari partikel padat dengan ukuran partikel 1nm sampai 1 μ m yang terdispersi dalam suatu pelarut (Paveena, 2010). Struktur dan ukuran gel yang dihasilkan tergantung pada rumusan komposisi kimia dan prosedur preparasi pembuatan sol hingga titik gel serta jalannya proses *aging*, pengeringan, dan pemanasan gel. Proses *aging* dilakukan dengan cara mendiamkan gel untuk mengubah sifatnya agar lebih kaku, kuat, dan menyusut (Pataya, S.A, 2016). Hal ini didukung juga oleh penelitian Rianto D, dkk. (2018) yang membuat larutan sol-gel selama 2 jam dengan adukan menggunakan *stirer* yang berkecepatan konstan pada suhu 80°C agar mendapatkan sifat pasir besi yang kuat dan menyusut.

Adapun penelitian sol-gel terdahulu menunjukkan bahwa proses sol-gel tidak hanya menghasilkan material yang homogen, tetapi juga dapat digunakan untuk mensistesis berbagai macam material campuran antara organik dan anorganik (Bandyopadhyay et al, 2005). Metode sol-gel memiliki kekurangan dan kelebihan. Kekurangan dari proses sol-gel ini adalah terjadinya penyusutan dari xerogel karena berkurangnya pelarut, air dan pelepasan alcohol selama proses pengeringan (Hsu et al, 2001). Sedangkan kelebihan dari metode sol-gel ini yaitu mempermudah proses

pembentukan lapisan tipis melalui proses pemutaran atau spin menggunakan metode *spin coating*.

I. Vibrating Sample Magnetometer (VSM)

Vibrating Sample Magnetometer (VSM) merupakan salah satu jenis peralatan yang digunakan untuk mengetahui dan mempelajari sifat magnetik bahan. Karakterisasi dengan VSM menghasilkan informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva histerisis. Alat ini merupakan salah satu jenis peralatan yang digunakan untuk mempelajari sifat magnetik bahan. Sifat magnetik pada bahan terjadi sebagai akibat dari perubahan suhu, dan sifat-sifat magnetik sebagai fungsi sudut pengukuran atau kondisi anisotropik bahan (Tebriani, 2019).

J. Pengaruh Komposisi Nanokomposit Terhadap Sifat Magnetiknya

Menurut Helmita, (2018) untuk nanokomposit NiFe₂O₄/PANi dengan variasi komposisi sebanyak 5 variasi 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dapat mempengaruhi sifat kemagnetan suatu bahan. Dimana parameter yang terdapat pada pengukuran yaitu dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter-parameter yang terdapat pada pengukuran

No.	Variasi Komposisi (%)	Ukuran Kristal D (nm)	Hc (Oe)	Ms (memu)	Mr (memu)
1.	30	44,36	572,16	3,39	1,02
2.	40	21,26	579,91	3,15	1,07

3.	50	42,25	562,42	3,50	1,04
4.	60	43,96	639,05	3,01	1,02
5.	70	39,18	447,21	4,38	1,33

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa ukuran kristalit mempengaruhi nilai koersifitas dari nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$. Pada data hasil karakterisasi menggunakan VSM Tipe M250 didapatkan bahwa semua sampel $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$ memiliki nilai koersifitas (H_c) di atas 200 Oe yang merupakan magnet tipe keras. Penelitian yang dilakukan Khairunnisa (2017) tentang pengaruh penambahan Fe pada pembuatan bonded magnet NdFeB terhadap sifat fisis dan magnet menyatakan bahwa bahan magnet keras (magnet permanen) ditandai dengan kurva histerisis besar dan nilai koersifitas (H_c) yang tinggi di atas 200 Oe.

Berdasarkan analisa didapatkan bahwa variasi komposisi dari nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$ yang digunakan dapat mempengaruhi sifat magnetik dari nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$. Oleh karena itu, peneliti mengambil variasi komposisi 30%, 40%, 50%, 60%, 70% yang akan digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ sebagai polimernya.

K. Penelitian Relevan

Pada penelitian (Putri, 2019), mengenai pengaruh variasi komposisi terhadap struktur mikro lapisan nanokomposit $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{PVDV}$ yang disintesis dengan metode spin coating. Pada penelitian ini diaplikasikan pada elektroda superkapasitor sehingga menggunakan Cobalt ferrite (CoFe_2O_4) yang memiliki konduktifitas listrik yang tinggi, dan menggunakan polimer PVDV karena 30 dapat diaplikasikan pada

elektroda superkapasitor. Alat karakterisasi yang digunakan yaitu FTIR, XRD, dan SEM. Didapatkan bahwa semakin bertambah komposisi nanokomposit, maka strain mikro kristal dan ketebalan lapisan nanokomposit juga bertambah.

Pada penelitian (Ramli & dkk, 2018) mengenai Struktur Mikro Dan Sifat Magnetik Dari Lapisan Tipis Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Pvdv}$, dilakukan penelitian penumbuhan lapisan tipis nanokomposit Fe_3O_4 yang menggunakan polimer PVDV yang dipreparasi dengan metode spin coating yang menguji sifat struktur mikro dan sifat magnetiknya. Untuk menguji sifat struktur mikro digunakan alat karakterisasi SEM, XRD, dan FTIR, sementara untuk sifat magnet digunakan alat karakterisasi VSM. Pada penelitian didapatkan bahwa penambahan konsentrasi Fe_3O_4 dalam matriks PVDF menyebabkan kristalinitas nanokomposit meningkat. Sementara penambahan Fe_3O_4 membantu kristalisasi polimer yang lebih cepat yang ditandai dengan peningkatan ukuran sperulus pada morfologi permukaan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan kesimpulan yaitu:

1. Material Fe_3O_4 yang digunakan pada penelitian ini sudah berukuran nano yang ditandai dengan ukuran partikelnya kecil dari 100 nm yang didapat dari hasil uji XRD.
2. Material magnet yang didapat pada penelitian ini termasuk magnet keras yang ditandai dengan kurva histeresis yang besar dan juga magnet keras tidak mudah termagnetisasi.
3. Serbuk nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang telah dibuat ingin diaplikasikan sebagai sensor magnetik yang ditandai dengan nilai koersivitas (H_c) yang tinggi di atas 200 Oe. Dan pada setiap variasi komposisi yang digunakan pada penelitian ini didapatkan nilai koersivitasnya sudah di atas 200 Oe.
4. Mengenai pengaruh variasi komposisi Fe_3O_4 terhadap sifat magnetik dari serbuk nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ disimpulkan bahwa variasi komposisi Fe_3O_4 yang digunakan pada penelitian ini mempengaruhi sifat magnetik serbuk nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$. Semakin banyak Fe_3O_4 yang diberikan maka sifat magnetik yang dihasilkan juga semakin kuat yang dibuktikan dengan nilai M_r dan M_s pada variasi komposisi 70% dan nilai koersivitas (H_c) setiap variasi diatas 200 Oe. Dan juga ukuran kristal mempengaruhi sifat magnet, yang mana semakin kecil ukuran kristal yang

didapat maka sifat magnet yang dihasilkan juga bertambah kuat yang dibuktikan dengan ukuran kristal yang didapatkan kecil dari 100 nm.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka peneliti menyarankan dalam melakukan pembuatan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ khususnya pada tahap sol-gel harus dilakukan dengan lebih teliti lagi, agar larutan yang terbentuk semakin kental. Sehingga pada saat penumbuhan nanokomposit menghasilkan serbuk yang homogen dan ukuran partikel yang didapatkan mencapai satuan nm yang benar.