

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI Fe_3O_4 TERHADAP SIFAT
MAGNETIK NANOKOMPOSIT MAGNETITE-POLYANILINE
($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$) YANG DISINTESIS DENGAN METODE SOL-GEL**



RIVANA LENGGO GENY

NIM. 18034020/2018

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

2022

**PENGARUH VARIASI KOMPOSISI Fe_3O_4 TERHADAP SIFAT
MAGNETIK NANOKOMPOSIT MAGNETITE-POLYANILINE
($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}$) YANG DISINTESIS DENGAN METODE SOL-GEL**

SKRIPSI

*Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Sains*



Oleh:

RIVANA LENGGO GENY

NIM. 18034020/2018

PROGRAM STUDI FISIKA

DEPARTEMEN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

2022

PERSETUJUAN SKRIPSI

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI Fe_3O_4 TERHADAP SIFAT
MAGNETIK NANOKOMPOSIT MAGNETITE-POLYANILINE
($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}$) YANG DISINTESIS DENGAN METODE SOL-GEL

Nama : Rivana Lenggo Geny
NIM : 18034020
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

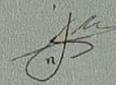
Padang, 03 Juni 2022

Mengetahui
Kepala Departemen Fisika



Dr. Ratnawulan, M.Si.
NIP. 196901201993032002

Disetujui Oleh:
Pembimbing



Dra. Yenni Darvina, M.Si.
NIP. 196309111989032003

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

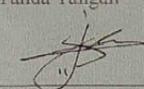
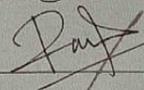
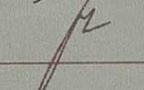
Nama : Rivana Lenggo Geny
NIM : 18034020
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

PENGARUH VARIASI KOMPOSISI Fe_3O_4 TERHADAP SIFAT MAGNETIK NANOKOMPOSIT MAGNETITE-POLYANILINE ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}$) 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, 03 Juni 2022

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	: Dra. Yenni Darvina, M.Si	1. 
2. Anggota	: Dr. Ramli, M.Si	2. 
3. Anggota	: Drs. Gusnedi, M.Si	3. 

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Rivana Lenggo Geny
NIM/TM : 18034020/2018
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi saya dengan judul : "Pengaruh Variasi Komposisi Fe_3O_4 Terhadap Sifat Magnetik Nanokomposit Magnetite-Polyaniline ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANI}$) 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 surat pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.



Rivana Lenggo Geny

18034020

Pengaruh Variasi Komposisi Fe₃O₄ Terhadap Sifat Magnetik Dari Nanokomposit Magnetite-Polyaniline (Fe₃O₄/PANi) Yang Disintesis Dengan Metode Sol-Gel

Rivana Lenggo Geny

ABSTRAK

Penelitian material magnetik bertujuan mengetahui sifat magnet dari bahan magnetik. Material magnetik diaplikasikan pada bidang teknologi informasi, sensor magnet, dan lainnya. Bahan ferromagnetik yang digunakan yaitu pasir besi yang diambil dari Pantai Tiram, Sumatera Barat. Fe₃O₄ yang dibuat dalam ukuran nano memiliki interaksi lebih kuat di dalam medan magnet. Sebagai polimer, digunakan Polianilin (PANi) yaitu bahan 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 PANi sebagai matriks dalam pembuatan nanokomposit Fe₃O₄/PANi. Pengembangan dalam lapisan tipis dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik. Dengan tujuan mendapatkan sifat magnet yang diinginkan maka dilakukan penelitian pengaruh variasi komposisi Fe₃O₄ terhadap sifat magnetik nanokomposit Fe₃O₄/PANi.

Penelitian ini dilakukan sebanyak 5 variasi komposisi Fe₃O₄ dalam pani yaitu 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70%. Nanokomposit dipreparasi menggunakan metode sol-gel. Gel komposit yang dihasilkan dilapiskan di atas substrat kaca yang diikuti proses pengeringan untuk dijadikan lapisan tipis. Kemudian lapisan tipis dikarakterisasi menggunakan alat X-Ray Diffraction (XRD), dan Vibrating Sample Magnetometer (VSM).

Hasil karakterisasi XRD disetiap variasi yang digunakan Fe₃O₄/PANi telah berhasil dibentuk menjadi nanokomposit, ditunjukkan oleh ukuran kristal yang nilainya kecil dari 100 nm. Dan pengujian VSM didapatkan bahwa bahan yang dibuat merupakan magnet keras yang ditandai dengan kurva histerisis besar dan nilai koersivitas (H_c) yang tinggi di atas 200 Oe dengan nilai berturut-turut di setiap variasi yaitu 240,51, 240,29, 281,89, 256,99, dan 268,64 Oe. Hal ini memperlihatkan bahwa nanokomposit Fe₃O₄/PANi memiliki sifat ferromagnetik yang dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik.

Kata Kunci : Fe₃O₄, PANi, Nanokomposit, Lapisan Tipis, Sifat Magnet

The Effect of Variations In The Composition of Fe₃O₄ On The Magnetic Properties of Magnetite-Polyaniline (Fe₃O₄/PANi) Nanocomposites Synthesized By The Sol-Gel Method

Rivana Lenggo Geny

ABSTRACT

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 material used is iron sand taken from Tiram Beach, West Sumatra. Fe₃O₄ made in nano size has a stronger interaction in the magnetic field. As a polymer, Polyaniline (PANi) is used, which is the most stable and easily soluble material. One of the nanoscale research that has wide applications is nanocomposite materials. In this research, Fe₃O₄ acts as a filler and PANi as a matrix in the manufacture of Fe₃O₄/PANi nanocomposites. The expansion in a thin layer can be applied as a magnetic sensor. With the aim of obtaining the desired magnetic properties, a study was carried out on the effect of variations in the composition of Fe₃O₄ on the magnetic properties of Fe₃O₄/PANi nanocomposites.

This research was carried out as many as 5 variations of the composition of Fe₃O₄ in PANi, namely 30%, 40%, 50%, 60%, and 70%. Nanocomposites were prepared using the sol-gel method. The resulting composite gel was coated on a glass substrate followed by a drying process to make a thin layer. Then the thin layer was characterized using X-Ray Diffraction (XRD), and Vibrating Sample Magnetometer (VSM).

The results of XRD characterization in each variation used Fe₃O₄/PANi have been successfully formed into nanocomposites, indicated by the crystal size which is smaller than 100 nm. And the VSM test found 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 in each variation, namely 240.51, 240.29, 281.89, 256.99, and 268.64 Oe. This shows that Fe₃O₄/PANi nanocomposite has ferromagnetic properties that can be applied as a magnetic sensor.

Keywords : Fe₃O₄, PANi, Nanocomposite, Thin Layer, Magnet Properties

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis diberi kesempatan, kekuatan juga kemampuan untuk dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **Pengaruh Variasi Komposisi Fe_3O_4 Terhadap Sifat Magnetik Nanokomposit Magnetite-Polyaniline ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$) Yang Disintesis Dengan Metode Sol-Gel.**

Skripsi ini ialah salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains di Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang. Skripsi ini merupakan bagian dari penelitian Dra. Yenni Darvina, M.Si, dkk dalam Penelitian Dasar Perguruan Tinggi (PDPT) pada tahun 2021 dengan judul “Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit Magnetite-Polyaniline ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$) untuk Elektroda Superkapasitor”. Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membimbing dan membantu dalam menyelesaikan Skripsi ini. Terimakasih penulis ucapkan kepada:

1. Ibu Dra. Yenni Darvina, M.Si selaku Pembimbing.
2. Bapak Dr. Ramli, S.Pd., M.Si selaku Penguji I.
3. Bapak Drs. Gusnedi, M.Si selaku Penguji II.
4. Bapak Dr. H. Asrizal, M.Si selaku Penasehat Akademik.
5. Ibu Dr. H. Ratnawulan, M.Si selaku Ketua Departemen Fisika.
6. Ibu Syafriani, S.Si., M.Si., Ph.D selaku Ketua Program Studi Fisika.
7. Kepada seluruh staf pengajar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang telah memberikan ilmu yang penulis peroleh selama perkuliahan.
8. Seluruh staf administrasi dan laboran Departemen Fisika.
9. Kepada kedua orang tua saya, ayahanda Temprizal dan ibu Hendra Yanti yang sangat saya cintai yang banyak memberikan dukungan moral dan materil serta

bimbingan do'anya yang tulus dan tak kunjung henti kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini.

10. Kepada kakak dan adik saya, kakak Aresa Suciанти Autаma, S.Pd dan adik Vema Kasih Pratisha yang sangat saya cintai. Semoga tuhan selalu meridhoi disetiap langkah kalian menuju apa yang kalian cita-citakan.
11. Dan rekan-rekan serta semua pihak yang telah membantu sampai terselesaikannya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini jauh dari sempurna, semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlipat ganda kepada semua pihak yang telah turut membantu penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis berharap atas saran dan kritik yang bersifat membangun guna perbaikan skripsi ini untuk kedepannya.

Padang, Juni 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Batasan Masalah.....	7
C. Rumusan Masalah	8
D. Tujuan Penelitian	8
E. Manfaat Penelitian	9
BAB II	10
TINJAUAN PUSTAKA	10
A. Pasir Besi	10
B. Fe₃O₄.....	11
C. PANi.....	13
D. Nanokomposit	15
E. Magnet	16
F. Sifat Kemagnetan Bahan	17
G. Klasifikasi Material Magnet.....	23
H. Kurva Histerisis	25
I. Metode Sol-Gel.....	27

J. Metode Spin Coating.....	28
K. <i>X-Ray Diffraction</i> (XRD).....	30
L. VSM (Vibrating Sample Magnetometer)	32
M. Pengaruh Komposisi Bahan terhadap Sifat Magnetiknya	34
METODA PENELITIAN.....	33
A. Jenis Penelitian	33
B. Waktu dan Tempat Penelitian	33
C. Variabel Penelitian	33
D. Instrumen Penelitian.....	34
E. Pelaksanaan Penelitian	46
F. Penelitian Terdahulu.....	53
G. Diagram Alir Penelitian.....	58
HASIL DAN PEMBAHASAN	60
A. Hasil Penelitian	60
B. Pembahasan	83
BAB V.....	91
PENUTUP.....	91
A. Kesimpulan	91
B. Saran.....	92
DAFTAR PUSTAKA	93
LAMPIRAN.....	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Spin Magnetik Material Ferimagnetik	12
Gambar 2. Struktur Kristal Magnetit (Fe_3O_4)	13
Gambar 3. Struktur Geometri Anilin	14
Gambar 4. Struktur Geometri Polianilin	14
Gambar 5. Arah Domain dan Kurva Bahan Diamagnetik	19
Gambar 6. Arah Domain dan Kurva Paramagnetik (a). Sebelum Diberi Medan Magnet Luar (b). Setelah Diberi Medan Magnet Luar.	20
Gambar 7. Arah Domain dan Kurva Bahan Ferromagnetik	21
Gambar 8. Arah Domain dan Kurva Bahan Ferrimagnetik	22
Gambar 9. Arah Domain dan Kurva Bahan Antiferromagnetik, (a) Sebelum Diberi Medan Luar, (b) Setelah Diberi Medan Luar	23
Gambar 10. Kurva Histerisis Magnet Lunak (Soft Magnetic)	24
Gambar 11. Kurva Histerisis Magnet Keras (Hard Magnetic)	25
Gambar 12. Kurva Histerisis Untuk Ferromagnetik dan Ferrimagnetik	26
Gambar 13. Sketsa Prinsip Dasar Spin Coating	28
Gambar 14. Skema Tahapan Spin Coating	29
Gambar 15. Vibrating Sample Magnetometer (VSM)	33
Gambar 16. Prinsip kerja VSM	33
Gambar 17. High Energi Milling (HEM-E3D)	35
Gambar 18. X-Ray Diffraction (XRD)	36
Gambar 19. Vibrating Sample Magnetometer (VSM)	36
Gambar 20. Magnetic Stirrer	37
Gambar 21. Magnet Permanen	37
Gambar 22. Timbangan Digital	38

Gambar 23. Gelas Beaker	38
Gambar 24. Batang Pengaduk.....	39
Gambar 25. Gelas Ukur.....	39
Gambar 26. Substrat Kaca.....	40
Gambar 27. Bijih Besi.....	40
Gambar 28. Aquades.....	41
Gambar 29. Tepung Tapioka.....	41
Gambar 30. Alkohol.....	42
Gambar 31. Ethylene Glycol.....	42
Gambar 32. Amonium Persulfat	42
Gambar 33. Aquabidest.....	43
Gambar 34. Asam Klorida	43
Gambar 35. n-hexane	44
Gambar 36. Ethanol	44
Gambar 37. Asam Oleic.....	44
Gambar 38. Aseton.....	45
Gambar 39. NaOH	45
Gambar 40. Polyaniline (PANi).....	46
Gambar 41. Asam Nitrat (HNO ₃).....	46
Gambar 42. Pola Difraksi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 30%	60
Gambar 43. Pola Difraksi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 40%	62

Gambar 44. Pola Difraksi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 50%	63
Gambar 45. Pola Difraksi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 60%	65
Gambar 46. Pola Difraksi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 70%	67
Gambar 47. Kurva Histerisis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 30%	69
Gambar 48. Kurva Histerisis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 40%	70
Gambar 49. Kurva Histerisis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 50%	71
Gambar 50. Kurva Histerisis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 60%	72
Gambar 51. Kurva Histerisis Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi dengan Variasi Komposisi 70%	73
Gambar 52. Pola Difraksi Sinar-X Nanokomposit pada Variasi Komposisi 30%	74
Gambar 53. Pola Difraksi Sinar-X Nanokomposit pada Variasi Komposisi 40%	75
Gambar 54. Pola Difraksi Sinar-X Nanokomposit pada Variasi Komposisi 50%	76
Gambar 55. Pola Difraksi Sinar-X Nanokomposit pada Variasi Komposisi 60%	77
Gambar 56. Pola Difraksi Sinar-X Nanokomposit pada Variasi Komposisi 70%	78
Gambar 57. Pola Difraksi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi untuk 5 Variasi Komposisi	79

Gambar 58. Kurva Histerisis Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ untuk 5 Variasi
Komposisi 82

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Komposisi Bijih Besi Pantai Tiram, Sumatera Barat.....	2
Tabel 2. Batasan Masalah	7
Tabel 3. Parameter-parameter yang Terdapat pada Pengukuran	34
Tabel 4. Variabel Penelitian.....	34
Tabel 5. Data Tiap Puncak Intensitas Signifikan Pola Difraksi pada Variasi Komposisi 30%	61
Tabel 6. Data Tiap Puncak Intensitas Signifikan Pola Difraksi pada Variasi Komposisi 40%	62
Tabel 7. Data Tiap Puncak Intensitas Signifikan Pola Difraksi pada Variasi Komposisi 50%	64
Tabel 8. Data Tiap Puncak Intensitas Signifikan Pola Difraksi pada Variasi Komposisi 60%	65
Tabel 9. Data Tiap Puncak Intensitas Signifikan Pola Difraksi pada Variasi Komposisi 70%	67
Tabel 10. Data Ukuran Kristal dari Hasil Perhitungan Terhadap Variasi Komposisi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi Menggunakan XRD	80
Tabel 11. Data Analisis Sifat Magnetik Nanokomposit dengan Variasi Komposisi Fe ₃ O ₄ /PANi.....	82

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tahap Pelaksanaan Penelitian	98
Lampiran 2. Data Hasil Pengukuran Fe ₃ O ₄ /PANi menggunakan XRD	100
Lampiran 3. Hasil Perhitungan Ukuran Kristal Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /PANi	137
Lampiran 4. Data Mentah Pengukuran dari Alat VSM.....	139

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan teknologi memungkinkan terjadi pengembangan instrumen yang berbiaya rendah, multifungsi, ramah lingkungan, dan otomatis. Salah satu jenis instrumen 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. Pasir besi merupakan bijih besi berbentuk pasir yang banyak ditemui di alam yang bercampur dengan pasir. Endapan besi yang terdapat dalam batuan sedimen berupa pasir dikenal sebagai pasir besi. Menurut Yulianto, dkk, (Mufit et al., 2006) pasir besi memiliki kandungan mineral oksida besi seperti magnetite (Fe_3O_4), maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dan hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Sebagaimana yang telah dilaporkan oleh Darvina, dkk, (Yulfriska et al., 2017) pasir besi memiliki ciri-ciri warna kehitaman yang sering dijumpai disepanjang pantai, salah satunya di Pantai Tiram, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat. Berdasarkan hasil uji karakterisasi XRD yang dilakukan terlihat bahwa pasir besi Pantai Tiram mengandung mineral oksida besi berupa magnetit disamping mineral oksida lainnya. Dan juga pada

penelitian Rianto (Rahmi et al., 2018) diketahui bahwa di Pantai Tiram, Sumatera Barat terdapat bahan magnetik yang diikuti oleh unsur lainnya sebagai pengotor. Data kandungan besi yang diuji menggunakan XRF dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Bijih Besi Pantai Tiram, Sumatera Barat

No	Oksida	Komposisi
1	SiO ₂	36.09%
2	Fe ₂ O ₃	34.015%
3	Al ₂ O ₃	10.034%
4	MgO	8.068%
5	TiO ₂	7.804%
6	CaO	1.134%

(Rahmi et al., 2018)

Salah satu kajian yang menarik dari pasir besi adalah bagaimana membuat partikel nano, analisa struktur kristal dan sifat kemagnetannya. Dengan membuat partikel nano dari pasir alam sangat potensial dan memiliki nilai tambah ekonomis yang tinggi (Gubin, 2009). Nanopartikel Fe₃O₄ yang digunakan dalam penelitian ini telah dilaporkan sebelumnya oleh Darvina, dkk, (Yulfriska et al., 2017) yang mana nanopartikel Fe₃O₄ diolah dari mineral pasir besi menggunakan metode *Ball Milling*. Fe₃O₄ dalam ukuran nano telah diteliti memiliki beberapa kelebihan, yaitu superparamagnetik dan mempunyai kejenuhan magnetik yang tinggi serta sifat-sifatnya bergantung pada ukurannya (Yan et al., 2008).

Salah satu riset berskala nano yang mempunyai aplikasi yang luas dan banyak yaitu material nanokomposit (Mikrajuddin Abdullah et al., 2008).

Nanokomposit merupakan struktur padat dengan dimensi berukuran nanometer yang berulang pada jarak antar bentuk penyusun struktur yang berbeda (Ajayan et al., 2003). Perkembangan material nanokomposit sering dimanfaatkan dalam beberapa *device* dalam perangkat elektronika, biomedis, industri telekomunikasi, serta rekayasa elektronik (Goto et al., 2010).

Untuk pembuatan nanokomposit diperlukan polimer konduktif. Polimer konduktif sudah memperlihatkan sifat khusus dibandingkan dengan logam dalam arti bahwa polimer ini dapat mengurangi pantulan serta dapat menyerap radiasi elektromagnetik (Nasution & Astuti, 2012). Teknologi komposit polimer memerlukan polimer yang tepat untuk digunakan sebagai matriks dalam menyusun komposit tersebut. Salah satu polimer yang dapat digunakan yaitu Polianilin (PANi). Polianilin (PANi) merupakan salah satu polimer konduktif yang menjanjikan karena konduktivitasnya yang tinggi. Konduktivitas PANi memiliki nilai berkisar antara 10^{-10} S/cm sampai 100 S/cm (Kargirwar et al., 2011). Polianilin (PANi) memiliki sifat yang unik, yaitu mudah didoping, mudah ditingkatkan sifat elektroniknya, stabilitas lingkungan yang sangat baik, nilai konduktivitas yang tinggi berpotensi dimanfaatkan di berbagai perangkat elektronik (Borkar et al., 2001).

Salah satu keunggulan dari PANi dan Fe_3O_4 adalah terdapat pada sifat magnetnya dimana sifat magnet dari kedua bahan ini banyak diaplikasikan ke berbagai bidang. Nilai dari sifat magnet dari kedua bahan ini bisa jadi akan bertambah setelah kedua bahan dicampurkan menjadi komposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$. Seperti yang telah dilakukan oleh (Tri Rahmawati et al., 2015) yaitu variasi penambahan Fe_3O_4 pada paduan PANi/ Fe_3O_4 sebagai bahan penyerap

gelombang mikro didapatkan hasil karakterisasi XRD pada Fe_3O_4 menunjukkan bahwa hasil puncak-puncak kristal tersebut sesuai dengan bidang kristal Fe_3O_4 dan diperoleh ukuran partikel sebesar $24,50 \pm 0,79$ nm. Sedangkan, komposit PANi/ Fe_3O_4 dilakukan juga karakterisasi menggunakan SEM EDS, didapatkan PANi dan Fe_3O_4 tersebut tersebar secara merata setelah dilakukan pencampuran dengan sistem mekanik dan nilai konduktivitas PANi/ Fe_3O_4 dipengaruhi oleh penambahan massa Fe_3O_4 .

Sampai sekarang, penelitian nanokomposit Fe_3O_4 /polimer khususnya Fe_3O_4 /PANi sudah banyak dilakukan. Pada penelitian variasi penambahan Fe_3O_4 pada paduan PANi/ Fe_3O_4 sebagai bahan penyerap gelombang mikro yang mana didapatkan hasil bahwa tidak terdapat hubungan linear antara penambahan Fe_3O_4 terhadap koefisien absorpsi (Tri Rahmawati et al., 2015), selanjutnya penelitian analisis sifat optik lapisan tipis Fe_3O_4 /PANi yang dipreparasi dari pasir besi pantai tiram dengan metoda sol-gel yang mana pada penelitian ini digunakan variasi kecepatan putar *spin coating* untuk mendapatkan sifat optik dari lapisan tipis Fe_3O_4 yaitu transmitansi, absorbansi, reflektansi dan *energy gap* dari lapisan tipis (Yulfriska et al., 2017), dan pada penelitian pengaruh fraksi konsentrasi nanokomposit Fe_3O_4 /PANi dengan metode sol-gel untuk material elektroda baterai lithium didapatkan nilai konduktivitas dan kapasitansi listrik dari lapisan tipis nanokomposit Fe_3O_4 /PANi yang mana semakin besar fraksi konsentrasi maka nilai konduktivitas dan kapasitansi juga semakin besar (Sahanaya et al., 2018).

Menurut (Ramli et al., 2018) dalam penelitiannya mengenai pembuatan lapisan tipis nanokomposit Fe_3O_4 /PVDF (*Poly Vinylidene Fluoride*) dengan

fraksi berat nanopartikel Fe_3O_4 yang berbeda. Hasil pengujian XRD dan FTIR memperlihatkan bahwa telah terjadi penggabungan antara nanopartikel Fe_3O_4 dalam matriks PVDF melalui interaksi antara pengisi (Fe_3O_4) dengan molekul polimer. 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. Sifat magnetik lapisan tipis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVDF}$ adalah ferimagnetik lunak dengan magnetisasi saturasi bertambah dengan bertambahnya konsentrasi Fe_3O_4 dalam sampel lapisan tipis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVDF}$.

Dan juga pada penelitian (Helmita et al., 2019) mengenai pengaruh variasi komposisi pada sifat magnetik dari nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$ yang disintesis dengan metode sol-gel *spin coating* berdasarkan analisa didapatkan bahwa variasi komposisi NiFe_2O_4 dalam PANi mempengaruhi sifat magnetik dari nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$ semakin banyak variasi maka sifat magnetik juga semakin kuat dan ukuran butir juga ikut mempengaruhi sifat magnet dari bahan semakin kecil ukuran butir sifat magnet semakin bertambah kuat.

Salah satu cara untuk membuat bahan dalam ukuran nano adalah dengan dibuat dalam bentuk lapisan tipis. Lapisan tipis biasanya dibuat dengan metode sol-gel yang diikuti dengan menggunakan *spin coating*. Lapisan tipis dari bahan komposit ini dipreparasi terlebih dahulu dengan metode sol-gel dimana metode sol-gel merupakan salah satu “*wet method*” karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya (Helmita et al., 2019).

Penumbuhan lapisan tipis menggunakan *spin coating* telah dikaji oleh (Novita et al., 2017) dapat diketahui nilai absorbansi pada beberapa beda

potensial. Pada pengujian UV-Vis Spektroskopi diketahui tingkat absorbansi meningkat seiring dengan bertambahnya potensial. Pada potensial terbesar yaitu 0,75 V memiliki tingkat absorbansi yang terbesar yaitu 0,80 V. Kualitas morfologi dari lapisan tipis diketahui setelah pengujian SEM terlihat bahwa dengan penambahan PVA hanya terlihat sedikit rongga atau retakan karena sifat PVA yang dapat digunakan sebagai perekat. Potensi yang dimiliki PANi dalam orde nano menjadikan para peneliti melakukan penelitian secara intensif, hal ini dapat diketahui dengan adanya perkembangan berbagai aplikasi dengan bahan PANi sampai saat ini. Salah satunya adalah dengan adanya pengembangan dalam bentuk lapisan tipis. Penggunaan fabrikasi dalam bentuk lapisan tipis sangat luas, karena sifat bahan dapat dimodifikasi sesuai kebutuhan serta mudah diintegrasikan dalam bentuk divais (Helmita et al., 2019).

Salah satu aspek yang mendapat perhatian sangat besar, terutama dalam bidang material lapisan tipis ini disebabkan karena lapisan tipis ini mempengaruhi sifat magnet yang sangat bergantung pada sifat bahan lapisan tipis yang akan diendapkan. Salah satu sifat magnet yang dapat dipengaruhi yaitu berupa magnetisasi saturasi, magnetisasi remanen, dan koersivitas. Selain itu sifat-sifat unik yang dimiliki oleh lapisan tipis bergantung pada komposisi dan konsentrasi kimia serta karakteristik mikrostrukturnya seperti bentuk maupun ukuran partikel dapat dikontrol melalui proses fabrikasi yang banyak digunakan (Goodarz Naseri et al., 2011).

Dalam penelitian ini, penulis ingin mengaplikasikan bahan yang dibuat sebagai sensor magnetik. Pada beberapa dekade terakhir, sensor magnetik

berbasis efek magnetoresistansi sangat intensif diteliti dan dikembangkan. Magnetoresistansi diartikan sebagai perubahan resistansi logam atau divais ketika berada dalam medan magnet. Dengan kata lain, resistansi dari material bergantung pada keadaan magnetisasinya. Keadaan magnetisasi ini dapat diubah dengan memberikan medan magnet luar kepada material tersebut. Efek magnetoresistansi yang sangat besar dinamakan dengan *giant magnetoresistance* (GMR). GMR merupakan salah satu penemuan yang mengagumkan dalam lapisan tipis magnetik, karena menggabungkan kajian fisika fundamental dengan potensi aplikasi teknologi (Ramli et al., 2012). Oleh karena itu, inilah yang melatarbelakangi peneliti untuk mensintesis nanokomposit Fe₃O₄/PANi dengan metode *Sol-Gel*, dengan mengamati sifat magnetik dari nanokomposit dengan alat *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM). Judul penelitian yaitu : “*Pengaruh Variasi Komposisi Fe₃O₄ Terhadap Sifat Magnetik Nanokomposit Magnetite-Polyaniline (Fe₃O₄/PANi) Yang Disintesis Dengan Metode Sol-Gel.*”

B. Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan lebih terarah, maka perlu membatasi masalah dalam penelitian ini. Sebagai pembatasan masalahnya dapat dilihat pada Tabel 2 berikut, yaitu :

Tabel 2. Batasan Masalah

No.	Variasi Komposisi Bahan (% massa)		Sifat Magnetik
	Fe ₃ O ₄ (%)	PANi (%)	
1	30	70	Magnetisasi Saturasi (Ms)
2	40	60	Magnetisasi Remanen (Mr)

3	50	50	Koersivitas (Hc)
4	60	40	
5	70	30	

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan masalah di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan dalam penelitian ini yaitu

1. Bagaimanakah bentuk komposit Fe_3O_4 yang sudah berukuran nanometer?
2. Golongan material magnet apakah bahan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ yang dibuat?
3. Berapakah nilai koersivitas (Hc) bahan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ yang dibuat agar dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik?
4. Bagaimanakah pengaruh komposisi Fe_3O_4 terhadap sifat magnetik dari nanokomposit magnetite-polyaniline ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$) yang disintesis dengan metode sol-gel?

D. Tujuan Penelitian

Secara keseluruhan, tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui komposit Fe_3O_4 sudah berukuran nanometer.
2. Mengetahui termasuk golongan material magnet apa bahan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ yang dibuat.
3. Mengetahui nilai koersivitas (Hc) bahan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ yang dibuat sudah memenuhi syarat untuk dapat diaplikasikan sebagai sensor magnetik.

4. Meneliti pengaruh variasi komposisi Fe_3O_4 terhadap sifat magnetik dari nanokomposit magnetite-polyaniline ($\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$) yang disintesis dengan metode sol-gel.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Bidang kajian Fisika Material dan Biofisika ataupun jurusan fisika, sebagai acuan pengembangan ilmu dan teknologi yang berkembang sehingga melahirkan ide-ide baru yang lebih 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

TINJAUAN PUSTAKA

A. Pasir Besi

Pasir besi adalah sejenis pasir dengan konsentrasi besi yang sangat signifikan. Hal ini biasanya berwarna abu-abu gelap atau berwarna kehitaman. Telah diketahui bahwa endapan pasir besi dapat memiliki mineral-mineral seperti *magnetit*, *hematit*, dan *meghemit* (Purwanto & Dani, 2017). Memiliki ukuran butir 0.074 - 0.075 mm merupakan sebuah mineral endapan atau sedimen dengan ukuran halus (<1 mm) dan ukuran kasar (5 - 3 mm). Perbedaan karakteristik kandungan mineral pasir besi seperti Fe, Ti, Mg, dan Si mungkin terjadi karena adanya perbedaan lokasi endapan. Mineral magnetik (Fe_3O_4) yang biasanya ditemukan di daerah pantai atau sungai (Prabowo, 2011).

Sifat oksida besi ada 3 macam, yaitu yang pertama ada besi (II) oksida (FeO) atau biasa dikenal sebagai *wustite* dalam bentuk mineral. Bubuk oksida hitam ini dapat menyebabkan ledakan seperti mudah terbakar. Selanjutnya besi (III) oksida (Fe_2O_3) atau dikenal sebagai bijih besi atau *hematite* (bentuk alfa) atau *maghemite* (bentuk gamma) dalam bentuk mineral atau dikenal sebagai rouge dalam bahan kimia industri. Setelah dimurnikan, besi oksida ini digunakan sebagai lapisan dalam media audio dan komputer. Dalam lingkungan yang kering atau alkali, besi oksida ini dapat menyebabkan penghambatan pengkaratan, namun juga merupakan komponen utama karat. Dan yang ketiga yaitu besi (II, III) oksida (Fe_3O_4) atau dikenal sebagai *magnetite* atau magnet dalam bentuk mineral (Lestari, 2015).

Keberadaan pasir besi yang terdistribusi secara luas serta jumlahnya melimpah di Indonesia menjadi daya tarik secara ekonomi. Besi yang diperoleh dari bijih besi tidak dalam bentuk unsur murni Fe tetapi dalam bentuk besi oksida. Dalam pasir besi, oksida logam ini dijumpai dalam dua fase, yaitu Fe_2O_3 dan Fe_3O_4 . Keduanya merupakan bahan magnetik yang menunjukkan sifat kemagnetan ketika berada dalam medan magnet. Fe_2O_3 memiliki interaksi yang lebih lemah di dalam medan magnet dari pada Fe_3O_4 yang memiliki interaksi lebih kuat di dalam medan magnet. Pasir besi ini dapat lebih dimanfaatkan dalam bidang material science dengan nilai ekonomi yang lebih tinggi dan ramah lingkungan (Lee et al., 2009).

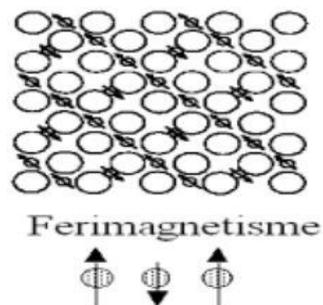
Menurut Bijaksana (Saukani & dan Totok Wianto, 2011) mineral-mineral tersebut mempunyai potensi untuk dikembangkan sebagai bahan industri. Magnetit misalnya, dapat digunakan sebagai bahan dasar untuk tinta kering (toner) pada mesin foto-copy dan printer laser, sementara maghemit adalah bahan utama pita kaset. Ketiga mineral magnetik di atas juga dapat digunakan sebagai pewarna dan campuran untuk cat serta bahan dasar industri magnet permanen.

B. Fe_3O_4

Magnetit mempunyai rumus kimia Fe_3O_4 atau $(\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3)$. Magnetit merupakan salah satu senyawa besi oksida yang mempunyai nilai ekonomis yang tinggi. Partikel nano Fe_3O_4 merupakan salah satu material yang banyak dikembangkan karena memiliki potensi aplikasi yang besar di bidang farmasi, biomedis, alutsista, dan lain-lain (Sunaryono et al., 2015).

Magnetit merupakan salah satu pembawa magnetisasi remanin alami (NRM) yang paling stabil pada batuan sedimen (Kirschvink & Chang, 1984). Magnetit mempunyai karakteristik yang unik karena merupakan material ferimagnetik dan dapat menghantarkan listrik seperti logam pada umumnya, sehingga dapat berinteraksi kuat dengan medan magnet dan medan listrik. Magnetit banyak dikembangkan mulai dari kebutuhan industri sampai pada pembuatan jaringan tiruan tubuh manusia dengan memanfaatkan sifat elektromagnetik dari material tersebut (Kirschvink, 1981).

Pada awalnya, magnetit digolongkan sebagai material feromagnetik, akan tetapi pada tahun 1940-an, Neel memunculkan teori tentang material ferimagnetik dimana material ini mempunyai senyawa ionik dan struktur kristal yang kompleks. Sebagai material ferimagnetik tentunya Fe_3O_4 mempunyai spin magnetik yang secara sederhana dapat direpresentasikan pada Gambar 1.

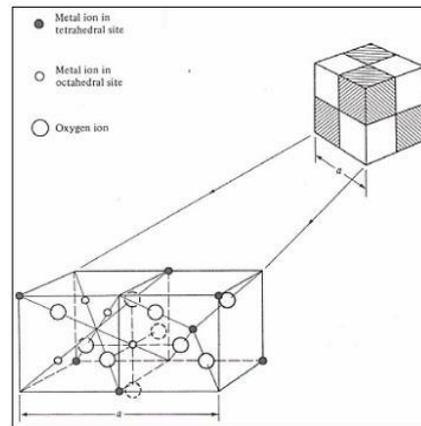


Gambar 1. Spin Magnetik Material Ferimagnetik

(Moskowitz, 1985)

Magnetit mempunyai struktur spinel, dimana atom-atom oksigen yang lebih besar membentuk struktur kubik, sedangkan atom Fe yang lebih kecil mengisi situs tetrahedral dan oktahedral. Pada situs tetrahedral, atom Fe dikelilingi oleh 4 atom oksigen, sedangkan pada situs oktahedral atom Fe

dikelilingi oleh 6 atom oksigen. Magnetit tergolong ke dalam *Space Group* no. 227 (F D -3m) dengan parameter kisi ($a = b = c = 8,31211 \text{ \AA}$) dan sudut ($\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$) seperti Gambar 2.



Gambar 2. Struktur Kristal Magnetit (Fe_3O_4)

(Cullity & Graham, 2009)

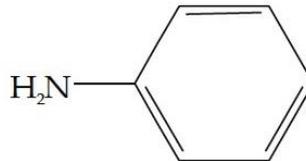
Material feromagnetik seperti Fe_3O_4 mempunyai sifat tertentu, seperti rapuh, keras, tahan panas, dan tahanan jenis listrik yang tinggi. Material feromagnetik dapat termagnetisasi secara spontan pada temperatur Currie dan berubah menjadi paramagnetik pada temperatur di atas temperatur Currie (Chrismant, 1988).

C. PANi

Polimer konduktif adalah polimer yang secara intrinsik dapat menghantarkan listrik. Sifat listrik polimer konduktif diatur dengan mengontrol parameter sintesis, seperti konsentrasi monomer, konsentrasi elektrolit, tegangan, waktu polimerisasi, dan temperatur polimerisasi.

Polianilin (PANi) merupakan salah satu jenis polimer konduktif yang dihasilkan dari proses polimerisasi monomer anilin ($\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$) dalam suasana

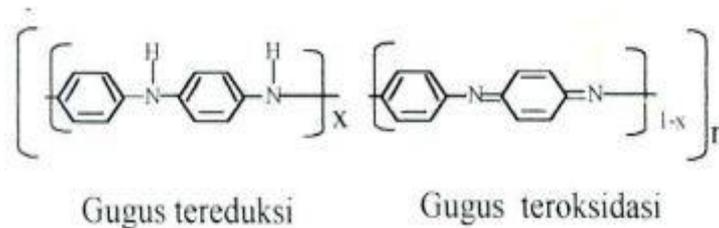
asam. Anilin merupakan senyawa organik dengan komposisi $C_6H_5NH_2$ yang termasuk ke dalam kelompok senyawa aromatik yang mempunyai berat molekul 93 gr/mol, titik didih 183-186°C, indeks bias 1,58 dan rapat massa 1,002 kg/liter. Anilin memiliki struktur geometri seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Struktur Geometri Anilin

(Isa, 2001)

Adapun struktur geometri polianilin secara umum diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur Geometri Polianilin

(Isa, 2001)

Gugus tereduksi terdiri dari dua molekul yang berbentuk cincin benzoid dan dua gugus amin, sedangkan pada gugus teroksidasi salah satu cincin benzoid berubah menjadi cincin quinoid dan gugus amin menjadi imin.

Nilai x ($0 \leq x \leq 1$) menentukan tingkat oksidasi polianilin. Nilai $x = 0$, menunjukkan tingkat teroksidasi penuh yang menghasilkan polianilin berbentuk basa pernigralin (PNB) dimana rantai polimer hanya terdiri dari

gugus teroksidasi. Nilai $x = 0,5$ menunjukkan tingkat setengah teroksidasi yang menghasilkan polianilin berbentuk basa emeraldine (EB). Sementara nilai $x = 1$ menunjukkan tingkat tereduksi penuh yang menghasilkan polianilin berbentuk basa leukomeradine (LEB) (Aryati et al., 1999)

Diantara polimer konduktif generasi baru yang telah ditemukan sejauh ini, polianilin (PANi) menempati kedudukan yang istimewa karena kaya akan aspek ilmiah dan luas potensi aplikasinya seperti baterai sekunder, sensor, bahan elektronik, solar, LED (Light Emitting Dioda), bahan devais elektronik dan optoelektronik. Selain itu diantara polimer konduktif yang telah ditemukan, polianilin (PANi) merupakan bahan yang paling stabil, mudah larut dalam berbagai pelarut organik, murah, dan berlimpah.

D. Nanokomposit

Dalam pengembangan material polimer telah banyak dilakukan penelitian untuk mengembangkan material nanokomposit, dimana *filler* berukuran nano terdispersi ke dalam sistem matrik polimer.

Nanokomposit dapat dianggap sebagai struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang dengan jarak antar-bentuk penyusun struktur yang berbeda. Material-material dengan jenis seperti itu terdiri atas padatan anorganik yang tersusun atas komponen organik. Selain itu, material nanokomposit dapat terdiri atas dua atau lebih molekul anorganik/organik dalam beberapa bentuk kombinasi dengan pembatas antar keduanya minimal satu molekul atau memiliki ciri berukuran nano (Hadiyawardman et al., 2008).

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 (Chitraningrum, 2008).

Faktor-faktor yang mempengaruhi sifat akhir dari suatu komposit :

- a. Setiap komponen penyusun dari material komposit, yaitu matriks dan penguat berpengaruh secara langsung terhadap sifat akhir komposit yang dihasilkan. Ukuran, bentuk, orientasi, konsentrasi dan distribusi dari penguat juga berpengaruh.
- b. Material komposit, penguat dan matrik menghasilkan kombinasi sifat mekanik yang berbeda dengan sifat dasar dari masing-masing matrik maupun penguat karena adanya interface antara kedua komponen (Helmita et al., 2019).

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

E. Magnet

Kata magnet berasal dari bahasa *Yunani* yang berarti sebuah wilayah di Asia kecil adalah tempat pertama kali ditemukan magnet yang didalamnya terkandung batu magnet yang ditemukan sejak zaman dulu di wilayah tersebut. Magnet adalah suatu obyek yang mempunyai suatu medan magnet. Magnet

dapat dibuat dari bahan besi, baja dan campuran logam. Magnet suatu bahan yang menghasilkan medan magnetik. Magnet telah banyak dimanfaatkan untuk industri karbon aktif dan lainnya. Setiap magnet mempunyai dua kutub, yaitu utara dan selatan. Kutub magnet adalah daerah yang paling berada pada ujung-ujung magnet dengan kekuatan medan magnet yang paling besar pada kutub-kutubnya (Sukmadani, 2019).

Contoh benda magnetik adalah logam seperti besi dan baja, namun tidak semua logam dapat ditarik oleh magnet, sedangkan contoh benda non-magnetik adalah oksigen cair. Satuan intensitas magnet menurut sistem metrik Satuan Internasional adalah Tesla dan SI unit satuan fluks magnetik adalah Weber ($1 \text{ Weber/m}^2 = 1 \text{ Tesla}$) yang mempengaruhi luasan satu meter persegi (Afza, 2011).

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 (Laughton & Warne, 2003).

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 \mathbf{B} , medan magnet \mathbf{H} , dan magnetisasi \mathbf{M} sangat diperlukan karena berhubungan dengan suseptibilitas dan permeabilitas magnetik suatu bahan. Hubungan antara B , H , dan M dapat ditulis dengan persamaan :

$$\mathbf{B} = \mu_0 (\mathbf{H} + \mathbf{M}) \quad (1)$$

$$\mathbf{M} = \chi_m \mathbf{H} \quad (2)$$

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).

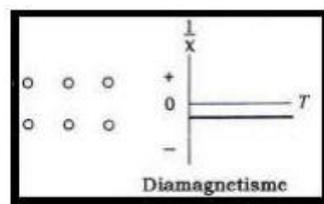
Berdasarkan permeabilitas magnetik (μ_m) bahan magnetik diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok :

a. Bahan Diamagnetik

Bahan diamagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomik dari masing-masing atom/molekulnya adalah nol, tetapi medan magnet akibat orbit dan spin elektronnya tidak nol. Bahan diamagnetik tidak mempunyai dipol magnet permanen. Jika bahan diamagnetik diberi medan magnet luar, maka elektron-elektron dalam atom akan berubah

gerakannya sedemikian hingga menghasilkan resultan medan magnet atomis yang arahnya berlawanan.

Diamagnetik merupakan bahan yang memiliki nilai suseptibilitas negatif dan sangat kecil. Sifat diamagnetik ditemukan oleh Faraday pada tahun 1846 ketika sekeping bismuth ditolak oleh kedua kutub magnet, hal ini memperlihatkan bahwa medan induksi dari magnet tersebut menginduksi momen magnetik pada bismuth pada arah berlawanan dengan medan induksi pada magnet (Tipler, 2001).



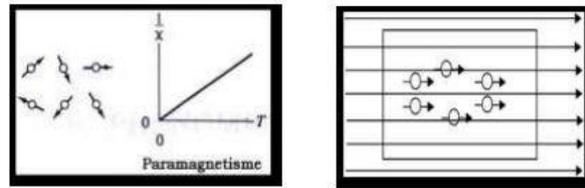
Gambar 5. Arah Domain dan Kurva Bahan Diamagnetik

Sifat diamagnetik bahan bahan ditimbulkan oleh gerak orbital elektron karena atom mempunyai elektron orbital, maka semua bahan bersifat diamagnetik. Suatu bahan dapat bersifat magnet apabila susunan atom dalam bahan tersebut mempunyai spin elektron yang tidak berpasangan. Dalam bahan diamagnetik hampir semua spin elektron berpasangan, akibatnya bahan ini tidak menarik garis gaya. Permeabilitas bahan ini : $\mu < \mu_0$ dengan suseptibilitas magnetik bahan : $\chi_m < 0$.

b. Bahan Paramagnetik

Bahan paramagnetik adalah bahan yang resultan medan magnet atomis masing-masing atom/molekulnya tidak nol, tetapi resultan medan magnet atomis total seluruh atom/molekul dalam bahan nol. Hal ini

disebabkan karena gerakan atom/molekul acak, sehingga resultan medan magnet atomis masing-masing atom saling meniadakan.



(a)

(b)

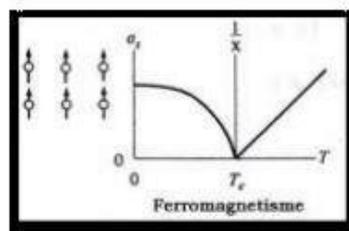
Gambar 6. Arah Domain dan Kurva Paramagnetik (a). Sebelum Diberi Medan Magnet Luar (b). Setelah Diberi Medan Magnet Luar.

Bahan ini jika diberi medan magnet luar, maka elektron-elektronnya akan berusaha sedemikian rupa sehingga resultan medan magnet atomisnya searah dengan medan magnet luar. Sifat paramagnetik ditimbulkan oleh momen magnetik spin yang menjadi terarah oleh medan magnet luar (Jiles, 1991).

Bahan paramagnetik adalah bahan-bahan yang memiliki susceptibilitas magnetik χ_m yang positif dan sangat kecil. Paramagnetik muncul dalam bahan yang atom-atomnya memiliki momen magnetik permanen yang berinteraksi satu sama lain secara sangat lemah. Apabila tidak terdapat medan magnet luar, momen magnetik ini akan berorientasi acak. Perbandingan momen yang menyearahkan dengan medan magnet ini bergantung pada kekuatan medan dan pada temperturnya. Pada medan magnetik luar yang kuat pada temperatur yang sangat rendah, hampir seluruh momen akan disearahkan oleh medannya (Tipler, 2001).

c. Bahan Ferromagnetik

Bahan ferromagnetik adalah bahan yang memiliki nilai suseptibilitas magnetik positif yang sangat tinggi. Hal ini terutama disebabkan oleh momen magnetik spin elektron. Pada bahan ferromagnetik, banyak elektron yang tidak berpasangan, misalnya pada atom besi terdapat empat spin elektron yang tidak berpasangan. Masing-masing spin elektron yang tidak berpasangan akan memberikan medan magnetik, sehingga total medan magnetik yang dihasilkan oleh suatu atom lebih besar.

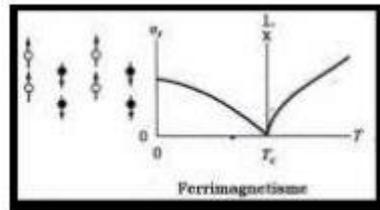


Gambar 7. Arah Domain dan Kurva Bahan Ferromagnetik

Dalam bahan ini sejumlah kecil medan magnetik luar dapat menyebabkan derajat penyearahan yang tinggi pada momen dipol magnetik atomnya. Dalam beberapa kasus, penyearahan ini dapat bertahan sekalipun medan kemagnetannya telah hilang. Hal ini terjadi karena momen dipol magnetik atom dari bahan-bahan ferromagnetik ini mengarahkan gaya-gaya yang kuat pada atom disebelahnya. Daerah ruang tempat momen dipol magnetik yang disearahkan disebut daerah magnetik. Dalam daerah magnetik, semua momen disearahkan, tetapi arah penyearahnya beragam dari daerah sehingga momen magnetik total dari kepingan mikroskopi bahan ferromagnetik ini adalah nol dalam keadaan normal (Tipler, 2001).

d. Bahan Ferrimagnetik

Menurut Mujiman (Hia, 2015) pada bahan yang bersifat dipol yang berdekatan memiliki arah yang berlawanan tetapi momen magnetiknya tidak sama besar. Bahan ferrimagnetik memiliki nilai suseptibilitas tinggi tetapi lebih rendah dari bahan ferromagnetik. Contoh dari bahan ferrimagnetik adalah ferrite dan magnetite.



Gambar 8. Arah Domain dan Kurva Bahan Ferrimagnetik

Jika terdapat medan magnet yang dihasilkan oleh sumbernya H (dalam oersted), maka diruang hampa yang permeabilitas magnetnya μ_0 bermedan magnet B (dalam gauss), dinyatakan dalam kaitan persamaan dibawah :

$$B = \mu_0 H \quad (3)$$

Dengan :

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

H : Medan magnet (Oersted)

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

Persamaan di atas memperlihatkan hubungan kesebandingan antara B dengan H . Bedanya H selalu tetap pada sumber medan magnet yang tetap, sedangkan B bergantung pada H dan jenis bahan mediumnya. Jenis bahan medium itu dinyatakan dalam bentuk permeabilitas bahan itu (μ), sehingga B dimedium itu dinyatakan :

$$B = \mu H \quad (4)$$

Dengan :

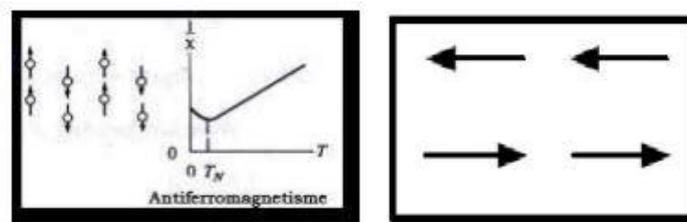
B : Induksi magnet di titik yang diamati (Tesla/Oersted)

H : Medan magnet (Oersted)

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

e. Bahan Antiferromagnetik

Jenis ini memiliki arah domain yang berlawanan arah dan sama pada kedua arah. Arah domain tersebut berasal dari jenis atom sama pada suatu kristal. Contohnya MnO , MnS , dan FeS . Pada unsur yang ditemui pada unsur Cromium, tipe ini memiliki arah domain yang menuju dua arah dan saling berkebalikan. Jenis ini memiliki temperatur currie yang rendah sekitar 37°C untuk menjadi paramagnetik.



(a)

(b)

Gambar 9. Arah Domain dan Kurva Bahan Antiferromagnetik, (a)

Sebelum Diberi Medan Luar, (b) Setelah Diberi Medan Luar

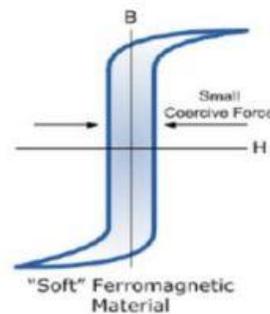
G. Klasifikasi Material Magnet

Material magnet berdasarkan koersivitasnya dapat dibedakan menjadi dua yaitu material magnet lunak dan material magnet keras. Untuk material yang mempunyai nilai koersivitas yang tinggi disebut *hard magnetic* sedangkan untuk material yang mempunyai nilai koersivitas yang rendah disebut sebagai *soft magnetic*.

a. Material magnet lunak

Menurut Slauserek (Batubara, 2020) bahan magnetik lunak (*soft magnetic*) dapat dengan mudah termagnetisasi dan mengalami demagnetisasi, mempertahankan sifat magnetnya, kurva histerisis yang sempit. Faktor kualitas dari bahan magnet lunak adalah untuk mengukur permeabilitas yang sehubungan dengan medan magnet yang diterapkan. Material ini mempunyai koersivitas rendah dan sekali medan magnetnya hilang, kerapatan fluks akan menjadi nol. Nilai koersivitas untuk bahan soft magnet yaitu $<1\text{kA/m}$ ($<12,5660\text{e}$).

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. Beberapa bahan penting magnetik lunak diantaranya Fe, paduan Fe-Si, Ferit lunak ($\text{MnZnFe}_2\text{O}_4$), besi silicon, dan lain-lain (Sharma, 2010).



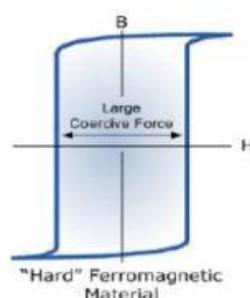
Gambar 10. Kurva Histerisis Magnet Lunak (Soft Magnetic)

(Sharma, 2010).

b. Material magnet keras

Menurut Slauserek (Batubara, 2020) bahan magnet keras (*hard magnetic*) juga disebut sebagai magnet permanen yang digunakan untuk

menghasilkan medan yang kuat tanpa arus kekoil. Magnet keras memiliki nilai koersivitas $>100\text{kA/m}$ ($>1256,6\text{ Oe}$). Kemudian menurut Bement (Batubara, 2020) material magnetik keras dapat diaplikasikan pada *electroacoustic*, seperti pada loudspeaker, mikropon, atau earphone.



Gambar 11. Kurva Histerisis Magnet Keras (Hard Magnetic)

(Sharma, 2010)

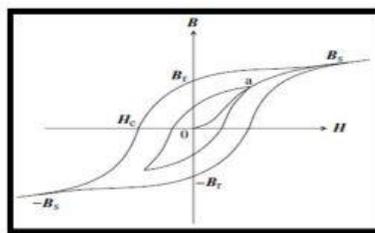
H. Kurva Histerisis

Kurva histerisis merupakan acuan dalam mengidentifikasi sifat magnet suatu material magnetik. Beberapa istilah pada kurva histerisis yang banyak dipakai sebagai acuan pengukuran magnetik antara lain koersivitas (H_c), magnetisasi saturasi (M_s), dan magnetisasi remanen (M_r). Koersivitas merupakan besarnya medan magnet yang dibutuhkan untuk menurunkan magnetisasi pada material yang termagnetisasi hingga magnetisasi kembali nol. Magnetisasi saturasi merupakan besarnya magnetisasi maksimum yang dicapai pada saat seluruh momen magnetiknya selaras. Sementara magnetisasi remanen adalah magnetisasi residu dalam material setelah magnet diturunkan hingga sama dengan nol.

Menurut Manaf (Hutajulu, 2021) pada dasarnya kurva histerisis merepresentasikan suatu proses magnetisasi dan demagnetisasi oleh suatu

medan magnet luar (H). Medan magnet luar yang digunakan untuk memagnetisasi ditingkatkan dari nol, maka magnetisasi M atau polarisasi J dari magnet akan bertambah besar dan mencapai tingkat saturasi pada suatu medan magnet luar tertentu. Dengan melakukan sederetan proses magnetisasi yaitu penurunan medan magnet luar menjadi nol dan meneruskannya pada arah yang bertentangan, serta meningkatkan besar medan magnet luar pada arah tersebut dan menurunkannya kembali ke nol kemudian membalikkan arah seperti semula, maka magnetisasi atau polarisasi dari magnet permanen terlihat membentuk suatu loop. Pada penelitian yang akan dilakukan, untuk mendapatkan nilai magnetisasi, maka momen magnetik harus dibagi dahulu dengan massa sampel yang dibuat dalam satuan gram. Sehingga setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan nilai magnetisasinya yang dapat dilihat pada Lampiran 4.

Sifat kemagnetan suatu bahan dapat diperlihatkan dalam kurva histerisis yaitu kurva hubungan intensitas magnet (H) terhadap medan magnet (B). Seperti pada gambar dibawah ini yang merupakan kurva histerisis ferromagnetik dan ferrimagnetik (Spaldin, 2003).



Gambar 12. Kurva Histerisis Untuk Ferromagnetik dan Ferrimagnetik

I. Metode Sol-Gel

Metode preparasi yang sering digunakan pada sintesis nanomaterial berlapis dan berpori adalah metode sol-gel, interkalasi, dan inklusi. Metode sol-gel adalah metode preparasi padatan dengan teknik temperatur rendah yang melibatkan transisi dari suatu sistem dengan partikel-partikel mikroskopik yang terdispersi dalam suatu cairan (sol) menjadi material makroskopik (gel) yang mengandung cairan. Pada saat cairan menguap maka yang tertinggal adalah material keras seperti gelas. Sol-gel merupakan material amorf dan tidak memiliki dimensi pori yang seragam (Wijaya, 2010).

Teknik sol-gel banyak dimanfaatkan untuk proses sintesis material, terutama memperlihatkan kemampuan, versatilitas, kemurnian, homogenitas, dan modifikasi sifat material dengan mengubah parameter sintesisnya (Zawrah et al., 2009). Penelitian tentang sol-gel yang telah ada menunjukkan bahwa proses sol-gel tidak hanya menghasilkan material yang homogen, tetapi juga sol-gel dapat digunakan untuk sintesis berbagai macam material campuran antara organik dan anorganik (Bandyopadhyay et al., 2005)

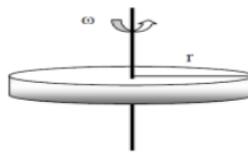
Kondisi yang ringan ditawarkan proses sol-gel dengan membiarkan penggabungan prekursor polimer organik matrik membentuk hibrid. Tetapi sifat sukar larut, kehomogenan larutan polimer hanya dapat dihasilkan dengan menggunakan polimer tertentu saja. Kekurangan lain dari proses sol-gel terjadinya penyusutan dari xerogel karena berkurangnya pelarut, air eksek, dan pelepasan alkohol selama proses pengeringan (Hsu et al., 2001). Namun, metode sol-gel memiliki beberapa keuntungan, diantaranya yaitu :

- a. Tingkat stabilitas termal yang baik.

- b. Stabilitas mekanik yang tinggi.
- c. Daya tahan pelarut yang baik.
- d. Modifikasi permukaan (Ayu, 2015).

J. Metode Spin Coating

Metode *spin coating* dapat diartikan sebagai sebuah metode pembentukan lapisan tipis melalui proses pemutaran atau spin. Bahan yang akan dibentuk lapisan tipis dibuat dalam bentuk larutan atau gel, yang kemudian ditetaskan pada suatu substrat dan disimpan di atas piringan, yang dapat berputar dengan kecepatan yang cukup tinggi (Helmita et al., 2019). Prinsip dasar *spin coating* dapat dijelaskan dan diamati dengan menggunakan Gambar 13.

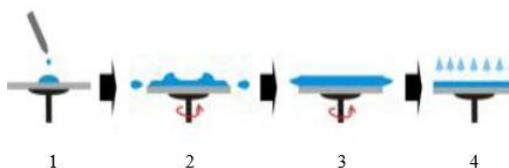


Gambar 13. Sketsa Prinsip Dasar Spin Coating

(Karim et al., 2005).

Gambar 13 memperlihatkan prinsip dasar dalam proses *spin coating*. Ketika bahan (larutan/gel) ditetaskan pada substrat di atas piringan yang berputar, lalu dilakukan percepatan sentripetal yang mengakibatkan substrat melakukan gerak melingkar dengan kecepatan relatif tinggi kecepatan yang digunakan mengakibatkan adanya gaya sentrifugal pada larutan di atas substrat pada piringan, karena gaya sentrifugal ini, maka bahan tersebut dapat ditarik ke pinggir substrat dan tersebar merata (Karim et al., 2005).

Luurtsema, G.A (1997), mengatakan bahwa proses *spin coating* meliputi 4 tahapan yang terdiri dari deposisi, *spin up* dan *spin off* serta tahap evaporasi yang menentukan ketebalan akhir dari lapisan tipis. Sketsa proses *spin coating* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Skema Tahapan Spin Coating

(Hidayat et al., 2014).

Gambar 14 memperlihatkan empat tahapan dalam proses *spin coating*. Tahap pertama dimulai dari diteteskannya atau dialirkannya cairan pelapis berupa gel di atas substrat. Pada tahap deposisi substrat belum diputar. Kemudian pada tahap kedua substrat mulai diputar. Akibatnya gaya sentrifugal cairan menjadi tersebar secara radial keluar dari pusat putaran menuju tepi piringan. Sedangkan pada tahap ketiga laju putaran mulai konstan, artinya tidak ada percepatan sudut pada substrat. Tahap keempat, evaporasi, merupakan mekanisme utama dari proses penipisan lapisan (Rustami, 2008).

Metode *spin coating* merupakan metode yang paling mudah dan cepat dalam penumbuhan lapisan tipis. Lapisan tipis yang dihasilkan dengan metode ini memiliki tingkat kehomogenan yang cukup tinggi. Ketebalan lapisan yang diinginkan bisa dikontrol berdasarkan waktu dan kecepatan putaran dari alat *spin coater* (Luurtsema, 1997). (Muhsin et al., 2013), mengatakan bahwa lapisan tipis yang dihasilkan dari metode *spin coating* akan menghasilkan lapisan tipis dengan kualitas yang cukup tinggi dan juga biaya pembuatan yang

relatif murah. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh (Eken & Ozenbas, 2009) yang menggunakan waktu *spin coating* pada bahan material pasir besi selama 60 sekon serta pada penelitian (Rianto et al., 2018) pada bahan pasir besi pantai Tiram Sumatera Barat dengan kecepatan *coating* 1000 rpm dan waktu 60 sekon yang mendapatkan ukuran kristal sebesar 38 nm.

K. X-Ray Diffraction (XRD)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan salah satu metode karakteristik material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Pada saat material dikenai sinar-x, maka intensitas sinar yang ditransmisikan lebih rendah dari intensitas sinar datang. Hal ini disebabkan adanya penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar-x yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan karena fasanya berbeda dan ada juga yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar-x yang saling menguatkan inilah yang disebut sebagai berkas difraksi (Nurhidayah, 2016).

Menurut Beiser (1992), hasil dari penembakan logam dengan elektron energi tertinggi dengan karakterisasi tersebut sinar-x mampu menembus zat padat sehingga dapat digunakan untuk menentukan struktur kristal. Hamburan sinar ini dihasilkan bila suatu elektron logam ditembak dengan elektron-elektron berkecepatan tinggi dalam tabung hampa udara. Salah satu teknik yang digunakan untuk menentukan struktur suatu padatan kristalin adalah dengan menggunakan metode difraksi sinar-x serbuk.

Jika seberkas sinar-x ditembakkan pada sampel padatan kristalin, maka bidang kristal ini akan membiaskan sinar-x yang memiliki panjang gelombang yang sama dengan jarak kisi dalam kristal (yang memenuhi hukum Bragg). Kemudian sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor, detektor kemudian akan mencatat puncak intensitas yang bersesuaian dengan orde pembiasan (*orde-n*) yang digunakan, yang kemudian akan ditampilkan dalam bentuk grafik yaitu grafik difraktogram yang merupakan grafik hubungan antara intensitas (*cps*) dengan 2θ .

Prinsip kerja XRD secara umum adalah XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-x, tempat objek yang diteliti dan detektor sinar-x. Sinar-x dihasilkan di tabung sinar-x yang berisi katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-x. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-x. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik (Nurhidayah, 2016).

Prinsip kerja XRD secara umum adalah XRD terdiri dari bagian utama, yaitu tabung sinar-x, tempat objek yang diteliti dan detektor sinar-x. Sinar-x dihasilkan di tabung sinar-x yang berisis katoda memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-x. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan

merekam intensitas refleksi sinar-x. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-x dan mengolahnya dalam bentuk grafik (Nurhidayah, 2016).

Pada penelitian yang dilakukan yaitu pengaruh variasi komposisi bahan magnet yang digunakan memiliki pengaruh terhadap ukuran kristal yang dihasilkan. Secara umum semakin besar penambahan komposisi menyebabkan ukuran kristal semakin kecil. Hal ini disebabkan atom memiliki energi rendah yang menyebabkan atom sulit bergerak dan mulai mengatur kedudukan relatif terhadap atom lain sehingga ukuran kristal yang diperoleh kecil (Umamah, 2015). Ukuran kristal juga dipengaruhi oleh besarnya nilai FWHM. Hal ini sesuai dengan persamaan *Scherrer* yang menyatakan bahwa ukuran kristal berbanding terbalik dengan nilai FWHM. Artinya semakin besar jumlah *doping* mengakibatkan nilai FWHM cenderung semakin kecil dan nilai ukuran kristal semakin besar (Masruroh et al., n.d.).

L. VSM (Vibrating Sample Magnetometer)

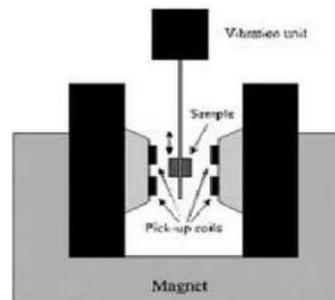
Vibrating Sample Magnetometer (VSM) merupakan salah satu jenis peralatan yang digunakan untuk mengetahui dan mempelajari sifat magnetik bahan. Karakterisasi dengan VSM menghasilkan informasi mengenai besaran-besaran sifat magnetik sebagai akibat perubahan medan magnet luar yang digambarkan dalam kurva 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).



Gambar 15. *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)*

(Helmita et al., 2019)

Gambar 15 merupakan alat *Vibrating Sample Magnetometer (VSM)* atau *M-H Curve Hysteresis Graph Test System* dari Dexing Magnet Ltd bertipe VSM250. Peralatan ini dapat digunakan untuk mengukur sifat-sifat magnetik pada bahan magnetik. Beberapa output yang dapat dihasilkan melalui pengukuran dengan VSM250 adalah kurva histerisis (*M-H loop*), kurva magnetisasi (*M-H curve*), dan kurva pemanasan (*M-T curve*) (Helmita et al., 2019).



Gambar 16. Prinsip kerja VSM

(Tebriani, 2019).

Prinsip kerja VSM adalah saat sampel diletakkan pada medium preparat, yang berada ditengah perangkat. Sampel diletakkan pada ujung batang medium preparat yang dipasang pada sebuah transduser elektromekanis. Sampel akan diletakkan dalam medan magnet yang seragam. Setelah induksi magnet

dilakukan, maka pada sampel akan menunjukkan sinyal berupa getaran sinusoidal dalam medium *pick-upcoil*. Sinyal yang dihasilkan sebanding dengan amplitudo dan medan magnet partikel. Sinyal akan dikirim ke penguat diferensial. Keluaran dari penguat diferensial ini akan diproses di amplifier yang menerima sinyal referensi. Proses identifikasi akan menghasilkan sinyal DC proporsional yang menunjukkan informasi mengenai momen magnetik sampel yang dianalisis. Sinyal tersebut akan membentuk suatu keluaran berupa kurva histerisis (Tebriani, 2019).

M. Pengaruh Komposisi Bahan terhadap Sifat Magnetiknya

Menurut (Helmita et al., 2019) untuk nanokomposit $\text{NiFe}_2\text{O}_4/\text{PANi}$ dengan variasi komposisi sebanyak 5 variasi 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% dapat mempengaruhi sifat kemagnetan suatu bahan. Dimana parameter-parameter yang terdapat pada pengukuran yaitu dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. 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 3 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 NiFe_2O_4 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.

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 histerisis yang besar dan juga magnet keras tidak mudah termagnetisasi.
3. Lapisan tipis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ 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 nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ disimpulkan bahwa variasi komposisi Fe_3O_4 yang digunakan pada penelitian ini mempengaruhi sifat magnetik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$. 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 didapat kecil dari 100 nm.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka peneliti menyarankan dalam melakukan pembuatan nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ khususnya pada tahap sol-gel harus dilakukan dengan lebih teliti lagi agar larutan yang terbentuk akan menghasilkan bentuk gel sehingga pada saat penumbuhan nanokomposit dengan alat *spin coating* akan menghasilkan lapisan tipis yang homogen dan lengket. Dan juga pada saat larutan sol $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ diteteskan di atas substrat kaca, dilakukan saat prekursor $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PANi}$ dalam keadaan diaduk menggunakan magnetic stirrer agar larutan tetap homogen.