

**ANALISIS STRUKTUR MIKRO SERBUK NANOKOMPOSIT
 Fe_3O_4 /POLYPYRROLE YANG DISINTESIS DENGAN METODE
SOL GEL**



ANNISA FEBRIANI

NIM. 18034104/2018

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

2022

**ANALISIS STRUKTUR MIKRO SERBUK NANOKOMPOSIT
 Fe_3O_4 /POLYPYRROLE YANG DISINTESIS DENGAN METODE
SOL GEL**

SKRIPSI

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



Oleh:

ANNISA FEBRIANI

NIM. 18034104/2018

**PROGRAM STUDI FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

PERSETUJUAN SKRIPSI

**ANALISIS STRUKTUR MIKRO SERBUK NANOKOMPOSIT
 Fe_3O_4 /POLYPYRROLE YANG DISINTESIS DENGAN METODE
SOL GEL**

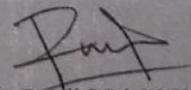
Nama : Annisa Febriani
NIM : 18034104
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, 18 Agustus 2022

Mengetahui
Kepala Departemen Fisika


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

Disetujui Oleh:
Pembimbing


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

PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

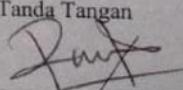
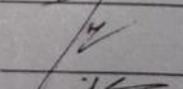
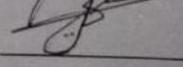
Nama : Annisa Febriani
NIM : 18034104
Program Studi : Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

ANALISIS STRUKTUR MIKRO SERBUK NANOKOMPOSIT $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{POLYPYRROLE}$ 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, 18 Agustus 2022

Tim Penguji

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

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Annisa Febriani
NIM/TM : 18034104/2018
Program Studi : Fisika
Jurusan : Fisika
Fakultas : FMIPA

Dengan ini menyatakan bahwa Skripsi saya dengan judul :”**Analisis Struktur Mikro 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 hokum 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,



Annisa Febriani

NIM. 18034104

Analisis Struktur Mikro Serbuk Nanokomposit Fe₃O₄/Polypyrrole Yang Disintesis Dengan Metode Sol Gel

Annisa Febriani

ABSTRAK

Nanokomposit merupakan salah satu material yang sangat penting dalam menyisipkan nanopartikel yang bertindak sebagai filler dalam sebuah matriks. Filler yang digunakan pada penelitian ini yaitu Fe₃O₄ dan matriks yang digunakan sebagai polimer yaitu *Polypyrrole*. Penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan komposisi sebanyak 5 variasi diantaranya 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% w/w. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis struktur mikro dari nanokomposit Fe₃O₄/Polypyrrole dengan metode sol gel. Metode Sol gel adalah suatu metode untuk pembuatan partikel dalam ukuran nano, dalam prosesnya menggunakan teknik basah karena proses yang dilaluinya melibatkan larutan sebagai medianya.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *X-Ray Diffraction* (XRD), *Fourier Transform Infrared* (FTIR), dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Struktur mikro diperoleh menggunakan alat karakterisasi Scanning Electron Microscope (SEM). FTIR digunakan untuk mendapatkan gugus fungsi nanokomposit, XRD digunakan untuk mendapatkan ukuran kristal dan strain mikro kristal, sedangkan SEM digunakan untuk mendapatkan ukuran partikel nanokomposit.

Dari hasil XRD diperoleh ukuran kristal untuk masing-masing komposisi yaitu 73.06 nm, 105.06 nm, 130.4 nm, 98.9 nm, dan 38.82 nm dan strain mikro untuk masing-masing komposisi yaitu 0.0098 μm , 0.0138 μm , 0.0281 μm , 0.0278 μm , dan 0.0055 μm . Dari hasil karakterisasi FTIR didapatkan bahwa Fe₃O₄/Polypyrrole telah tercampur yang terdapat pada bilangan gelombang 831.26 cm^{-1} , 831.10 cm^{-1} , 829.18 cm^{-1} , 829.19 cm^{-1} , dan 829.95 cm^{-1} merupakan keadaan gugus C=C. Dari hasil karakterisasi SEM diperoleh ukuran partikel masing-masing variasi yaitu 3 μm , 3.1 μm , 4 μm , 2.8 μm , dan 4.5 μm . Berdasarkan hasil penelitian diperoleh semakin besar komposisi *polypyrrole* maka semakin bertambah ukuran kristal, strain mikro, dan ukuran partikelnya.

Kata Kunci: Nanokomposit, Fe₃O₄, *Polypyrrole*, struktur mikro, sol gel

Microstructure Analysis of Fe₃O₄/Polypyrrole Powder Nanocomposite Synthesized By Sol-Gel Method

Annisa Febriani

ABSTRACT

The nanocomposite is a material that is very important in inserting nanoparticles that act as fillers in a matrix. The filler used in this study is Fe₃O₄ and the matrix used as a polymer is Polypyrrole. This research was conducted by varying the composition of 5 variations including 30%, 40%, 50%, 60%, and 70% w/w. This research was conducted to analyze the microstructure of Fe₃O₄/Polypyrrole nanocomposite using the sol-gel method. Sol gel method is a method for the manufacture of nano-sized particles, in the process using a wet technique because the process it goes through involves a solution as the medium.

The tools used in this research are X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared (FTIR), and Scanning Electron Microscope (SEM). The microstructure was obtained using a Scanning Electron Microscope (SEM) characterization tool. FTIR was used to obtain the functional groups of nanocomposites, XRD was used to obtain crystal size and microcrystal strains, and SEM was used to obtain particle sizes of nanocomposites.

From the XRD results, the crystal sizes for each composition were 73.06 nm, 105.06 nm, 130.4 nm, 98.9 nm, and 38.82nm and the micro strains for each composition were 0.0098 m, 0.0138 m, 0.0281 μ m, 0.0278 m, and 0.0055 m. From the results of the FTIR characterization, it was found that the Fe₃O₄/Polypyrrole has been mixed in the wave numbers 831.26cm⁻¹, 831.10cm⁻¹, 829.18cm⁻¹, 829.19cm⁻¹, and 829.95cm which is the state of the C=C group. From the results of SEM characterization, the particle sizes of each variation are 3 μ m, 3.1 μ m, 4 μ m, 2.8 μ m, and 4.5 μ m. Based on the research results, the larger the polypyrrole composition, the larger the crystal size, microstrain, and particle size.

Keywords: Nanocomposite, Fe₃O₄, *Polypyrrole*, microstructure, sol-gel

KATA PENGANTAR

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

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. Bapak Drs. Gusnedi, M.Sisebagai penguji I skripsi;
3. Ibu Dra.Yenni Darvina, M.Si sebagai penguji II skripsi;
4. Ibu Syafriani, M.Si, Ph.D selaku Ketua Prodi Fisika, sekaligus Pembimbing Akademik, 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 (Indah, Fikhri, dan nando), 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

Skripsi ini merupakan bagian hibah 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.

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. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat menambah khasanah ilmu pengetahuan serta dapat memberi manfaat bagi siapapun pembacanya.

Padang, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
BAB I.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	3
C. Batasan Masalah.....	4
D. Rumusan Masalah	4
E. Tujuan Penelitian	4
F. Manfaat	5
BAB II.....	6
TINJAUAN PUSTKA	6
A. Nanokomposit	6
B. Magnetit (Fe_3O_4)	9
C. Jenis- Jenis Polimer Konduktif	12
D. Metode Sol Gel	16

E. Superkapasitor.....	19
F. Struktur Mikro.....	21
G. Pengaruh Komposisi Fe ₃ O ₄ / <i>Polypyrrole</i>	23
H. XRD (X-Ray Diffraction)	24
I. FTIR (Fourier Transform InfraRed)	27
J. SEM (Scanning Electron Microscope).....	28
K. Penelitian Relevan.....	30
BAB III	32
METODE PENELITIAN.....	32
A. Jenis Penelitian.....	32
B. Waktu Dan Tempat Penelitian	32
C. Variabel Penelitian	32
D. Instrumen Penelitian.....	33
E. Pelaksanaan Penelitian	43
F. Diagram Alir Penelitian	47
BAB IV	49
HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
A. Hasil Penelitian	49
B. Pembahasan.....	64
BAB V.....	71
PENUTUP.....	71

A. Kesimpulan	71
B. Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Nanokomposit	6
Gambar 2 Struktur Spinel Fe ₃ O ₄	9
Gambar 3. Struktur kristal Fe ₃ O ₄ : (a) ball and stick model dan (b) geometri tetrahedral dan oktahedral untuk struktur invers spinel.	10
Gambar 4. Struktur Fe ₃ O ₄	11
Gambar 5. Struktur PANi secara Umum (a) Tereduksi, (b) Teroksidasi (Allock, FW, & E, 2003).....	13
Gambar 6. Struktur Poly(ethylene terephthalate) (Y & F, 2008).....	14
Gambar 7. Struktur Polipirol Netral dalam Bentuk Aromatik dan Quinoid, dan Bentuk Teroksidasi Polaron dan Bipolaron (P, 2005).	15
Gambar 8. XRD Rigaku MiniFlex II dan Diagram Blok Alat.....	24
Gambar 9. Difraksi Sinar X	25
Gambar 10. Alat FTIR (Aji, Moh, & Haniffudin, 2017).	28
Gambar 11. Prinsip kerja SEM	30
Gambar 12. High Energi Milling tipe HEM-E3D.....	33
Gambar 13. Magnet Permanen.....	34
Gambar 14. Timbangan digital	34
Gambar 15. Furnace	35
Gambar 16. Magnetic Stirrer.....	36
Gambar 17. Gelas Beker	36
Gambar 18. Cawan Penguap	36
Gambar 19. Spatula.....	37

Gambar 20. Bahan Pengaduk.....	37
Gambar 21. Oven	38
Gambar 22. Alat XRD.....	38
Gambar 23. Alat FTIR	39
Gambar 24. Alat SEM.....	39
Gambar 25. Pasir Besi.....	40
Gambar 26. Aquades	40
Gambar 27. HCL.....	40
Gambar 28. N-Hexana	41
Gambar 29. NaOH	41
Gambar 30. Ethanol	42
Gambar 31. Ethylene glycol.....	42
Gambar 32. <i>Polypyrrole</i>	42
Gambar 33. Diagram alir penelitian.....	48
Gambar 34. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole	50
Gambar 35. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole	51
Gambar 36. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole.....	52
Gambar 37. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole.....	54
Gambar 38. Hasil Karakterisi XRD Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole	55
Gambar 39. Gugus Fungsi Nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan 5 variasi komposisi	56
Gambar 40. Hasil Karakterisi SEM Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 30%.	57

Gambar 41. Hasil Karakterisi SEM Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 40%	58
Gambar 42. Hasil Karakterisi SEM Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 50%	58
Gambar 43. Hasil Karakterisi SEM Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole dengan variasi komposisi 60%	59
Gambar 44. Hasil Karakterisi SEM Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole.....	59
Gambar 45. Pola difraksi Sinar-x serta fasa yang muncul dari nanokomposit Fe ₃ O ₄ /Polypyrrole	60

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Jenis Gugus Ikatan pada Polianilin (PAni)	14
Tabel 2. Jenis Gugus Ikatan pada Poly(ethylene terephthalate) (PET).....	14
Tabel 3. Jenis Gugus Ikatan pada Polipirol (PPy).....	15
Tabel 4. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2 variasi komposisi 30%,	50
Tabel 5. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2 variasi komposisi 40%,	52
Tabel 6. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2 variasi komposisi 50%,	53
Tabel 7. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2 variasi komposisi 60%,	54
Tabel 8. Pola tiap puncak intensitas dan sudut 2 variasi komposisi 70%,	56
Tabel 9. Ukuran Kristal.....	61
Tabel 10. Data ukuran Partikel.....	63
Tabel 11. Perbandingan Ukuran kristal dan Nilai Strain Mikro	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil Analisis XRD	74
Lampiran 2. Database XRD	77
Lampiran 3. Kegiatan Penelitian.....	90

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Dalam bidang teknologi nanokomposit memiliki beberapa aplikasi diantaranya sebagai bahan bakar, baterai, dan sebagai bahan superkapasitor. Superkapasitor adalah jenis kapasitor yang terdiri dari *double layer*, yang menyimpan transfer muatan pada batas antara elektroda dan elektrolit. *Double layer* pada superkapasitor berperan dalam menghasilkan kapasitansi yang lebih tinggi (Jayalakshmi, 2008). Superkapasitor merupakan alat penyimpanan energi yang telah banyak diaplikasikan dalam bidang elektronik dan transportasi. Superkapasitor memiliki keunggulan diantaranya tidak memerlukan proses *maintenance*, memiliki *life time* atau waktu yang hidup lama, memiliki kemampuan dalam proses *charge* maupun *discharge* yang cepat dan dapat beroperasi secara efektif dalam beragam kondisi lingkungan (Fitriana, 2014).

Untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan dan konduktifitas materialnya maka material superkapasitor dirancang memiliki permukaan yang luas, ukuran partikel yang kecil, serta memiliki ukuran kristal dalam orde nanometer. Mekanisme pengisian bahan superkapasitor bergantung pada jenis elektroda yang digunakan. Bahan elektroda untuk superkapasitor ini terdiri dari 3 kategori yaitu bahan karbon aktif, polimer konduktif, dan oksida logam transisi (Putri, 2019). Penelitian tentang polimer konduktif telah banyak diteliti, salah satunya pada polimer konduktif PVDF pada penelitian (Putri, 2019), yang menggunakan bahan $\text{COFe}_2\text{O}_4/\text{PVDF}$, pada penelitiannya didapatkan bahwa

ukuran kristal yang dihasilkan besar, konduktifitasnya kurang bagus, dan pada ukuran partikel juga didapatkan besar, maka akan menyebabkan superkapasitor yang dihasilkannya akan rapuh dan tidak kuat. Oleh karena itu peneliti tertarik menggunakan polimer konduktif *Polypyrrole*, karena *polypyrrole* memiliki konduktifitas listrik yang bagus, sehingga bisa menghasilkan superkapasitor yang baik.

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 (Qamariyah, 2011).

Dalam pembuatan nanokomposit banyak digunakan beberapa metode salah satunya ada metode spin coating, dan metode sol gel. Akan tetapi metode spin coating menghasilkan hasil yang tidak rata pada kaca substrat, dan metode spin coating banyak digunakan untuk membuat lapisan tipis nanokomposit. Oleh karena itu digunakan metode lain untuk menjadikan serbuk nanokomposit. Salah satu metode yang digunakan yaitu metoda sol gel. Metode Sol gel adalah suatu metode untuk pembuatan partikel dalam ukuran nano, metode sol gel dalam prosesnya menggunakan teknik basah karena proses yang dilaluinya melibatkan larutan sebagai medianya (Rahmi, Ramli, & Yenni, 2018).

Penelitian tentang lapisan nanokomposit telah banyak dilakukan oleh para peneliti. Seperti yang telah dilakukan oleh (Ramli, Nidya, Yenni, Yulkifli, Edi, & Ambran, 2018), yang telah meneliti mengenai struktur mikro dan sifat magnetik dari lapisan tipis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{PVDF}$. Berdasarkan penelitian tersebut

ditemukan bahwa semakin bertambah komposisi Fe_3O_4 maka ukuran kristal semakin berkurang dan ukuran butir semakin bertambah.

Oksida logam pada umumnya dijumpai dalam pasir besi dalam bentuk *ferrite*, dan oksida besi (Shinde, 2013). Salah satu oksida besi yaitu Fe_3O_4 (*Magnetite*), sangat bagus untuk diolah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi yang lebih tinggi. Magnetite yang terkandung didalam pasir besi dapat diolah menjadi magnet, selain itu juga dapat dimanfaatkan dalam berbagai aplikasi. (Riyanto, 2012).

Berdasarkan latar belakang diatas peneliti tertarik melakukan penelitian tentang nanokomposit polimer dalam bentuk serbuk nanokomposit *Polypyrrole* yang disintesis dengan metode sol gel. Untuk melihat kualitas dari serbuk nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang dihasilkan dengan metode ini maka peneliti memvariasikan komposisi Fe_3O_4 : *Polypyrrole* yang digunakan. Untuk melihat gugus fungsi dari serbuk nanokomposit digunakan alat *Fourier Transform Infrared* (FTIR). Kemudian untuk melihat struktur mikro dari serbuk nanokomposit yang terbentuk maka peneliti melakukan karakterisasi dengan alat *X-Ray diffraction* (XRD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Oleh sebab itu peneliti memberi judul penelitian ini dengan “Analisis struktur mikro serbuk nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Polypyrrole}$ yang disintesis dengan metode sol gel”.

B. Identifikasi Masalah

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

1. Pengaplikasian Nanokomposit

2. Sumatera Barat merupakan salah satu daerah di Indonesia yang kaya akan unsur besi. Salah satu pantai di Sumatera Barat yang mengandung pasir besi yaitu Pantai Tiram Kabupaten Padang Pariaman, namun material pasir besi tersebut masih belum dimanfaatkan secara optimum.
3. Fe_3O_4 bukanlah material konduktif, melainkan material magnetik. Sementara *polypyrrole* adalah polimer yang memiliki konduktivitas tinggi dibanding polimer lainnya. Maka menjadikan Fe_3O_4 dan *polypyrrole* sebagai nanokomposit sangat perlu dilakukan untuk mengetahui struktur mikro dari nanokomposit Fe_3O_4/P .

C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang dikaji dalam penelitian ini yaitu, Analisis sifat struktur mikro dari $Fe_3O_4/Polypyrrole$ terdiri dari ukuran kristal, ukuran partikel, dan nilai strain mikronya.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut dapat dirumuskan suatu permasalahan yaitu bagaimana Analisis Struktur Mikro serbuk nanokomposit $Fe_3O_4/Polypyrrole$ yang disintesis dengan Metode Sol Gel.

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat Struktur Mikro serbuk nanokomposit $Fe_3O_4/Polypyrrole$ yang disintesis dengan Metode Sol Gel.

F. Manfaat

Manfaat dari penelitian ini yaitu:

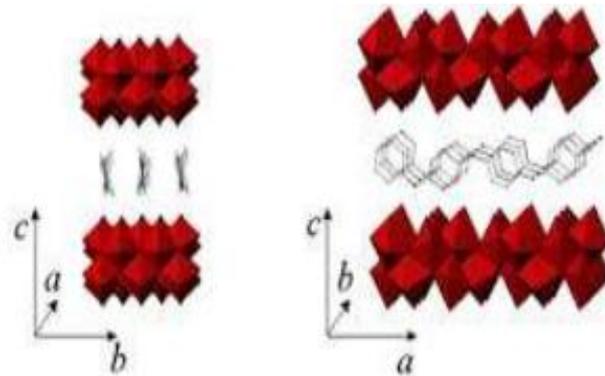
1. Bagi peneliti, sebagai syarat untuk menyelesaikan program studi fisika S1 dan pengembangan diri dalam bidang kajian fisika.
2. Kelompok kajian material dan biofisika, dapat memberikan ilmu pengetahuan dalam pengembangan pembuatan materil berbasis nanokomposit.
3. Peneliti lain, sebagai referensi dalam pengembangan penelitian tentang material dalam nanokomposit dan dapat menjadi sumber ide bagi peneliti lainnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTKA

A. Nanokomposit

Nanokomposit merupakan salah satu material yang sangat penting dalam menyisipkan nanopartikel yang bertindak sebagai filter dalam sebuah matriks. Salah satu material nanokomposit memiliki fungsi yang dapat meningkatkan, membatasi kemampuan material serta mengakibatkan adanya ikatan antar partikel. Apabila semakin banyak partikel yang berinteraksi maka kuat dan besar dari material akan bertambah yang terdapat dalam sebuah nanokomposit, dan semakin kuat ikatan partikel maka semakin kuat juga sifat mekanik yang terdapat dalam suatu ikatan partikel, namun tidak dengan penambahan partikel-partikel yang akan mengakibatkan meningkatnya sifat mekanik dalam suatu partikel. Gambar dari struktur nanokomposit yaitu,



Gambar 1. Struktur Nanokomposit

Berdasarkan Gambar 1, struktur nanokomposit mempunyai sebuah material komposit yang berupa bahan konvensional seperti logam. Logam merupakan salah satu contoh dari sebuah bahan komposit yang mempunyai kelebihan yang sangat

khas dibandingkan bahan konvensional. Seperti perbandingan bahan konvensional yang mempunyai densiti yang sangat rendah (Sovia, Ramli, Yulkifli, & Yenni, 2020).

Nanokomposit merupakan suatu bahan yang dibuat dari pencampuran serbuk yang berukuran nanopartikel. Nanokomposit merupakan material yang dibuat dengan menyisipkan nanopartikel yang bertindak sebagai filler didalam sebuah matriks. Nanokomposit tersebut menghasilkan pencampuran dari sejumlah fase yang berbeda-beda (Fildzah, Ramli, & Ratnawulan, 2019).

Nanokomposit dapat dianggap sebagai struktur padat dengan dimensi berskala nanometer yang berulang pada jarak antar-bentuk penyusun struktur yang berbeda. Material-material dengan jenis seperti itu terdiri atas padatan inorganik yang tersusun atas komponen organik. Selain itu, material nanokomposit dapat pula terdiri atas dua atau lebih molekul inorganik/organik dalam beberapa bentuk kombinasi dengan pembatas antar keduanya minimal satu molekul atau memiliki ciri berukuran nano. Contoh nanokomposit yang ekstrim adalah koloid, media berporos, kopolimer dan gel. Ikatan antar partikel yang terjadi pada material nanokomposit memainkan peranan penting pada peningkatan dan pembatasan sifat material. Partikel-partikel yang berukuran nano tersebut memiliki luas permukaan interaksi yang tinggi (Hadiyawarman, Agus, Nuryadin, Mikrajuddin, & Khairurrijai, 2008).

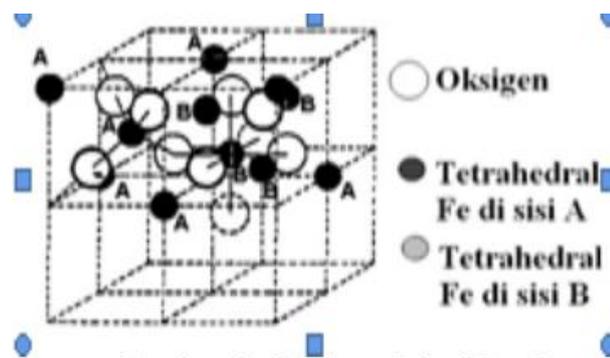
Nanokomposit dibuat dengan menyisipkan nanopartikel (nanofiller) ke dalam sebuah material makroskopik (matriks). Pencampuran nanopartikel ke dalam matriks penyusun merupakan bagian perkembangan dunia nanoteknologi.

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. 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).

B. Magnetit(Fe_3O_4)

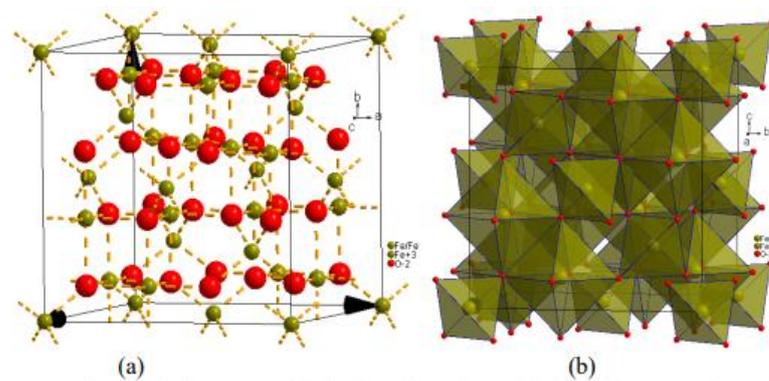
Suatu partikel yang memiliki ukuran 1-100 nm dalam bentuk nanometer disebut Nanopartikel. Nanopartikel Fe_3O_4 memiliki karakteristik meliputi soft magnetik, nilai magnetisasi saturasi (M_s) yang tinggi, nilai anisotropi yang rendah, memiliki sifat superparamagnetik dan serta medan koersifitas (H_c) yang kecil (M.Djamal, Ramli, Wirawan, & E.Sanjaya, 2011). Magnetit (Fe_3O_4) mempunyai struktur spinel terbalik kubik dengan oksigen membentuk kemas tertutup FCC dan kation Fe menempati situs tetrahedral interstisial dan situs oktahedral dan oksida besi magnetik yang umum (Conell & Schwertmann, 1996).



Gambar 2 Struktur Spinel Fe_3O_4

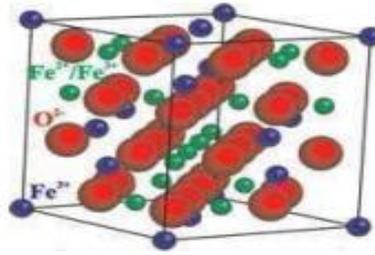
Terlihat pada gambar 2, struktur tetrahedral: ion Fe dikelilingi oleh empat oksigen. Dan struktur oktahedral: ion Fe dikelilingi oleh enam ion Oksigen. Material ferimagnetik atau biasa disebut ferit adalah bahan magnetik yang mempunyai sifat khas yaitu rapuh, tahan terhadap panas dan zat kimia, mempunyai tahanan jenis listrik yang tinggi, sehingga banyak digunakan dalam bidang elektronika dan juga keras. Ferit dapat termagnetisasi secara spontan pada temperatur *Currie* dan bersifat paramagnetik untuk temperatur di atas temperatur *Currie* (Rahmi, Ramli, & Yenni, 2018).

Secara struktur kristal, nanopartikel Fe_3O_4 mempunyai struktur kristal kubik invers spinel (Gambar 3). Rumus molekul yang dimiliki Fe_3O_4 dapat dituliskan sebagai $(\text{Fe}^{2+})(\text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$. Berdasarkan Gambar 1, maka terdapat 8 kation trivalen Fe^{3+} menempati site tetrahedral, 8 kation Fe^{3+} juga menempati site oktahedral, dan 8 kation divalen Fe^{2+} menempati site oktahedral. Kation Fe^{3+} yang menempati site tetrahedral dan oktahedral mempunyai resultan momen magnetik yang sama besar, tapi orientasi yang berlawanan (Khan, Khattak, Rahman, & Khan, 2011). Menurut Montoro (Indrayana, 2019), Karena mempunyai struktur kristal yang unik maka menghasilkan sifat fisika yang unik pada nanopartikel Fe_3O_4 .



Gambar 3. Struktur kristal Fe_3O_4 : (a) ball and stick model dan (b) geometri tetrahedral dan oktahedral untuk struktur invers spinel.

Magnetit (Fe_3O_4) merupakan campuran dari suatu oksida besi yang terbentuk karena adanya reaksi oksida besi(II) dengan besi(III) yang mana hasil yang dihasilkan lebih unggul dibandingkan dari oksida besi(II) dan oksida besi(III) dari masing-masingnya. (Sovia, Ramli, Yulkifli, & Yenni, 2020).



Gambar 4. Struktur Fe₃O₄

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bagaimana heksagonal dan struktur dari Fe₃O₄. Dalam tiap sel terdapat sejumlah ion sebanyak delapan ion Fe³⁺ 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 magnetik bisa diaplikasikan dalam berbagai bidang dan memiliki sifat fisis yang bervariasi. Salah satu contoh partikel magnetik yang dapat dibuat dalam ukuran nanometer yaitu besi oksida seperti Fe₃O₄ (magnetit) (Rita, Dede, Pinaka, Arisman, & Warsono, 2021).

Nanopartikel Fe₃O₄ 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* (α -Fe₂O₃), *maghemite* (γ -Fe₂O₃), dan *magnetite* (Fe₃O₄). *Magnetite* (Fe₃O₄) adalah oksida besi yang memiliki sifat kemagnetan yang paling kuat dibandingkan oksida besi lainnya dan paling banyak ditemukan (Ayu & Astuti, 2016).

C. Jenis- Jenis Polimer Konduktif

Polimer konduktif merupakan polimer organik terkonjugasi yang menunjukkan sifat kelistrikan, kemagnetan dan sifat optis seperti logam sehingga polimer konduktif disebut juga logam sintetis. Polimer konduktif menjadi bahan yang sangat diminati untuk dikaji. Hal tersebut disebabkan oleh sifat polimer konduktif yang berbeda dari polimer konvensional yakni mempunyai konduktivitas listrik yang tinggi sehingga polimer konduktif berpotensi untuk diaplikasikan pada baterai, divais tampilan elektrokronik, sensor, dan lain sebagainya.

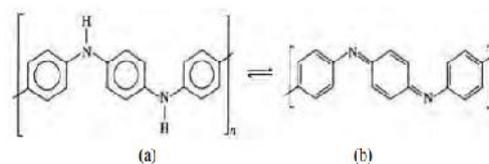
1. Polianilin (PANI)

Secara umum polianilin dibuat melalui oksidasi monomer anilin baik melalui oksidasi elektrokimia maupun oksidasi kimia biasa dengan oksidan ammonium peroxodisulfate ((NH₄)₂S₂O₈) di dalam suasana asam. Asam yang biasa digunakan adalah asam klorida (HCl) dan asam sulfat (H₂SO₄). Ditinjau dari aspek kestabilan di udara, bahan polimer konduktif dari PANi memiliki kestabilan yang baik diantara bahan polimer yang selama ini dikenal seperti: Poliasetilen (PA), Polidiasetilen (PdA), Politiufen (PT) dan Poliperol (PPy). PANi bisa dianggap sebagai sebuah polimer konduktif di bawah kondisi tertentu, seperti pada saat dikenai cahaya UV, panas atau penambahan dopant yang cocok pada saat proses sintesis. PANi merupakan salah satu jenis polimer konduktif, yang memiliki tiga tingkat keadaan oksidasi tergantung pada jenis doping dan tingkat doping dalam sintesis. Tiga tingkat keadaan oksidasi PANi yakni leukomeraldin base, LB (tereduksi penuh), emeraldin base, EB

(teroksidasi setengah) dan pernigranilin base, PB (teroksidasi penuh). Dari ketiga tingkat keadaan PANi yang banyak dipelajari karena konduktivitas listriknya yang dapat diatur, mempunyai aplikasi luas dan banyak diteliti adalah emeraldin base karena konduktivitasnya dapat diatur dari 10^{-10} /cm hingga 10^0 /cm melalui proses doping (RK PUTRI, 2014).

PANi merupakan kelompok polimer konduktif yang termasuk paling banyak dikaji dan dimanfaatkan untuk berbagai aplikasi karena terkait sifat PANi yang mempunyai mekanisme konduksi yang unik, mempunyai konduktivitas listrik yang relatif tinggi dan stabilitas lingkungan yang baik.

Bentuk molekul anilin ($C_6H_5NH_2$) adalah heterosiklik enam sisi dengan amina merupakan salah satu substansi pembentuknya. Pada Gambar 5 tampak bahwa polimer PANi mempunyai dua gugus berulang yaitu gugus tereduksi dan gugus teroksidasi. Gugus tereduksi terdiri dari molekul yang berbentuk cincin benzoid dan dua gugus amina, sedangkan pada gugus teroksidasi salah satu cincin benzoid berubah menjadi cincin quinoid seperti pada Tabel 1 dan gugus amin menjadi imin.



Gambar 5. Struktur PANi secara Umum (a) Tereduksi, (b) Teroksidasi (Allock, FW, & E, 2003)

Tabel 1. Jenis Gugus Ikatan pada Polianilin (PAni)

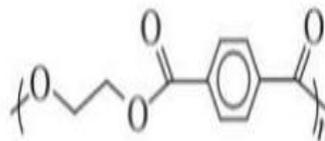
Material	Wave number (cm ⁻¹)	Characteristic peaks
PAni	1600-1450	C=C aromatic str.
	1340-1250	C-N vib.
	1180-1140	S=O str
	1075-975	N=Q=N vib. (Q adalah quinoid)
	900-670	C-H benzene def.

Sumber : Mistry, 2009 dan Socrates, 2001

Penelitian (L, 2014) menunjukkan bahwa PAni memiliki konduktivitas sebesar 0,451-0,491 S/cm dan dengan rentang nilai tersebut PAni termasuk bahan semikonduktor.

2. Poly(ethylene terephthalate) (PET)

Poly(ethylene terephthalate) (PET) adalah jenis polimer dielektrik yang mengandung gugus fungsional ester dalam rantai utamanya sehingga juga dikenal dengan istilah poliester. Struktur dan gugus ikatan PET dapat terlihat pada Gambar 6 dan Tabel 2



Gambar 6. Struktur Poly(ethylene terephthalate) (Y & F, 2008).

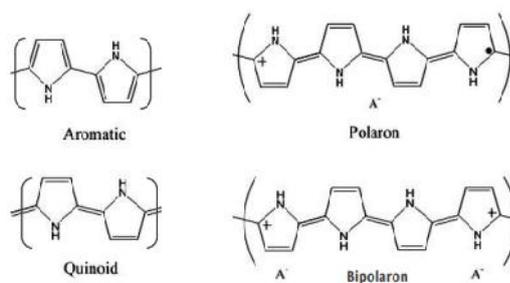
Tabel 2. Jenis Gugus Ikatan pada Poly(ethylene terephthalate) (PET)

Material	Wave number (cm ⁻¹)	Characteristic peaks
PET	1725-1705	C=O str.
	1430-1400	C-H ester def.
	1257-1232	CH ₃ COOR vib.
	1120-1020	C-O-C str.
	900-670	C-H benzene def.

Tabel 2 menjelaskan jenis gugus ikatan yang terdapat pada *Poly(ethylene terephthalate)* (PET)(BD, 2009).

3. *Polypyrrole*

Polypyrrole merupakan jenis polimer konduktif yang dapat disintesis secara kimia maupun elektrokimia dengan penambahan doping yang dapat meningkatkan konduktivitas listriknya. Polipirol memiliki sifat mekanik yang baik, struktur heterosiklik dan gugus quinoid seperti pada Gambar 7 dan Tabel 3



Gambar 7. Struktur Polipirol Netral dalam Bentuk Aromatik dan Quinoid, dan Bentuk Teroksidasi Polaron dan Bipolaron (P, 2005).

Tabel 3. Jenis Gugus Ikatan pada Polipirol (PPy)

Material	Wave number (cm ⁻¹)	Characteristic peaks
PPy	1565-1500	C=C aromatic str.
	1510-1460	C=C vib.
	1430-1380	C=C vib.
	1340-1250	C-N vib.
	1175-1125	C-H dan N-H def.
	1040-1010	S=O str (RSO ₃ H)
	900-670	C-H benzene def.

Tabel 3 menjelaskan tentang jenis gugus ikatan yang terdapat pada *Polypyrrole* (BD, 2009).

Polypyrrole merupakan salah satu polimer konduktif yang mempunyai memiliki konduktivitas yang relatif tinggi dibandingkan dengan polimer konduktif lain, kestabilan tertinggi terhadap lingkungan, dan mudah disintesis (Pulgentius, Rudiyanasyah, & Berlin, 2013). Menurut Skotheim dan Reynolds (Widodo, Harlia, & Intan, sintesis komposit polimer konduktif polipirol (ppy)/selulosa bakteri dengan metode spray dan rendam, 2018), *Polypyrrole* dapat disintesis melalui dua cara yaitu oksidasi kimiadan elektrokimia. Sintesis melalui oksidasi kimia cocok digunakan untuk memproduksi polipirol untuk komersial dalam skala besar.

Menurut Wang (Satriaaji, Rizky, & Hamidah, 2014), *Polypyrrole* adalah senyawa heterosiklik yang dapat disintesis secara elektrokimia dengan penambahan pengotor yang dapat meningkatkan konduktivitas listriknya. *Polypyrrole* yaitu senyawa dengan tekstur seperti bunga karang, memiliki temperatur kaca 160 – 170°C dan terdekomposisi pada suhu 180 – 237°C, serta memiliki nilai konduktivitas dibawah 3 S cm⁻¹. *Polypyrrole* sering digunakan sebagai sensor gas, biosensor, pelapis bahan anti listrik, kabel, baterai polimer, kapasitor, membran fungsional, perlengkapan elektronik dan lain – lain.

Polimer konduktif *Polypyrrole* memiliki struktur kristal yang tidak teratur sehingga digolongkan ke dalam material amorf seperti amorfus semikonduktor. Elektron terlokalisasi pada suatu tempat diantara pita valensi dan pita konduksi (Qamariyah, 2011).

D. Metode Sol Gel

Teknik sol-gel merupakan salah satu teknik basah karena pada prosesnya melibatkan larutan sebagai medianya. Pada 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 adalah 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 alkoxsi dan dihidrolisis dengan air, menghasilkan partikel padatan metal hidroksida dalam larutan, dan reaksinya adalah reaksi hidrolisis. Gel (gelation) adalah jaringan partikel atau molekul, baik padatan dan cairan, dimana polimer yang terjadi di dalam larutan digunakan sebagai tempat pertumbuhan zat anorganik. Pertumbuhan anorganik terjadi di gel point, dimana energi ikat lebih rendah (Rahmi, Ramli, & Yenni, 2018).

Prinsip dasar sol-gel adalah pembentukan larutan prekursor dari senyawa yang diharapkan dengan menggunakan pelarut organik, terjadinya polimerisasi larutan, terbentuknya, dan dibutuhkan proses pengeringan dan kalsinasi gel untuk menghilangkan senyawa organik serta membentuk material anorganik berupa oksida. Metode tersebut banyak diaplikasikan dalam bidang pembuatan komposit, keramik, polimer, lensa kontak, dan serat (fiber). Metode itu mampu menghasilkan bahan yang halus, seragam (uniform), homogen serta kemurniannya tinggi. Proses sol-gel memiliki dua metode, yakni metode alkoksida dan metode koloid. Metode alkoksida merupakan proses sol-gel yang menggunakan logam alkoksida sebagai prekursor, sedangkan metode koloid adalah teknik sol-gel menggunakan prekursor selain logam alkoksida, misalnya nitrat, karboksilat, asetil asetonat, dan klorida. Pembuatan kaca konvensional melibatkan pelelehan prekursor pada temperatur tinggi, dilanjutkan dengan pendinginan teratur dan

vitrifikasi material kaca monolitik. Teknik ini tetap bertahan untuk zat anorganik pada setiap kondisi tanpa terjadinya dekomposisi termal (logam atau oksida logam).

Metode Sol-Gel memiliki kelebihan dan kelemahan. Adapun kelebihannya:

1. Homogenitas produknya tinggi karena reagen-reagen dicampur pada tingkat molekular.
2. Produk yang dihasilkan kemurniannya tinggi, hal ini disebabkan prekursor alkoksida organologam dapat dimurnikan melalui proses distilasi atau rekristalisasi.
3. Suhu yang digunakan relatif rendah.
4. Kehilangan bahan akibat penguapan dapat diperkecil.
5. Porositasnya rendah atau tinggi dengan cara memanaskan pada temperatur tertentu.
6. Mampu menghasilkan material glass dalam bentuk nonamorphous dengan cara pendinginan dari fasa cair.
7. Mampu menghasilkan keramik dengan kristalinitas yang bagus jika dibandingkan dengan metode konvensional.

Adapun kekurangan yang dimiliki metode sol-gel yaitu:

1. Membutuhkan prekursor yang relatif mahal.
2. Waktu pemrosesan relatif lama.
3. Terbentuknya sisa hidroksil dan karbon.
4. Terjadi penyusutan yang besar dalam pemrosesan (Muthia, 2018).

E. Superkapasitor

Superkapasitor adalah kapasitor double layer, energi disimpan oleh transfer muatan pada batas antara elektroda dan elektrolit. Ketika komposit logam oksida dan karbon digunakan sebagai elektroda untuk superkapasitor, mekanis penyimpanan termasuk kapasitansi lapisan ganda (double layer capacitance) dan pseudocapacitance, sehingga menghasilkan kapasitansi yang lebih tinggi (Jayalakshmi,2008) Superkapasitor memiliki sifat yang melengkapi kekurangan dari baterai dan kapasitor konvensional. Baterai memiliki rapat energi yang sangat tinggi, namun demikian memiliki rapat daya yang sangat rendah. Sedangkan kapasitor konvensional pada umumnya memiliki rapat daya yang sangat tinggi namun rapat energi sangat rendah. Superkapasitor menghasilkan rapat daya tinggi serta rapat energi yang tinggi. Rapat daya berhubungan dengan „kekuatan“ (jumlah wat) kombinasi dari arus volt, sedangkan rapat energi berhubungan dengan waktu pemakaian. Posisi superkapasitor, dibandingkan dengan baterai dan kapasitor konvensional. Divais superkapasitor terdiri dari bagian elektroda,separator ,elektrolit dan pengumpul muatan. Kategori bahan utama elektroda digunakan dalam EDLC yaitu karbon, polimer dan oksida logam (Sullivan dkk,2000). Untuk oksida logam seperti CuO_2 mempunyai kapasitansi lebih besar 700 F/g (Yoon,200) tetapi bahan ini terlalu mahal. Polimer juga sebagai bahan elektroda untuk EDLC (Gottersfeld dkk,1995), tetapi dalam polimer, gerakan ion dalam pori agak lambat dan stabilitasnya berubah-ubah. Oleh karena itu, banyak kapasitor yang tersedia sekarang dari bahan-bahan karbon yang digunakan untuk elektroda logam oksida.

Superkapasitor diatur oleh prinsip dasar yang sama dengan konvensional Kapasitor. Namun menggabungkan elektroda dengan luas permukaan yang jauh lebih tinggi dan ketebalan dielektrik yang lebih tipis serta menurunkan jarak Di antara elektroda sehingga menyebabkan peningkatan kapasitansi dan energi. Superkapasitor juga mampu mencapai densitas daya yang sebanding. Selain itu, superkapasitor memiliki beberapa kelebihan dibanding baterai dan sel bahan bakar, diantaranya kepadatan daya yang lebih tinggi, waktu pengisian lebih pendek, siklus umur dan umur simpan yang lebih lama (Helper, 2006).

Pembentukan elektroda karbon menggunakan pori tertentu. Nilai kapasitansi salah satunya bergantung pada karakteristik material elektroda, terutama pada luas permukaan, ukuran pori, diameter, dan kedalaman material elektroda. Apabila partikel semakin kecil maka pori-pori akan semakin banyak dan kedalaman akan semakin dangkal. Pori-pori yang dangkal menyebabkan daya yang akan dihasilkan akan semakin besar karena pori lebih mudah diakses oleh ion. Pori yang terbentuk dari suatu karbon berhubungan dengan luas permukaan. Jika ukuran partikel semakin besar maka pori yang dihasilkan hanya sedikit sehingga pelet elektroda yang dihasilkan rapuh dan tidak kuat. Namun, jika ukuran partikel semakin halus maka pori yang dihasilkan semakin banyak. Sari (2012) dalam penelitiannya menyimpulkan bahwa ukuran partikel mempengaruhi kapasitansi superkapasitor.

Komponen utama dalam pembuatan superkapasitor adalah pengumpul arus, elektroda, separator, dan elektrolit. Elektroda sebagai bagian dari superkapasitor mempengaruhi nilai kapasitansi yang dihasilkan. elektroda pada superkapasitor memiliki luas permukaan yang tinggi, dapat menghantarkan listrik, dan mampu

menyimpan muatan yang banyak. Besarnya luas permukaan pada elektroda yang digunakan dapat meningkatkan kapasitansi pada superkapasitor. Jenis elektroda yang biasanya digunakan pada pembuatan superkapasitor adalah elektroda karbon, karena memiliki keunggulan diantaranya memiliki luas permukaan yang tinggi, tidak berkarat, ukuran pori yang dapat dikontrol, biaya produksi yang relatif murah, serta porositas yang besar sehingga mudah dalam menyerap ion (Schneuwly, 2000).

Pada penelitian sebelumnya, untuk oksida logam seperti CuO_2 mempunyai kapasitansi lebih besar dari 700 F/g (Yoon, 2000) tetapi bahan ini terlalu mahal. Polimer juga adalah sebagai bahan elektroda untuk EDLC (Gottesfeld dkk, 1995), tetapi dalam polimer, gerakan ion dalam pori agak lambat dan stabilitasnya berubah-ubah. Karbon dengan luas permukaan tinggi adalah bahan elektroda EDLC tidak mahal dengan kapasitansi diatas 100 F/g (Baertschi, dkk 2004).

F. Struktur Mikro

Struktur bahan daengan orde kecil disebut struktur mikro. Struktur mikro tidak bisa dilihat dengan mata telanjang, namun harus menggunakan alat pengamat struktur mikro seperti mikroskop (Rizki & Gama, 2020).

Struktur mikro adalah gambaran dari kumpulan fasa-fasa yang dapat dianalisis melalui teknik metalografi. Struktur mikro suatu logam bisa dilihat dengan menggunakan mikroskop. Mikroskop yang dapat digunakan seperti mikroskop elektron dan mikroskop optik. Sebelum dilihat dengan mikroskop, permukaan logam harus dibersihkan terlebih dahulu, kemudian reaksi dengan reagen kimia untuk mempermudah pengamatan. Proses ini dinamakan *etching*.

Struktur mikro dapat mengamati :

1. Bentuk butir dan ukurannya.
2. Distribusi fasa yang terdapat dalam material khususnya logam
3. Pengotor yang terdapat dalam material (Ismail & Wijaya, 2016).

Struktur mikro dari lapisan nanokomposit terdiri dari gugus fungsi, ukuran kristal, strain mikro, ukuran butir, dan ketebalan lapisan.

Gugus fungsi merupakan gugus atom yang terdapat dalam molekul yang digunakan untuk menentukan sifat dari suatu senyawa. Ukuran kristal dan strain mikro diperoleh dari hasil karakterisasi menggunakan sinar-x. Bahan yang diperoleh dari alam memiliki dua kemungkinan struktur diantaranya merupakan struktur amorf atau struktur kristal. Kristal memiliki 7 struktur kristal diantaranya cubic, monoklik, triklinik, tetragonal, orthorombik, trigonal, dan hexagonal.

Struktur mikro yang diperoleh dari karakterisasi menggunakan sinar-x adalah ukuran kristal dalam monometer dan strain mikro. Ukuran kristal dapat dicari dengan persamaan *Scherer*, yaitu:

$$D = \frac{k \lambda}{\beta c \theta} (1) \quad (\text{Putri, 2019})$$

Reduksi jumlah koordinasi atom-atom permukaan dan peningkatan rasio luas permukaan terhadap volume pada nanokristal berkaitan dengan kontraksi ikatan permukaan pada nanokristal yang menjelaskan distorsi kisi kristal. Distorsi dan ketidak-sempurnaan kristal menginduksi regangan kisi yang menyebabkan pelebaran puncak difraksi sinar-x. Persamaan (2)

menyatakan lebar profil puncak difraksi sinar-x yang berkaitan dengan regangan kisi,

$$\beta = 4\varepsilon \tan \theta(2)$$

dengan ε adalah strain mikro dan β adalah FWHM kontribusi regangan kisi. Maka untuk nilai strain mikro bisa dicari dengan persamaan,

$$\varepsilon = \frac{\beta}{4 t_i \theta}(3) \text{ (Kinasih \& Nurhasanah, 2020).}$$

Regangan mikro terjadi akibat adanya ketidaksempurnaan kisi kristal antara lain berupa kekosongan dan dislokasi.

G. Pengaruh Komposisi Fe₃O₄/Polypyrrole

Pada penelitian (Putri, 2019) dilakukan 3 variasi komposisi COF₂O₄/PVDF yaitu 10ml:10ml, 10ml:20ml, 10ml:30ml, terhadap struktur mikro lapisan nanokomposit dengan metode spin coating, sebagai berikut:

Komposisi (ml)	Ukuran Kristalit COF ₂ O ₄ /PVDF (nm)	Nilai strain mikro	Ketebalan lapisan (um)
10:10	42.8	0.26508	25.11
10:20	43.1	0.27325	29.81
10:30	48.8	0.27673	35.51

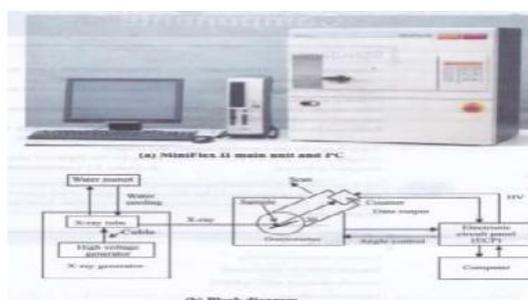
Pada tabel didapatkan bahwa pada variasi 10 ml:30 ml didapatkan bahwa ukuran kristalnya semakin bertambah, maka semakin besar komposisi PVDF yang digunakan maka semakin bertambah ukuran kristal yang dihasilkan, begitu juga

dengan strain mikro. Namun pada ukuran partikel semakin besar komposisi PVDF, maka ukuran partikel nya berkurang.

H. XRD (X-Ray Diffraction)

X-Ray Diffraction (XRD) merupakan salah satu metode karakteristik material yang paling sering digunakan dan paling tua yang masih digunakan digunakan hingga sekarang. Teknik XRD digunakan untuk mendapatkan ukuran partikel dan mengidentifikasi fasa kristalin dalam suatu material dengan cara menentukan parameter struktur kisi. Bahan yang dianalisa dengan teknik XRD adalah tanah halus, homogenized, dan rata-rata komposisi massal ditentukan (Nurhidayah, 2016).

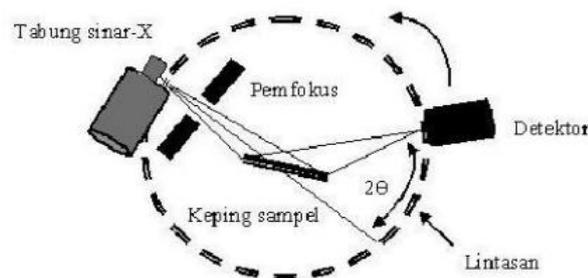
Menurut A. A Bunaciu (Luqman, Made, & Muhammad, 2019), *X-Ray Diffraction* (XRD) adalah analisis yang digunakan fasa (kuantitatif) dalam suatu bahan dengan memanfaatkan radiasi gelombang elektromagnetik sinar-X dan untuk mengidentifikasi material kristalit, sebagai contoh identifikasi struktur kristalit (kualitatif). Selain itu, juga digunakan untuk mengetahui rincian lain seperti susunan berbagai jenis atom dalam cacat kristal kristal, orientasi dan kehadiran cacat.



Gambar 8. XRD Rigaku MiniFlex II dan Diagram Blok Alat

Untuk menentukan struktur kristal dilakukan dengan metode difraksi. Difraksi adalah suatu metode eksperimen hamburan elastis, dimana proses hamburan transfer/perubahan yang dilalui dapat diabaikan. Informasi yang didapatkan dari metode difraksi yaitu data koordinat atom-atom dalam kristal yang mendasari karakteristik dan sifat bahan pada umumnya.

X-Ray Diffraction (XRD) digunakan untuk mendapatkan ukuran partikel serta mengidentifikasi suatu fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi. Jika semakin tinggi nilai intensitasnya maka akan semakin besar ukuran butiran yang didapatkan (Rahmi & Fina, 2018).



Gambar 9. Difraksi Sinar X

Terlihat pada Gambar 9 sinar-X menembakkan sampel padatan kristalin, lalu mendifraksikan sinar-X ke segala arah dengan memenuhi persamaan Hukum Bragg. Detektor lalu bergerak dengan kecepatan sudut yang konstan untuk mendeteksi berkas sinar-X yang didifraksikan oleh sampel. Sampel berupa serbuk atau padatan kristalin memiliki bidang-bidang kisi yang tersusun secara acak dengan berbagai kemungkinan orientasi, begitu pula partikel-partikel kristal yang terdapat di dalamnya. Setiap kumpulan bidang kisi tersebut memiliki beberapa sudut orientasi tertentu, sehingga difraksi sinar-X memenuhi Hukum Bragg, yaitu

$$n\lambda = 2 d \sin \theta \quad (4)$$

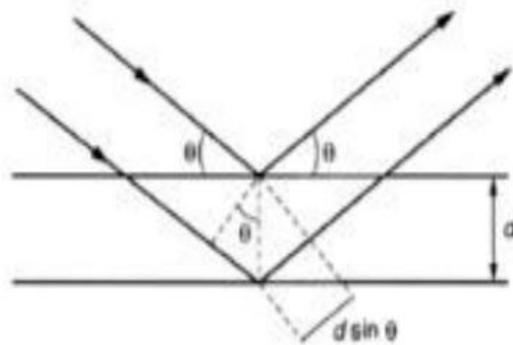
dengan,

n: orde difraksi (1,2,3...),

λ : panjang gelombang sinar-X,

d :jarak antar kisi,

θ : sudut difraksi.



Gambar 8. Kisi-kisi kristal dan difraksi sinar-X (Pratiwi P. D., 2016).

Hasil pengukuran menggunakan XRD berupa difraktogram dan dapat diketahui struktur dan kualitas kristal yang diuji. Struktur kristal dapat dianalisa dengan menggunakan difraksi Bragg:

$$n \lambda = 2 d_{hk} \sin (\theta) \quad (5)$$

dengan:

λ = panjang gelombang sinar-X

d_{hk} = jarak antar bidang kristal

θ = sudut difraksi Bragg

Selain itu, ukuran butir kistal dapat dicari dengan Persamaan Scherer:

$$D = \frac{k \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (6)$$

dengan:

D = ukuran kristal (nm)

k = konstanta (0,9)

λ = panjang gelombang Cu (0.15406 nm)

= FWHM (rad)

θ = sudut difaksi ($^{\circ}$)(Zein, 2021)

I. FTIR (Fourier Transform InfraRed)

Menurut Thermo (Satriawan & Ilmiati, 2017), FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) adalah suatu metode yang menggunakan spektroskopi inframerah. Pada spektroskopi inframerah, radiasi pada inframerah hanya dilewatkan pada sampel. Sebagian radiasi inframerah diserap dan sebagian lagi ditransmisikan atau dilewatkan oleh sampel. Analisis gugus fungsi dengan FTIR (*Fourier Transform InfraRed*) berguna untuk mengetahui proses yang terjadi pada pencampuran apakah secara kimia atau fisik. Sampel yang akan diuji ditempatkan ke dalam set holder, kemudian dicari spektrum yang sesuai. Hasil akhir yang akan didapatkan yaitu difraktogram hubungan antara bilangan gelombang dengan intensitas.

Sampel yang dapat diuji oleh FTIR yaitu cairan, pelet polimer, serat, sampel buram, pelapis kawat, dan bubuk. Scan inframerah yang khas dihasilkan di wilayah pertengahan inframerah dari spektrum cahaya. Daerah pertengahan inframerah adalah 400-4000 cm^{-1} wavenumbers, yang sama dengan panjang gelombang 2,5 sampai 25 mikron (10-3mm).

FTIR memiliki cara kerja yaitu, mula mula zat yang akan diukur diidentifikasi, yang mana zatnya berupa atom atau molekul. Sinar infra merah yang berperan sebagai sumber sinar dibagi menjadi dua berkas, satu dilewatkan melalui sampel dan yang lain melalui pembanding. Kemudian secara berturut-turut melewati *chopper*. Setelah melalui prisma atau *grating*, berkas akan jatuh pada detektor dan diubah menjadi sinyal listrik yang kemudian direkam oleh rekorder. Selanjutnya diperlukan amplifier bila sinyal yang dihasilkan sangat lemah.



Gambar 10. Alat FTIR(Aji, Moh, & Haniffudin, 2017).

J. SEM (Scanning Electron Microscope)

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop elektron yang menggambarkan spesimen dengan cara memindainya menggunakan sinar elektron yang berenergi tinggi dalam scan pola raster. Elektron memiliki kelebihan yaitu resolusi yang lebih tinggi dari pada cahaya. Cahaya hanya memiliki resolusi 200 nm sedangkan elektron mencapai resolusi sampai 0,1 – 0,2 nm. Elektron akan berinteraksi dengan atom-atom, maka spesimen menghasilkan sinyal yang mengandung informasi tentang komposisi, topografi permukaan spesimen, dan karakteristik lainnya seperti konduktivitas listrik.

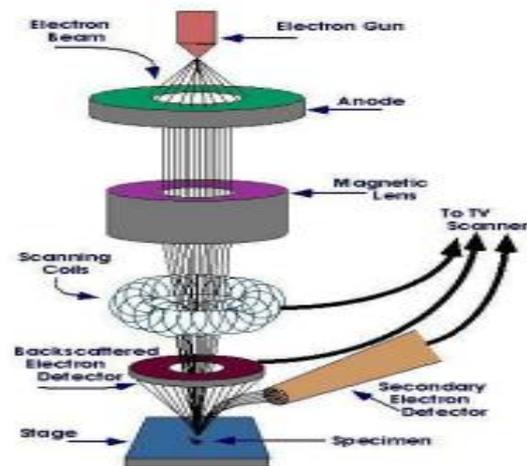
Bagian- bagian utama dari alat mikroskop electron atau *Scanning Electron Microscope* diantaranya yaitu:

1. Pistol elektron, umumnya berbentuk filamen yang terbuat dari unsur yang mudah untuk melepaskan elektron misal tungsten.
2. Lensa untuk elektron, berupa lensa bersifat magnetis karena elektron yang bermuatan negatif dapat dibelokkan oleh medan magnet.
3. Sistem vakum, karena elektron ringan dan sangat kecil, maka akan ada molekul udara yang lain, elektron yang berjalan menuju sasaran akan terpecah oleh tumbukan sebelum mengenai sasaran sehingga menghilangkan molekul udara menjadi sangat penting.

Prinsip kerja yang dimiliki oleh *Scanning Electron Microscope* adalah:

1. Sebuah pistol elektron akan memproduksi sinar elektron dan dipercepat dengan anoda.
2. Lensa magnetik bekerja memfokuskan elektron menuju ke sampel.
3. Sinar elektron yang terfokus berperan sebagai pemindai keseluruhan sampel dengan diarahkan oleh koil pemindai.
4. Saat elektron mengenai sampel maka sampel akan mengeluarkan elektron baru lalu akan diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT) (Wijayanto & A.P, 2014).

Seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 11. Prinsip kerja SEM

Seperti yang telah dijelaskan diatas bahwa, SEM membentuk suatu gambar dengan menembakkan suatu sinar elektron berenergi tinggi, biasanya dengan energi 1 hingga 20 keV, melewati sampel dan kemudian mendeteksi secondary electron dan back scattered electron yang dikeluarkan. Secondary electron berasal pada 5-15 nm dari permukaan sampel dan memberikan informasi topografi dan untuk tingkat yang kurang pada variasi unsur dalam sampel. Back scattered electron terlepas dari daerah sampel yang lebih dalam dan memberikan informasi terutama pada jumlah atom rata-rata dari sampel (Sihite, 2021).

K. Penelitian Relevan

Pada penelitian (Ramli & dkk, 2018) mengenai Struktur Mikro Dan Sifat Magnetik Dari Lapisan Tipis Nanokomposit Fe₃O₄/Pvdv, dilakukan penelitian penumbuhan lapisan tipis nanokomposit Fe₃O₄ 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 Fe₃O₄ dalam matriks PVDF menyebabkan kristalinitas nanokomposit meningkat. Sementara penambahan Fe₃O₄ membantu kristalisasi polimer yang lebih cepat yang ditandai dengan peningkatan ukuran sperulus pada morfologi permukaan. Pada penelitian (Putri, 2019), mengenai pengaruh variasi komposisi terhadap struktur mikro lapisan nanokomposit CoFe₂O₄/PVDV yang disintesis dengan metode spin coating. Pada penelitian ini diaplikasikan pada elektroda superkapasitor sehingga menggunakan Cobalt ferrite (CoFe₂O₄) yang memiliki konduktifitas listrik yang tinggi, dan menggunakan polimer PVDV karena 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 lain (Pratiwi S. , 2020), tentang karakterisasi sifat magnetoresistansi nanokomposit Fe₃O₄/PPY yang disintesis dengan metode sol gel-spin coating. Variasi komposisi Fe₃O₄/PPY yang dilakukan yaitu 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70%, nanokomposit disintesis mulai dengan pembuatan prekursor Fe₃O₄ dengan metode sol gel, pembuatan polimer Fe₃O₄/PPY, lalu penumbuhan lapisan tipis dengan spin coating. Untuk alat karakterisasi digunakan XRF, SEM, FTIR, dan FPP. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini yaitu nilai magnetoresistansi dipengaruhi oleh komposisi dari lapisan tipis, dimana semakin besar komposisi Fe₃O₄ yang digunakan maka ketebalan yang dihasilkan akan semakin kecil, dan sebaliknya semakin besar komposisi matrik PPY yang digunakan maka ketebalan lapisan yang terbentuk akan semakin besar. Semakin kecil lapisan tipis maka semakin besar nilai magnetoresistansi yang dihasilkan.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang Analisis Struktur Mikro Nanokomposit Serbuk $Fe_3O_4/Polypyrrole$ Yang Disintesis Dengan Metode Sol Gel, maka dapat dibuat kesimpulan telah berhasil dilakukan pembuatan nanokomposit $Fe_3O_4/Polypyrrole$ dengan metode sol dengan variasi komposisi Fe_3O_4 dalam *Polypyrrole* yaitu 30%, 40%, 50%, 60%, dan 70% maka didapatkan jika ukuran kristalnya semakin banyak komposisi *Polypyrrole* maka semakin bertambah ukuran kristalnya dan ukuran kristal terkecil didapatkan pada variasi 70%, dikarenakan variasi komposisi Fe_3O_4 sedikit, maka semakin banyak komposisi Fe_3O_4 yang ditambahkan pada nanokomposit $Fe_3O_4/ Polypyrrole$ maka ukuran kristalnya semakin berkurang.

Berdasarkan analisa didapatkan bahwa variasi komposisi $Fe_3O_4/Polypyrrole$ mempengaruhi nilai dari strain mikro yang mana didapatkan bahwa jika ukuran kristal yang semakin besar, maka dislokasi akan semakin mudah terjadi, hal ini menyebabkan nilai kekerasan menurun dan *micro strain* menjadi lebih besar. Namun pada ukuran partikel didapatkan cukup besar dengan satuan nm, ini disebabkan terjadinya homogenitas yang tidak rata pada saat pencampuran $Fe_3O_4/Polypyrrole$ sehingga menyebabkan ukuran partikel cukup besar, dan belum berhasil untuk satuan nm.

B. Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka peneliti menyarankan untuk melakukan proses sol gel dengan teliti agar larutan yang dibuat makin gel sehingga pada saat penumbuhan nanokomposit menghasilkan serbuk yang homogen dan ukuran partikel yang didapatkan mencapai satuan nm.

DAFTAR PUSTAKA

- Aji, P., Moh, F., & Haniffudin, N. (2017). Analisis Morfologi Dan Spektroskopi Infra Merah Serat Bambu Betung (*Dendrocalamus Asper*) Hasil Proses Alkalisasi Sebagai Penguat Komposit Absorpsi Suara. *Jurnal Teknik ITS Vol.6 No.2*, 441-444.
- Allock, H., FW, L., & E, M. J. (2003). *Contemporary Polymer Chemistry*. New Jersey: Pearson Education.
- Ayu, M., & Astuti. (2016). Sintesis Nanopartikel Fe₃O₄ Dari Batuan Besi Menggunakan Asam Laurat Sebagai Zat Aditif. *Jurnal Fisika Unand Vol.5, No 3*, 283-286.
- BD, M. (2009). *A Handbook Of Spectroscopic Data Chemistry*. Jaipur, India: Oxford Book Company.
- Conell, R., & Schwertmann, U. (1996). The Iron Oxides Structure, Properties, Reactions, Occurrence, And User/RM. *U. Schwertmann Iron Oxides*, 28-29.
- Febiyanto. F. 2020. Cara Mudah Menggunakan Aplikasi Image-J untuk Mengukur Diameter suatu Partikel: Pengukuran Secara Manual. Material Science. https://www.academia.edu/42033777/Cara_Mudah_Menggunakan_Aplikasi_Image_J_untuk_Mengukur_Diameter_suatu_Partikel_Pengukuran_Secara_Manual
- Fildzah, R. ., Ramli, & Ratnawulan. (2019). Pengaruh Komposisi CoFe₂O₄ Terhadap Sifat Listrik Nanokomposit CoFe₂O₄/PANI Yang Disintesis Dengan Metoda Sol-Gel. *Pillar Of Physics Vol.12 No.1*, 38-45.
- Fitriana, Vinda Nur. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Superkapasitor Berbasis Nanokomposit TiO₂/C. Semarang. Universitas Negeri Malang
- Hadiyawardan, Agus, R., Nuryadin, B. W., Mikrajuddin, A., & Khairurrijai. (2008). Fabrikasi Material Nanokomposit Superkuat, Ringan, Dan Transparan Menggunakan Metode Simple Mixing. *Jurnal Nanosains Dan Nanoteknologi Vol.1 No.1*, 14-21.
- Helmita. (2018). *Pengaruh Variasi Komposisi NiFe₂O₄ Terhadap Sifat Magnetik Nanokomposit NiFe₂O₄/PANI Yang Disintesis Dengan Metode Sol Gel Spin Coating*. Padang: Skripsi. Universitas Negeri Padang.

- Hosokawa, M. E. (2007). *Nanoparticle Technology Handbook*, 1st Edition. Elsevier, UK.
- Indrayana, I. P. (2019). Review Fe₃O₄ Dari Pasir Besi: Sintesis, Karakterisasi, Dan Fungsionalisasi Hingga Aplikasinya Dalam Bidang Nanoteknologi Maju. *Jurnal UNI ERA VOL.8 NO.2*, 65-75.
- Ismail, & Wijaya, A. S. (2016). Analisa Struktur Mikro Terhadap Paduan AL-CU Hypereutektik. *Mekanika Jurnal Teknik Mesin Vol.2 No.1*, 20-26.
- Jayalakshmi, M. (2008). *Simple Capacitor To Supercapacitors*. Int. J. Electrochem Sci. Vol.3. Hal 1196-1217.
- Khan, U., Khattak, N., Rahman, A., & Khan, F. (2011). Historical Development Of Magnetite Nanoparticles Synthesis. *Jurnal Of Chemical Society Pakistan*, 793-804.
- Kinasih, D. A., & Nurhasanah, I. (2020). ESTIMASI UKURAN KRISTAL DAN PARAMETER ELASTISITAS Nanokristal Zn:Ce Menggunakan Metode Size-Strain Plot. *Berkala Fisika*, 56-62.
- L, A. (2014). *Pelapisan Double Layer Dengan Metode Dallenbach Layer Menggunakan Polianilin Dan Barium M-Heksafarit Sebagai Radar Absorbing Material (RAM)*. Surabaya: Tesis Fisika FMIPA, ITS.
- Lalu A. Didik. 2020. PENENTUAN UKURAN BUTIR KRISTAL CuCr_{0,98}Ni_{0,02}O₂ DENGAN MENGGUNAKAN X-RAY DIFFRACTION (XRD) DAN SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM). Indonesian Physical Review. Hal 6-14
- Luqman, H., Made, D., & Muhammad, N. (2019). Karakterisasi Struktur Material Pasir Bongkahan Galian Golongan C Dengan Menggunakan X-Ray Diffraction (X-RD) Di Kota Palangkaraya. *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains VOL.1 NO.1*, 44-51.
- M. Djamal, Ramli, Wirawan, R., & E. Sanjaya. (2011). Sensor Magnetik GMR Teknologi Dan Aplikasi Pengembangannya. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI*, Jateng, DIY.
- Mardani, Y. (2019). *KAJIAN PRODUKSI NANOPARTIKEL DARI ARANG Akasia Dengan Tumbukan Bola Baja Diameter 3/16 Inchi Dengan Perlakuan Naoh*. Jawa Tengah: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Muthia, E. (2018). *Proses Sol-Gel: Analisis, Fundamental, Dan Aplikasi*. Banjarmasin: Lambung Magkurat University Press.

- Nurhidayah. (2016). *Karakteristik Material Pasir Besi Dengan Menggunakan X-Ray Difraccction (XRD) Di Pantai Marina Kabupaten Bantaeng*. UIN Alauddin Makassar: Skripsi.
- P, S. (2005). *Review Of Radar Absorbing Materials*. Atlantic: Defence Research And Development Canada.
- Pratiwi, P. D. (2016). *Preparasi Nanomaterial Karbon Menggunakan Metode Liquid Mechanical Exfoliation Dibantu Oleh Linear Alkybenzene Sulfonate Dengan Variasi Waktu Pencampuran*. Universitas Negeri Yogyakarta: Skripsi.
- Pratiwi, S. (2020). *KARAKTERISASI SIFAT MAGNETORESISTANSI NANOKOMPOSIT Fe₃O₄/Ppy Yang Disentesis Dengan Metode Sol Gel-Spin Coating*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Pulgentius, A., Rudiyansyah, & Berlin, S. (2013). Sintesis Polimer Konduktif Komposit Polipirol-Selulosa Dalam Larutan FeCl₃.6H₂O. *JKK, VOL.2*, 95-100.
- Putri, D. (2019). *Pengaruh Variasi Komposisi Terhadap Struktur Mikro Lapisan Nanokomposit Cofe₂o₄/PVDF Yang Disentesis Dengan Metode Spin Coating*. Universitas Negeri Padang: Skripsi.
- Qamariyah, S. N. (2011). *Pengembangan Sensor Alkohol Dari Bahan Polipirol Konduktif Dengan Variasi Konsentrasi Dopan Fluoroborat*. Universitas Jember: Skripsi.
- R.Sari., Dan K.Abraha.. *Simulasi Respon Biosensor Berbasis Surface Plasmon Resonance (Spr) Terlapisi Nanopartikel Magnetik (Fe₃o₄) Untuk Deteksi Dna*. Fisika. Ugm. Yogyakarta. 2012.
- Rahmi, D., & Fina, S. (2018). Karakteisasi Film Tipis Bazro₃₅ti_{0,65}O₃ Dengan Suhu Annealing 600C Dan 650c Menggunakan X-Ray Diffraction. *Jurnal UNRI*, 1-5.
- Rahmi, Ramli, & Yenni, D. (2018). Analisis Sifat Listrik Nanokomposit Fe₃O₄/PVDV Yang Disentesis Dengan Metode Sol Gel Untuk Aplikasi Elektroda Batrai Lithium Ion. *Pillar Of Physics Vol.11 No.2*, 73-80.
- Ramli, Yulfriska, N., Darvina, Y., Yulkifli, Sanjaya, E., & Hartono, A. (2018). STRUKTUR MIKRO DAN SIFAT MAGNETIKDARILAPISAN TIPIS NANOKOMPOSIT Fe₃O₄/PVDF. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 143-150.

- Rita, P., Dede, W., Pinaka, E. S., Arisman, & Warsono. (2021). Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetit (Fe_3O_4) Berbasis Pasir Besi Pantai Glagah Kulon Progo Dengan Metode Kopresipitasi Pada Berbagai Variasi Konsentrasi NH_4OH . *J.Sains Dasar*, 57-61.
- Rizki, F., & Gama, W. (2020). Analisis Kekuatan Tarik Dan Struktur Mikro Material Komposit Pada Body Mobil Listrik Prosoe KMHE 2019. *Jurnal Teknik Mesin Vol.9 No.2*, 1-11.
- S, S. (2010). *Pengukuran Sebaran Lapisan Tipis Hasil Spin Coating Dengan Metode Interferometrik*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Satriaji, S., Rizky, D., & Hamidah, H. (2014). Karakterisasi Polimer Konduktif Polipirol Bergengsi Serbuk Ban Untuk Mendeteksi Konduktifitas Minyak. *Jurnal Teknik Kimia USU Vol.3 No.2*, 30-33.
- Satriawan, M., & Ilmiati, I. (2017). Uji FTIR Bioplastik Dari Limbah Ampas Sagu Dengan Penambahan Variasi Konsentrasi Gelatin. *Jurnal Dinamika Vol.8 No.2*, 1-13.
- Shinde, A.B. 2014. Structural And Electrical Properties Of Cobalt Ferrite Nanopartikel. *IJITEE.ISSN:2278-3075. Vol.3 Issue 4*
- Sihite, J. T. (2021). *Sintesis Dan Karakterisasi Fe_3O_4/SiO_2 Pada Penambahan TiO_2 Dengan Metode Kopresipitasi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Simamora, P., Manulang, M., Munthe, J., & Rajagukguk, J. (2018). Sifat Struktur Dan Morfologi Fe_3O_4/PPy . *Jurnal Fisika: Seri Konferensi*, 1-6.
- Sirait, M. (2014). *Pembuatan Dan Karakterisasi Nanokomposit Polyvinyl Alkohol Dengan Partikulat Zns Sebagai Penguat*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sovia, Y., Ramli, Yulkifli, & Yenni, D. (2020). Pengaruh Komposisi $CoFe_2O_4$ Terhadap Sifat Magnetik Komposit $CoFe_2O_4/PVDF$ Yang Disintesis Dengan Metode Sol Gel. *Pillar Of Physics Vol 13*, 11-17.
- Suyono, Y. (2012). Studi Awal Pembuatan Nanokomposit Dengan Filler Organoclay Untuk Kemasan. *BIOPROPAL INDUSTRI Vol.3 No.2*, 63-69.
- Widodo, B. S., Harlia, & Intan, S. (2018). Sintesis Komposit Polimer Konduktif Polipirol (PPy)/Selulosa Bakteri Dengan Metode Spray Dan Rendam. *JKK Vol.7*, 59-65.

- Widodo, B. S., Harlia, &Syahbanu, I. (2018). SINTESIS KOMPOSIT POLIMER KONDUKTIF (Ppy)/Selulosa Bakteri Dengan Metode Spray Dan Rendam. *JKK*, 59-65.
- Widodo, B. S., Harlia, &Syahbanu, I. (2018). SINTESIS KOMPOSIT POLIMER KONDUKTIF Polipirol (Ppy)/Selulosa Bakteri Dengan Metode Spray Dan Rendam. *JKK*, 59-65.
- Wijayanto, S. O., &A.P, B. (2014). Analisis Kegagalan Material Pipa Ferrule Nickell Alloy N06025 Pada Waste Heat Boiler Akibat Suhu Tinggi Berdasarkan Pengujian:Mikrografi Dan Kekerasan. *Jurnal Teknik Mesin S-1 Vol.2*, 33-39.
- Y, G., &F, M. (2008). *Organic And Physical Chemistry Of Polymers*.New Jersey: John Wiley &Sons, Inc., Hoboken.
- Zein, U. A. (2021). *ANALISIS SIFAT PENYERAP GELOMBANG MIKRO OKSIDA GRAFENA YANG DIPREPARASI DARI LIMBAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DENGAN METODE HUMMERS TERMODIFIKASI*.Padang: Skripsi. Universitas Negeri Padang.