

**SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOPARTIKEL ZnFe_2O_4 MELALUI
METODA SOLVOTHERMAL**

SKRIPSI

Diajukan Salah Satu Persyaratan guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)



Oleh
MEGA FILASTRI
NIM. 1201528/2012

PROGRAM STUDI KIMIA
JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2016

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI

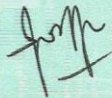
**SINTESIS DAN KARAKTERISASI NANOKOMPOSIT ZnFe_2O_4
MELALUI METODA SOLVOTHERMAL**

Nama : MEGA FILASTRI
NIM : 1201528
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2016

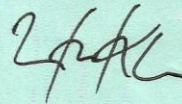
Disetujui oleh

Dosen Pembimbing I



Sherly Kasuma Warda Ningsih, S.Si., M.Si
NIP. 19840914 200812 2004

Dosen Pembimbing II



Umar Kalmar Nizar, S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 197703112003121003

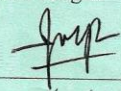
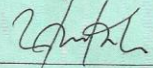
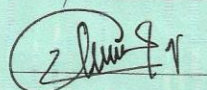
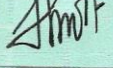
HALAMAN PENGESAHAN LULUS UJIAN SKRIPSI

Dinyatakan lulus setelah dipertahankan didepan Tim Penguji Skripsi
Program Studi Kimia Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Padang

Judul : Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit ZnFe_2O_4 Melalui
Metoda Solvothermal
Nama : MEGA FILASTRI
NIM : 1201528
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Padang, Agustus 2016

Tim Penguji

	Nama	Tanda Tangan
1. Ketua	Sherly Kasuma Warda Ningsih, S.Si., M.Si	
2. Sekretaris	Umar Kalmar Nizar, S.Si., M.Si., Ph.D	
3. Anggota	Ananda Putra, S.Si., M.Si., Ph.D	
4. Anggota	Drs. Bahrizal, M.Si	
5. Anggota	Hary Sanjaya, M.Si	

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan dibawah ini :

Nama : Mega Filastri
TM/NIM : 2012/1201528
Tempat/Tgl Lahir : Koto Gadang/22 Juni 1994
Program Studi : Kimia
Jurusan : Kimia
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Alamat : Koto Gadang, Maninjau, Kecamatan Tanjung Raya,
Kabupaten Agam, Sumatera Barat
No. HP/Telp : 085364289642
Judul Skripsi : Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit ZnFe_2O_4
Melalui Metoda Solvothermal

Dengan ini menyatakan bahwa :

1. Karya tulis/skripsi ini adalah hasil karya saya dan belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik (sarjana) baik di UNP maupun perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis/skripsi ini murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan tim pembimbing.
3. Pada karya tulis/skripsi ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan pada kepustakaan.
4. Karya tulis/skripsi ini sah apabila telah ditandatangani **Asli** oleh tim pembimbing dan tim penguji.

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran di dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima **Sanksi Akademik** berupa pencabutan gelar akademik yang telah diperoleh karena karya tulis/skripsi ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Padang, Agustus 2016

Yang Membuat Pernyataan



Mega Filastri

NIM. 1201528

ABSTRAK

Mega Filastri : Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit ZnFe_2O_4 melalui Metode Solvothermal.

Sintesis nanokomposit ZnFe_2O_4 telah dilakukan melalui metode *solvothermal* dengan zink asetat dihidrat sebagai prekursor dalam pelarut isopropanol dan methanolamin sebagai zat aditif. Pada penelitian ini dilakukan penambahan dopan Fe^{3+} dengan variasi konsentrasi yakni 0,5%, 1%, 3%, 5%, 7% dan 9%. Nanokomposit ZnFe_2O_4 didapatkan dengan pengeringan larutan dalam oven pada suhu $\pm 105^\circ\text{C}$ selanjutnya dikalsinasi pada suhu 500°C selama ± 60 menit. Hasil yang diperoleh adalah nanokomposit ZnFe_2O_4 yang berwarna orange. Hasil ini dikarakterisasi dengan FTIR, XRD dan XRF. Spektra FTIR memperlihatkan bahwa terdapat gugus fungsi ZnFe_2O_4 pada rentang panjang gelombang $800\text{-}1500\text{ cm}^{-1}$. Pola XRD menunjukkan bahwa struktur ZnFe_2O_4 berbentuk *hexagonal wurtzite* dengan ukuran rata-rata $35,8\text{--}98,39\text{ nm}$. Data XRF didapatkan bahwa komposisi Fe sebanyak 15,8% dan Zn sebanyak 75,8%. Hal ini membuktikan bahwa pendopingan telah berhasil dilakukan.

Kata Kunci : Nanokomposit ZnFe_2O_4 , Solvothermal, *Hexagonal Wurtzite*,

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Rabb semesta alam yang senantiasa memberikan kekuatan dan kesabaran kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sintesis dan Karakterisasi ZnFe_2O_4 melalui Metode Solvothermal”**. Shalawat dan salam untuk nabi akhir zaman, nabi Muhammad SAW, Sosok yang mulia, suri teladan dalam segala sisi kehidupan.

Skripsi ini diajukan untuk melengkapi dan memenuhi persyaratan kelulusan dalam rangka untuk memperoleh gelar Sarjana Sains. Penulisan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, petunjuk, arahan, dan masukan yang berharga dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada :

1. Ibu Sherly Kasuma Warda Ningsih, S.Si., M.Si selaku pembimbing I dan Penasehat Akademik serta sebagai penguji.
2. Bapak Umar Kalmar Nizar, M.Si., Ph.D sebagai pembimbing II dan juga sebagai penguji.
3. Bapak Ananda Putra, Ph.D, Bapak Drs. Bahrizal M.Si, dan Bapak Hary Sanjaya, M.Si sebagai ketua prodi kimia sekaligus dosen penguji pada skripsi ini.
4. Bapak Dr. Mawardi, M.Si selaku Ketua Jurusan Kimia Universitas Negeri Padang.
5. Bapak Heru Purwanto & Ibu Dilla Wahyuni, S.Pd.

6. Kedua Orang Tua penulis dan adik-adik tercinta yang telah memberikan semangat serta dorongan kepada penulis.
7. Teman-teman kimia tahun 2012 yang telah memberikan masukan dan dorongan kepada penulis.

Untuk kesempurnaan skripsi ini, maka dengan kerendahan hati penulis mengharapkan masukan dan saran yang membangun dari semua pihak. Atas masukan dan saran yang diberikan penulis haturkan terima kasih.

Padang, Juli 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Perumusan Masalah	5
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Nanokomposit	7
2.2 Zink Oksida	8
2.3 Zink Asetat Dihidrat	12
2.4 Isopropanol.....	13
2.5 Monoethanolamin.....	13
2.6 <i>Doping</i>	15
2.7 <i>Doping</i> dengan Logam Ion Logam Fe ³⁺	16
2.8 <i>Metoda Solvothermal</i>	17
2.9 <i>X-Ray Diffraction (XRD)</i>	18
2.10 <i>Spektrofotometer Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy</i> (FTIR)	21
2.11 <i>X-Ray Fluorescence (XRF)</i>	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Waktu dan Tempat.....	25
3.2 Alat dan Bahan	25

1. Alat	25
2. Bahan	26
3.3 Prosedur Penelitian	26
1. Sintesis Nanokomposit ZnFe_2O_4	26
2. Karakterisasi Nanokomposit ZnFe_2O_4	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Sintesis Nanokomposit ZnFe_2O_4	28
4.2 Karakterisasi Nanokomposit ZnFe_2O_4	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	39
5.1 Kesimpulan	39
5.2 Saran	39
DAFTAR KEPUSTAKAAN	40
LAMPIRAN	45

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Sifat Struktur ZnO <i>Hexagonal Wurtzite</i>	11
3.2. Kode Nanokomposit ZnFe ₂ O ₄ yang Dihasilkan dengan Variasi Dopan	27
4.3. Hasil pengamatan secara visual pembuatan larutan homogen ZnFe ₂ O ₄ pada suhu 50 °C	28
4.4. Hasil Pengamatan secara Visual Pengeringan Sol ZnFe ₂ O ₄	30
4.5. Hasil Pengamatan Kalsinasi Nanokomposit ZnFe ₂ O ₄ pada suhu 500°C ...	31
4.6. Analisis Data FTIR Sampel ZnFe ₂ O ₄	34
4.7. Analisis Data XRD Sampel ZnFe ₂ O ₄ dengan Pemanasan Suhu 50°C (7% Fe).....	36
4.8. Analisis Data XRD sampel ZnFe ₂ O ₄ dengan pemanasan suhu 50°C (9% Fe).	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Struktur Kristal Zink Oksida	9
2.2. Struktur <i>Hexagonal wurtzite</i> ZnO.....	10
2.3. Serbuk Zink Asetat Dihidrat.....	13
2.4. Struktur Senyawa Isopropanol.....	13
2.5. Struktur Senyawa Monoethanolamin	14
2.6. Kristal Atom Dikenai Berkas Sinar-X	19
2.7. Sistem Optik Interferometer Michelson pada Spektrofotometer FTIR.....	22
2.8. Prinsip Kerja XRF	24
4.9. Spektra FTIR Nanokomposit ZnFe ₂ O ₄	33
4.10 Pola XRD Nanokomposit ZnFe ₂ O ₄ (7% Fe)	34
4.11. Pola XRD Nanokomposit ZnFe ₂ O ₄ (9% Fe)	35
4.12. Kurva XRF ZnFe ₂ O ₄	38

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Prosedur Kerja Sintesis ZnFe_2O_4	45
2. Perhitungan Pembuatan Larutan Zink (II) asetat dihidrat dan besi (III) nonahidrat dalam Pelarut Isopropanol.	46
3. Spektra FTIR ZnFe_2O_4	48
4. Data Hasil Pengukuran XRD dan Perhitungan Ukuran Nanokomposit ZnFe_2O_4	51
5. ICSD-ICDD Nanopartikel Undoped ZnO (50°C)	55
6. ICSD-ICDD Nanopartikel Undoped ZnO (50°C)	57
7. ICSD-ICDD Nanokomposit ZnFe_2O_4 (7% Fe) dan ZnFe_2O_4 (9% Fe)	59
8. Dokumentasi Hasil penelitian	63

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Nanopartikel adalah partikel berukuran antara 1-100 nanometer (Shahmiri, 2013). Material yang berukuran nano akan menunjukkan perubahan yang signifikan dalam berbagai sifat seperti sifat mekanik, sifat magnet dan sifat listrik jika dibandingkan dengan material bongkahan dalam jumlah besar (Gnanajobitha., dkk. 2013). Hal ini disebabkan karena nanopartikel memiliki sifat yang unik yaitu permukaannya yang luas terhadap volume, sehingga memberikan sifat yang berbeda dibandingkan dengan bahan asal yang terbuat dari bahan yang sama (Saez & Mason. 2009). Salah satu material yang dikembangkan dalam ukuran nanopartikel adalah zink oksida.

Zink oksida (ZnO) merupakan oksida logam transisi dan salah satu material semikonduktor tipe II-VI (Hutabarat, 2012). ZnO memiliki celah pita 3,37 eV yang cocok untuk panjang gelombang pendek optoelektronik dengan energi eksiton ikatannya sebesar 60 eV. Tingginya energi eksiton ikatan nanopartikel ZnO memungkinkan eksiton efisien dalam suhu kamar (Thakur dkk., 2014). Aktivitas fotokatalisnya tinggi dan ramah lingkungan (Chen dkk., 2012).

ZnO memiliki aplikasi yang sangat luas yakni sebagai sensor gas (Sharma dkk, 2015), alat-alat elektronik (Thakur, dkk., 2013), sel surya (solar sel) (Chen, dkk., 2012), detektor UV, dan katalis (Kumar, dkk.. 2013). Hal ini tidak terlepas dari keunikan sifat yang dimiliki nanopartikel

ZnO. Sifat-sifat dari nanopartikel ZnO adalah memiliki perbedaan stabilitas dan fleksibilitas sesuai dengan strukturnya (Arora, 2014). Kemampuan dalam menyerap foton dari ZnO juga lebih baik dari pada nanopartikel TiO₂ (Ningsih, 2012). Keunikan sifat dan banyaknya aplikasi yang dimiliki oleh nanopartikel ZnO masih menjadi daya tarik bagi para peneliti dalam mensintesis nanopartikel ZnO.

Sifat-sifat nanopartikel ZnO menentukan aplikasinya dalam berbagai bidang. Oleh karena itu perlu upaya dalam meningkatkan sifat yang dimiliki nanopartikel ZnO. Telah banyak teknik yang dilakukan dalam meningkatkan sifat dari nanopartikel ZnO diantaranya, melalui variasi konsentrasi prekursor dan suhu, penambahan surfaktan, coating dan *doping*. Teknik *doping* merupakan teknik yang paling umum dilakukan dalam meningkatkan sifat yang dimiliki nanopartikel ZnO (Chakma, dkk., 2013).

Aneesh, dkk., melaporkan sintesis nanopartikel ZnO dengan Zn(CH₃COO)₂ · 2H₂O sebagai prekursor menggunakan metode *hydrothermal*. Nanopartikel yang dihasilkan memiliki struktur *hexagonal wurtzite* berukuran 7-24 nm sehingga *band gap* nanopartikel ZnO berubah dengan semakin kecilnya ukuran nanopartikel. Selain itu Arora, dkk., melaporkan sintesis nanopartikel ZnO dengan prekursor dan metode yang berbeda namun menghasilkan struktur yang sama yakni *hexagonal wurtzite*, dengan ukuran partikel 50 nm. Singh, dkk., (2012) juga telah melaporkan sintesis nanopartikel ZnO dengan Zn(CH₃COO)₂ · 2H₂O sebagai prekursor

menggunakan metode *solvothermal*. Nanopartikel yang disintesis memiliki ukuran 11 nm dengan *band gap* berkisaran antara 3,3 sampai 3,9 eV .

Salah satu upaya peningkatan sifat nanokomposit adalah dengan menggunakan *doping* ion logam transisi. Kehadiran ion logam transisi menyebabkan elektron lebih lama terperangkap. Hal ini memberikan pengaruh terhadap sifat optis, listrik dan magnet nanokomposit ZnO (Ningsih, 2012). Elilarassi, dkk., (2012) menggunakan ion logam Ni sebagai dopan dalam sintesis nanokomposit ZnO dengan pemilihan $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor. Struktur nanokomposit yang dihasilkan dengan metode sol-gel *hexagonal wurtzite*. Sahare, dkk., (2013) juga telah melaporkan sintesis nanokomposit menggunakan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ sebagai prekursor *doping* menggunakan logam Cu. Nanokomposit yang dihasilkan memiliki struktur *hexagonal wurtzite* berukuran 46 nm. Milenova, dkk., (2013) menggunakan prekursor $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ dengan metode presipitasi yang *didoping* dengan logam Co menghasilkan struktur *wurtzite* berukuran 49 nm.

Berdasarkan beberapa metode dan *doping* yang telah dilaporkan, metode *solvothermal* dipilih sebagai metode untuk sintesis nanokomposit ZnO/Fe. Hal ini disebabkan teknik *solvothermal* memiliki beberapa kelebihan, yaitu dapat dilakukan pada suhu yang rendah dan prosesnya tidak membutuhkan biaya yang mahal. Sintesis dapat dilakukan di bawah pengontrolan konsentrasi prekursor yang digunakan (Singh, dkk., 2012). Ion Logam Fe^{3+} dipilih sebagai dopan dalam sintesis. Hal ini disebabkan

jari-jari ion logam Fe^{3+} lebih kecil dari Zn^{2+} sehingga memungkinkan tergabungnya Fe ke dalam kisi ZnO (M.Ba-Abbad, dkk., 2013).

Berdasarkan uraian di atas maka perlu dilakukan penelitian mengenai sintesis nanokomposit ZnFe_2O_4 dengan judul **“Sintesis dan Karakterisasi Nanokomposit ZnFe_2O_4 melalui Metoda *Solvothermal*”**.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah, dapat diidentifikasi beberapa masalah sebagai berikut :

1. ZnFe_2O_4 diharapkan dapat disintesis dengan metode *solvothermal* (50°C) dan memiliki tingkat kehomogenan yang tinggi menggunakan zink (II) asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dan pelarut isopropanol.
2. Penambahan methanolamin (MEA) sebagai zat aditif yang berfungsi sebagai *dissolution agent* dan *stabilitation agent*.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas maka, batasan masalahnya sebagai berikut :

1. ZnFe_2O_4 disintesis dengan menggunakan prekursor zink (II) asetat dihidrat dan pelarut isopropanol melalui proses *solvothermal* pada suhu 50°C .
2. Penambahan dopant logam Fe dalam sintesis ZnFe_2O_4 dengan komposisi bervariasi yaitu 0,5%, 1%, 3%, 5%, 7%, dan 9%.

3. Nanokomposit ZnFe_2O_4 dikarakterisasi dengan *Spektrofotometer Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy* (FTIR), *X-Ray Diffraction* (XRD), dan *X-Ray Fluorecence* (XRF).

1.4 Perumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah didapatkan rumusan masalah yaitu :

1. Apakah ZnFe_2O_4 yang dihasilkan homogen dengan menggunakan prekursor zink (II) asetat dihidrat, pelarut isopropanol dan zat aditif methanolamin.
2. Bagaimana pengaruh variasi dopant Fe^{3+} terhadap struktur dan ukuran nanokomposit ZnFe_2O_4 yang dihasilkan.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Mempelajari dan memahami sintesis nanokomposit ZnFe_2O_4 dengan menggunakan prekursor zink (II) asetat dihidrat dan pelarut isopropanol dan zat aditif methanolamin.
2. Menentukan pengaruh penambahan dopan terhadap sintesis nanokomposit ZnFe_2O_4 .
3. Menentukan gugus fungsi, struktur, dan komposisi ZnFe_2O_4 menggunakan FTIR, XRD, dan XRF berturut-turut.

1.6 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang ingin didapatkan yaitu :

1. Dapat memberikan informasi tentang pembuatan ZnFe_2O_4 yang disintesis melalui proses *solvothermal*.
2. Dapat memberikan sumber ide dan referensi untuk penelitian selanjutnya serta menambah wawasan mengenai pengembangan riset dalam bidang kimia terutama berbasis nanoteknologi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanokomposit

Material komposit didefinisikan sebagai campuran makroskopik antara serat dan matrik yang bertujuan untuk menghasilkan suatu material yang baru yang memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda dari unsur penyusunnya (Ramadhonal, S. 2010). Umumnya komposit terdiri dari dua jenis fasa, yaitu fasa matriks dan fasa penguat. Matriks pada komposit berfungsi menjaga integritas komposit dan fasa penguat berfungsi sebagai pengisi atau *filler* untuk meningkatkan performa dari komposit.

Sifat komposit bergantung dari konsentrasi, ukuran, bentuk, distribusi, dan arah dari fasa penguat. Penambahan partikel dengan ukuran nano sebagai fasa penguat membentuk material nanokomposit dan memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan tersebut antara lain, meningkatkan sifat mekanik, menaikkan stabilitas termal, meningkatkan sifat listrik dan optik jika dibandingkan dengan komposit konvensional (Nizmah, S.H. 2010).

Nanokomposit merupakan material yang dibuat dengan menyisipkan nanokomposit dalam sebuah sampel material makroskopik. Nanokomposit dihasilkan dari pencampuran dalam sejumlah fase yang berbeda. Pencampuran ini dapat menghasilkan sifat baru yang lebih unggul dibandingkan dengan material asal (Lestari, 2012).

Partikel-partikel nanokomposit tersebut memiliki struktur, komposisi dan sifat yang berbeda-beda. Hal ini memberikan fungsi yang beragam.

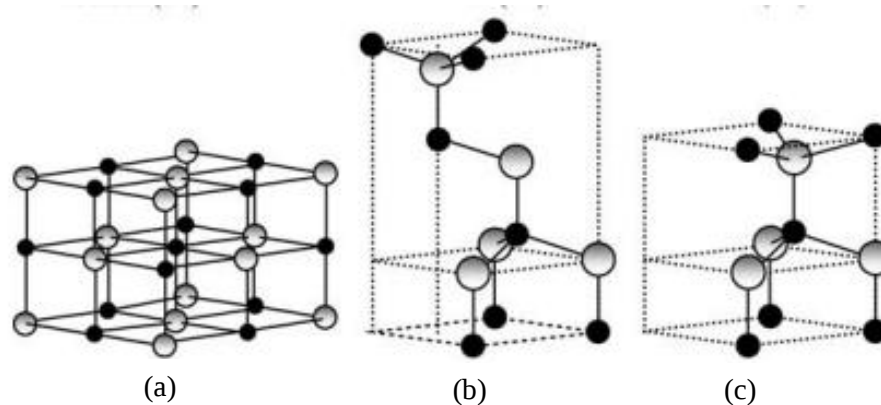
Dengan demikian material tersebut dapat menjadi multiguna. Sehingga pada akhirnya didapatkan material baru yang memiliki beberapa fungsi dalam waktu yang sama. Material tersebut juga dapat digunakan pada beberapa aplikasi. Dari sinilah para ilmuwan mulai memikirkan berbagai cara untuk mendapatkan material nanokomposit, karena material tersebut memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan material konvensional (Sriyanti, 2014).

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. Semakin banyak partikel yang berinteraksi, semakin kuat pula material. Hal inilah yang membuat ikatan antar partikel semakin kuat sehingga sifat mekanik material bertambah. Namun, penambahan partikel-partikel nano tidak selamanya akan meningkatkan sifat mekaniknya. Ada batas tertentu dimana saat dilakukan penambahan, kekuatan material justru semakin berkurang. Namun pada umumnya, material nanokomposit menunjukkan perbedaan sifat mekanik, listrik, optik, elektrokimia, katalis, dan struktur dibandingkan dengan material penyusunnya (Hadiyawarman, 2009).

2.2 Zink Oksida

Zink oksida merupakan senyawa anorganik dengan rumus ZnO . ZnO tergolong material semikonduktor tipe-n. Besarnya energi eksitasi ikat (60 MeV) pada kristal ZnO dapat membuat emisi elektron efisien pada suhu

kamar dan pada rentang panjang gelombang ultraviolet (< 400 nm). Eksitasi elektron dapat dilakukan di rentang panjang gelombang cahaya tampak (400–800 nm) dan dapat dibuat sangat konduktif dengan adanya penambahan material *doping* (Wang, dkk., 2004).



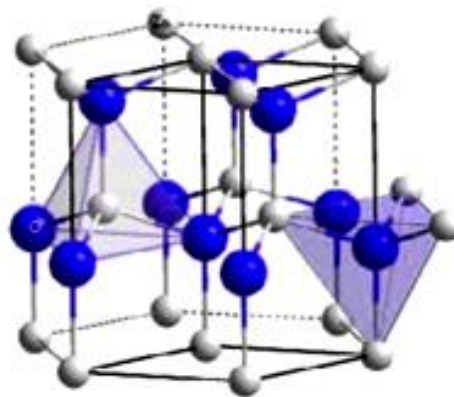
Gambar 2.1. Struktur Kristal ZnO (a). *Rock Salt*, (b). *Zinc Blende*, (c). *Hexagonal Wurtzite* (Morkoc dan Özgür, 2009)

Nanopartikel ZnO memiliki tiga bentuk kristal seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1. yaitu *rock salt*, *cubic zinc blende*, dan *hexagonal wurtzite*. Struktur yang paling stabil pada temperatur ruang adalah *hexagonal wurtzite*, sementara struktur *zinc blende* stabil jika ditumbuhkan dalam struktur kubik, dan *rock salt* stabil jika dalam tekanan tinggi (10 Gpa). Kestabilan struktur *hexagonal* dalam temperatur ruang membuat struktur ini banyak digunakan dalam pengaplikasian ZnO.

Bentuk dominan struktur kristal ZnO adalah *wurtzite hexagonal* karena struktur ini adalah yang paling stabil pada suhu kamar dan tekanan. Bentuk *hexagonal wurtzite* memiliki dua sub kisi yaitu Zn^{+2} dan O^{-2} yang mana bergantian membentuk bidang dasar. Bilangan koordinasi seng

berpindah ke bilangan koordinasi oksigen dengan dikelilingi oleh empat kation dan empat anion di sebuah sudut tetrahedron dan sebaliknya.

Susunan atom tetrahedral dalam struktur *wurtzite* adalah *noncentrosymmetric* yang menimbulkan momen dipole. Ini adalah karakteristik dari ZnO *wurtzite* yakni menimbulkan beberapa sifat yang unik seperti piezoelektrik (Surono, 2014).



Gambar 2.2. Struktur *Hexagonal wurtzite* ZnO (biru= ion O⁻, putih=Zn²⁺) (Zaman Saima, 2012)

Konstanta kisi heksagonal ZnO adalah $a = 3,25 \text{ \AA}$ dan $c = 5,2 \text{ \AA}$. Rasio c/a adalah sekitar 1,60 yang mana dekat dengan nilai yang ideal untuk heksagonal, $c/a = 1,633$. Kristal ZnO menunjukkan beberapa tipe orientasi permukaan yang khas. Permukaan yang paling penting adalah bidang dasar, bidang prisma permukaan piramida kristal. Ion seng terletak di alternative bidang dasar untuk ion ion oksigen. Untuk mencapai transparansi dan konduktivitas, pertumbuhan kristal yang baik terletak pada bidang (002) dimana atom yang memiliki kerapatan yang tinggi (Sutanto, 2015).

Tabel 2.1. Sifat ZnO *Hexagonal Wurtzite* (Zaman Saima, 2012)

Sifat	Nilai
Parameter kisi	$a=b= 3,25 \text{ \AA}$, $c= 5,21 \text{ \AA}$
Struktur Kristal stabil	Wurtzite
Densitas	5.606 gm/cm^3
Titik leleh	$1975 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Energy band gap	$3,4 \text{ eV}$
Energy eksiton ikatan	60 meV
Massa efektif elektron/hole	$0.24 m_0/0.59 m_0$
Mobilitas elektron	$100\text{-}200 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
Mobilitas hole	$5\text{-}50 \text{ cm}^2/\text{Vs}$

ZnO dapat membentuk struktur *rocksalt* pada tekanan yang relative tinggi. Struktur *rocksalt* berbentuk material dimana jumlah koordinasi untuk kation dan anionnya adalah enam. Sebuah sel unit untuk struktur *rocksalt* dapat dimodelkan dengan susunan anion yang berpusat pada permukaan dan tempat pertemuan unit sudut kubik dengan satu kation terletak di pusat kubus dan satu kubik dengan satu kation terletak di pusat di pusat kubus dan satu berpusat pada masing-masing dari dua belas kubus tepi.

Struktur *zinc blande* dapat terbentuk ketika kristal tumbuh pada substrat kubik. Seperti struktur *rocksalt*, *zinc blande* adalah struktur kristal kubik namun jumlah bilangan koordinasinya ada empat. Struktur ini ditandai dengan dua struktur kubik yang saling berpusat pada permukaan yang dibentuk oleh anion dan kation yang saling bergantian. Sebuah sel unit untuk struktur ini dapat dimodelkan dengan anion menempati pusat

permukaan dan menempati sudut kubus dan kation menempati setengah dari posisi tetrahedral (Callister, 2007).

ZnO Berupa serbuk bewarna putih jika dingin dan kuning jika panas, pahit dan tidak berbau hampir tidak larut dalam air (Arsyad, 2001). ZnO sering disebut semikonduktor tipe II-VI. Hal ini disebabkan unsur Zn dan O masing-masing berada pada periode 2 dan 6 dalam sistem periodik. Semikonduktor ini memiliki beberapa sifat yang menguntungkan; transparansi yang baik, mobilitas elektron yang tinggi, celah pita yang lebar. Karna memiliki celah pita yang lebar maka ZnO transparan terhadap sinar tampak (400-700) (Jayanta, 2008).

Nanopartikel ZnO merupakan material kristal yang mempunyai sifat-sifat optik dan kelistrikan yang baik sehingga memiliki banyak aplikasi dalam berbagai bidang (Ardiansyah, 2014). Berkaitan dengan menariknya sifat-sifatnya sebagai semikonduktor, beragam aplikasi dari ZnO telah dikembangkan dalam beberapa tahun terakhir ini, misalnya dalam bidang optoelektronika, spintronik, dan aktifitas fotokatalitik (Montja, 2012). Aplikasi lain dari Nanaopartikel ZnO ini diantaranya adalah sebagai katalis (Askarinejad, 2011), sensor gas, sel surya (Da Deng, 2010), dan varistor (shriwas s ashtaputre, 2005).

2.3 Zink Asetat Dihidrat

Zink asetat dihidrat memiliki struktur molekul $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{OO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan berat molekul 219,5. $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{OO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ berbentuk bubuk, bewarna putih, berbau asetat, dan memiliki pH 6-7. Memiliki titik didih 237°C ,

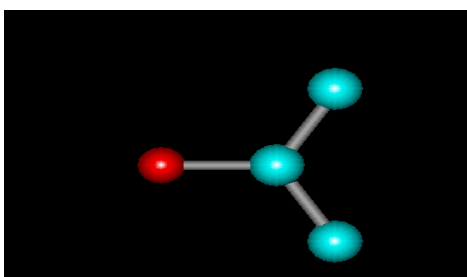
massa jenis $1,74 \text{ g/cm}^3$ dan memiliki kemampuan untuk larut dalam air 430 g/L pada suhu 20°C (Merck. 2010).



Gambar 2.3. Serbuk Zink Asetat Dihidrat (Wikipedia, 2015)

2.4 Isopropanol

Isopropanol merupakan cairan tidak berwarna. Pada suhu 25°C memiliki bau yang lembut dan rasanya sedikit pahit. Titik didih $82,4^\circ\text{C}$, titik leleh 90°C , kerapatan $0,7856 \text{ g/cm}^3$ (Merck). Berat molekul $60,09 \text{ g/mol}$ dan pH netral pada suhu 20°C . Isopropanol larut dalam air dan pelarut organik, namun tidak dapat larut dalam larutan garam. Isopropanol sangat mudah terbakar. Isopropanol digunakan sebagai pelarut dan dalam pembuatan senyawa kimia.

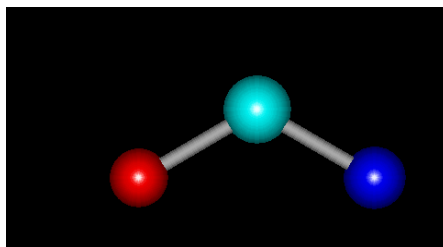


Gambar 2.4. Struktur Senyawa Isopropanol

2.5 Monoethanolamin

Monoethanolamin (MEA) memiliki rumus kimia $\text{C}_2\text{H}_7\text{NO}$ dengan massa molekulnya sebesar $61,08 \text{ g/mol}$. MEA memiliki bau seperti amina,

titik lelehnya 4°C dan titik didihnya 166,8°C serta massa jenisnya 1,0155 g/cm³ (BASF, 2015).



Gambar 2.5. Struktur Senyawa Monoethanolamin

MEA merupakan cairan yang bening, kental dan tidak berwarna. MEA termasuk ke dalam senyawa organik yang disebut ethanolamin. Ethanolamin memiliki sifat seperti amin dan alkohol. MEA digunakan sebagai senyawa intermediate dalam proses manufaktur kosmetik, *surface activ agent*, *emulsifier*, farmasi dan plastik. Selain itu MEA juga digunakan untuk absorpsi dan penghilangan gas H₂S dan CO₂ dari kilang minyak dan gas alam.

MEA merupakan larutan penting dalam proses menghilangkan CO₂ karena larutan MEA sangat mudah bereaksi dengan CO₂ akibat adanya sifat amin primer di dalamnya. MEA larut dalam air dan terdegradasi secara alami dengan cepat. Namun, pelepasan MEA dalam jumlah yang besar ke dalam pengolahan fasilitas pengolahan air dapat menghasilkan penurunan kualitas limbah dan meracuni zat aktif yang digunakan dalam pengolahan limbah tersebut.

MEA memiliki stabilitas suhu yang baik, tetapi dapat bereaksi secara eksotermal dengan banyak bahan lain seperti zat pengoksidasi kuat, asam

dan basa kuat, aldehyd, logam besi dan seng. MEA juga dapat membentuk kompleks kristal yang tidak stabil tris (ethanolamino)-iron ketika terjadi kontak dengan besi atau baja. Secara umum, MEA digunakan pada konsentrasi 15-22 %wt dalam air. Jika dibandingkan dengan amine lain, MEA bersifat lebih korosif (PubChem database, 2015).

2.6 *Doping*

Doping adalah salah satu teknik yang digunakan untuk menambahkan sejumlah kecil ion pengotor ke dalam struktur kristal semikonduktor. Tujuan pen-*dopingan* adalah untuk mengoptimalkan sifat suatu material. Diperkirakan bahwa sekitar 46% energi matahari berada dalam bentuk cahaya tampak. Sehingga akan lebih ekonomis ketika memanfaatkan cahaya tampak dibandingkan harus mengolah cahaya UV dari matahari. Namun, nanopartikel zink oksida memiliki beberapa kelemahan seperti luas permukaan yang kecil atau ukuran partikel yang besar dan energi celah pita yang kurang sesuai ($E_g = 3,4$ eV) apabila diaplikasikan pada cahaya tampak. Hal tersebut diakibatkan oleh karena cahaya tampak memiliki panjang gelombang antara 380-800 nm.

Apabila diaplikasikan pada semikonduktor maka cahaya tampak tidak akan mampu mengeksitasi elektron karena energinya yang cukup rendah. Untuk mengatasi hal tersebut dapat dilakukan dengan rekayasa terhadap energi celah pita, yakni dengan menambahkan ion pengotor ke dalam semikonduktor tersebut. Teknik ini dapat digunakan untuk menghindari rekombinasi muatan *photohole* dan *photoelectron* (XU, Tian-Hua, dkk.,

2006). Tujuan dari *pendopingan* adalah untuk mengoptimalkan sifat dari struktur material Sehingga akan didapatkan reaksi fotokatalitik yang besar (Hutabarat, 2012).

2.7 *Doping Dengan Ion Logam Fe³⁺*

Aktivitas fotokatalisis berhubungan dengan lama waktu terperangkapnya elektron. Semakin lama ion terperangkap maka akan meningkatkan aktivitas fotokatalisis. Kehadiran ion logam akan membuat elektron terperangkap lebih lama dan juga akan mempengaruhi laju rekombinasi serta laju transfer elektron pada antar muka. Sehingga kehadiran ion logam *doping* ini akan meningkatkan aktivitas fotokatalisis dari material semikonduktor (Ningsih, 2012).

Doping dengan menggunakan logam-logam 3d akan menurunkan energi celah pita (E_g) dari semikonduktor dengan membentuk celah pita antar gelombang (*interband-gap level*) yang terlokalisasi. Nanostruktur dengan *doping* logam transisi adalah salah satu metode yang sangat efektif untuk menyelesaikan permasalahan akan energi tingkat permukaan ZnO. Dimana dapat direayasa dengan melakukan perubahan konsentrasi material yang di-*doping*, sehingga sifat-sifat fisik, terutama sifat optik dapat ditingkatkan (Hutabarat, 2012). Pemilihan logam Fe^{3+} diharapkan mampu meningkatkan sifat yang dimiliki oleh ZnO. Hal ini disebabkan ion Fe^{3+} memiliki jari-jari ion yang lebih kecil dari jari-jari ion Zn^{2+} yaitu (0.067 nm) dan (0.083 nm) secara berturut-turut (M. Muneer Ba-Abbad, dkk., 2013).

2.8 Metode *Solvothermal*

Proses *solvothermal* didefinisikan sebagai suatu reaksi kimia yang terjadi dalam sistem tertutup yang mengakibatkan terjadinya endapan atau reaksi antara prekursor dan pelarut pada suhu yang lebih tinggi dari pelarutnya (Gerard, 2010). Sehingga proses *solvothermal* melibatkan tekanan tinggi. Suhu yang dipilih dalam proses *solvothermal* ini tergantung pada kebutuhan reaksi untuk mendapatkan material yang diinginkan (Gerard, 2008).

1. Parameter Proses *Solvothermal*

Parameter yang terdapat dalam proses *solvothermal* terbagi atas dua yaitu: faktor kimia dan faktor termodinamika.

a) Parameter Kimia

Parameter kimia merujuk pada komposisi kimia prekursor dan pemilihan pelarut. Ketepatan dalam pemilihan prekursor menjadi parameter dalam memperoleh material yang diinginkan. Sehingga konsentrasi prekursor menjadi faktor penting dalam pengontrolan bentuk nanokristal yang dihasilkan melalui proses *solvothermal*. Demikian juga interaksi antara reagen dan pelarut memainkan peranan penting dalam reaksi *solvothermal*.

Pemilihan pelarut dapat dilakukan dengan melakukan kontrol mekanisme kimia dalam memperoleh target yang diinginkan. Perbandingan pelarut non polar seperti benzen, etilendiamin, dan sebagainya, dengan pelarut non polar, dimana pelarut non polar

memiliki sifat yang dapat meningkatkan daya larut reagen (Gerard dkk., 2008).

Dalam proses *solvothermal* perbedaan sifat kimia dan fisika pelarut juga dapat mempengaruhi ukuran dan morfologi nanokomposit yang akan dihasilkan. Zat aditif yang digunakan dalam proses *solvothermal* juga dapat mempengaruhi morfologi nanokomposit (Gerard dkk., 2010)

b) Parameter termodinamika

Parameter ini meliputi suhu, tekanan dan waktu reaksi. Suhu yang sering digunakan dalam reaksi *solvothermal* mencapai $<400^{\circ}\text{C}$. Suhu dan tekanan dapat merubah daya larut. Sehingga peningkatan parameter menyebabkan peningkatan konsentrasi prekursor dalam pelarut yang akan mempengaruhi dalam proses preparasi nanopartikel.

2. Aplikasi Proses *Solvothermal*

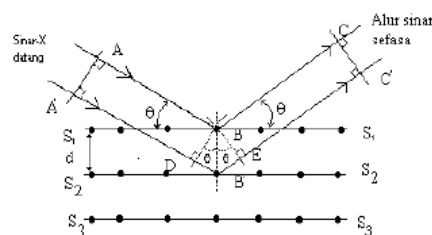
Reaksi *solvohermal* telah dikembangkan dalam beberapa bidang ilmu. Diantaranya penggunaan reaksi *solvothermal* dalam sintesis material baru. Tujuannya adalah untuk mendapatkan struktur dan sifat yang lebih spesifik. Pertumbuhan kristal dalam suhu rendah akan diperoleh ukuran dan morfologi yang baik bagi nanokristal tersebut.

2.9 *X-Ray Diffraction (XRD)*

X-Ray Diffraction atau XRD merupakan salah satu alat yang digunakan untuk karakterisasi material. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan

parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Dasar dari prinsip pendifraksian sinar X yaitu difraksi sinar-X terjadi pada hamburan elastis foton-foton sinar-X oleh atom dalam sebuah kisi periodik. Berkas sinar-X tersebut, apabila melalui atom yang tersusun secara teratur seperti pada kristal, maka akan terjadi interferensi konstruktif (saling memperkuat) karena fasanya sama. Berkas inilah yang disebut sebagai berkas difraksi.

Sinar-X merupakan gelombang elektromagnetik, akan menunjukkan gejala difraksi bila sinar tersebut jatuh pada jarak antara dua atomnya kira-kira sama dengan panjang gelombang sinar tersebut. Bila berkas elektron menjeratui suatu kristal, maka sinar-X yang terbentuk akan dihamburkan. Panjang gelombang hamburan ini keluar dari seluruh atom-atom yang berbeda menyebabkan intensitas berbeda (Silibia, 1996).



Gambar 2.6. Kristal Atom Dikenai Berkas Sinar-X

Dasar dari penggunaan difraksi sinar-X untuk mempelajari kisi kristal adalah berdasarkan persamaan Bragg:

$$n.\lambda = 2.d.\sin \theta$$

dimana: n = orde reaksi (bilangan bulat)

λ = panjang gelombang sinar yang sefasa

d = jarak antara bidang *Bragg* yang dipilih sebagai bidang hambur

θ = sudut datang terhadap bidang *Bragg*

Difraksi sinar-X dapat memberikan informasi tentang struktur polimer, termasuk tentang keadaan amorf dan kristalin polimer. Polimer dapat mengandung daerah kristalin yang secara acak bercampur dengan daerah amorf. Difraktogram sinar-X polimer kristalin menghasilkan puncak-puncak yang tajam, sedangkan polimer amorf cenderung menghasilkan puncak yang melebar. Pola hamburan sinar-X juga dapat memberikan informasi tentang konfigurasi rantai dalam kristalit, perkiraan ukuran kristalit, dan perbandingan daerah kristalin dengan daerah amorf (derajat kristalinitas) dalam sampel polimer (Rohaeti, 2009).

Beberapa kegunaan dari difraksi sinar-X adalah (Weller, 1994):

1. Mengetahui struktur kristal
2. Mendapatkan informasi, komposisi dan keadaan material polikristalin.
3. Dapat menentukan ukuran kristalin, derajat kristalinitas dan konstanta kisi kristalografi secara tepat.

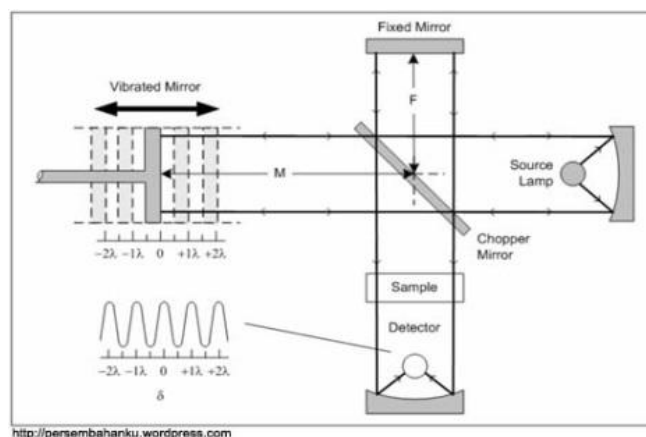
Dari hasil XRD ini dapat dilakukan karakterisasi secara kualitatif dan kuantitatif. Secara kualitatif yaitu untuk mengetahui jenis kristal dengan cara membandingkan puncak-puncak difraktogram dengan data difraktogram standar. Sedangkan secara kuantitatif untuk mengetahui persen kristalinitas dengan cara membandingkan puncak tertinggi difraktogram

sampel terhadap difraktogram standar pada nilai d (jarak antar unit sel) yang sama (Nakagaito, 2005).

2.10 *Spektrofotometer Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy (FTIR)*

Fourier Transform-Infra Red Spectroscopy atau yang dikenal dengan FT-IR merupakan suatu teknik yang digunakan untuk menganalisa gugus fungsi dari senyawa-senyawa organik, polimer, coating atau pelapisan, material semikonduktor, sampel biologi, senyawa-senyawa anorganik dan mineral. FT-IR mampu menganalisa suatu material baik secara keseluruhan, lapisan tipis, cairan, padatan, pasta, serbuk, serat, dan bentuk yang lainnya dari suatu material. Spektroskopi FT-IR tidak hanya mempunyai kemampuan untuk analisa kualitatif, namun juga bisa untuk analisa kuantitatif.

Sistem optik Spektrofotometer FTIR seperti pada gambar dibawah ini dilengkapi dengan cermin yang bergerak tegak lurus dan cermin yang diam. Dengan demikian radiasi infra merah akan menimbulkan perbedaan jarak yang ditempuh menuju cermin yang bergerak (M) dan jarak cermin yang diam (F). Perbedaan jarak tempuh radiasi tersebut adalah 2 yang selanjutnya disebut sebagai retardasi (δ). Hubungan antara intensitas radiasi IR yang diterima detektor terhadap retardasi disebut sebagai interferogram. Sedangkan sistem optik dari Spektrofotometer IR yang didasarkan atas bekerjanya interferometer disebut sebagai sistem optik *Fourier Transform Infra Red*.



Gambar 2.7. Sistem Optik Interferometer Michelson pada Spektrofotometer FTIR.

Secara keseluruhan, analisis menggunakan Spektrofotometer FTIR memiliki dua kelebihan utama dibandingkan metode konvensional lainnya, yaitu:

1. Dapat digunakan pada semua frekwensi dari sumber cahaya secara simultan sehingga analisis dapat dilakukan lebih cepat dari pada menggunakan cara sekuensial atau scanning.
2. Sensitifitas dari metode Spektrofotometri FTIR lebih besar dari pada cara dispersi, sebab radiasi yang masuk ke sistem detektor lebih banyak karena tanpa harus melalui celah (*slitless*).

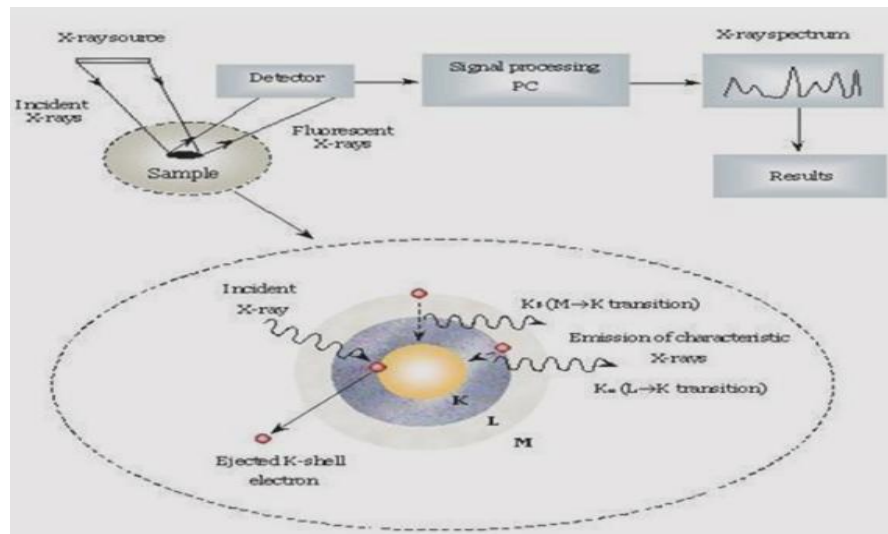
2.11 X-Ray Fluorescence (XRF)

Sinar-X Fluorescence atau *X-Ray Fluorescence* (XRF) digunakan untuk analisis kualitatif dari unsur-unsur mayor dan minor dengan nomor atom lebih besar dari natrium dalam suatu sampel. Selain analisis kualitatif, XRF juga dapat digunakan untuk analisis kuantitatif, yaitu untuk mendeteksi kelimpahan unsur-unsur yang hadir dalam sampel (Istighfarini, 2010).

XRF merupakan salah satu metode analisis yang tidak merusak sampel, dapat digunakan untuk analisis unsur dalam bahan secara kualitatif dan kuantitatif. Hasil analisis kuantitatif ditunjukkan oleh puncak spektrum yang mewakili jenis unsur sesuai dengan jenis sinar-X karakteristiknya, sedangkan analisis kuantitatif diperoleh dengan cara membandingkan intensitas sampel dengan standar.

Prinsip pengukuran XRF berdasarkan terjadinya proses eksitasi elektron pada kulit atom bagian dalam. Ketika atom suatu unsur tersebut dikenai sinar-X, kekosongan elektron tersebut akan diisi oleh elektron bagian luar dengan melepaskan energi yang spesifik untuk setiap unsur. Elektron pada kulit yang lebih tinggi akan mengisi kekosongan tersebut. Perbedaan energi dari dua kulit itu muncul sebagai sinar-X yang dipancarkan oleh atom. Spektrum sinar-X selama proses tersebut menunjukkan puncak yang karakteristik, dimana setiap unsur akan menunjukkan puncak yang karakteristik yang merupakan landasan dari uji kualitatif untuk unsur-unsur yang ada.

Hasil XRF berupa spektrum hubungan energi eksitasi dan intensitas sinar-X energi eksitasi menunjukkan unsur penyusun sampel dan intensitas menunjukkan nilai kualitas dari unsur tersebut. Semakin intensitasnya maka semakin tinggi pula presentase unsur tersebut dalam sampel. Metode XRF akan memberikan nilai intensitas secara total dari unsur tertentu dalam semua bentuk senyawa (Khusna, 2012).



Gambar 2.8. Prinsip Kerja XRF (Khusna, 2012)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nanokomposit ZnFe_2O_4 dapat disintesis menggunakan proses *solvothermal* pada suhu 50°C dengan prekursor zink (II) asetat dihidrat. Isopropanol sebagai pelarut dan monoethanolamin sebagai zat aditif.
2. Penambahan dopant berpengaruh terhadap ukuran rata-rata ZnFe_2O_4 .
3. Struktur nanokomposit ZnFe_2O_4 adalah *hexagonal wurtzite* yang diperoleh dari data XRD. Analisa spektra FTIR menunjukkan gugus fungsi ZnFe_2O_4 terdapat pada daerah panjang gelombang $800\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$. Analisis XRF nanokomposit ZnFe_2O_4 menunjukkan komposisi Fe 15,8% dan Zn 75,1%.

5.2 Saran

Sintesis nanokomposit ZnFe_2O_4 telah berhasil dilakukan dengan menggunakan metode *solvothermal*. Proses *pendopingan* dalam penelitian ini telah berhasil dilakukan. Diharapkan kepada peneliti selanjutnya agar dapat mengaplikasikannya sebagai katalis yaitu degradasi zat warna.

KEPUSTAKAAN

- Aneesh, P.M., K.A. Vanaj., dan M.K. Jayaraj. 2007. Synthesis of ZnO Nanoparticles by Hydrothermal Method. *Proc. of. SPIE*. Vol 6639.
- Ardiansyah Nur. dan Evi Maryanti. 2014 “Pengaruh Penambahan Sulfur Alam Pada Sintesis Nanokomposit ZnO Berbasis *Capping agent* Ekstrak Air Daging Buah *Sapindus rarak* Dc Dengan Metode Sonokimia”. *Jurnal Gradien*. Vol.10 No. 2. Ha: 1025-1028.
- Arora, Kumar Avnish., Sarita, D., Vivek S. J., Joginder, S., Mayank K., dan Vishu, D.G. 2014. Synthesis and Caracterization of ZnO Nanoparticles. *Oriental Jornal of Chemistry*. 30(4), 1671–1679.
- Callister, William D. 2007. *Materials Science and Engineering*. Amerika: Jhon Willey & Sins, Inc.
- Chakma, S., Jaykumar B. Bhasarkar., dan Vijayanand S. Moholkar. 2013. Preparation. Characterization and Application of Sonochemically Doped Fe^{+3} Into ZnO Nanoparticles. *International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)* ISSN: 2321-7308. 02(8)
- Chan Oeurn Chey. 2015. Synthesis of ZnO and Transition Metals Doped ZnO Nanostructures. their Characterization and Sensing Applications. Sweden. Linköping University department of Science and Technology
- Chen, C.S., X.D. Xie., T.G. Liu., L.W. Lin., J.C. Kuang., X.L. Xie., L.J. Lu., dan S.Y. Cao. 2012. Multi-Walled Carbon Nanotubes Supported Cu-Doped ZnO Nanoparticles and their Optical Property. *J Nanopart Res* 14:817
- Christina, Maria., Mu’nisatun S., Rani Saptaji., dan djoko Marjanto. 2007. Studi Pendahuluan Mengenai Degradasi Zat Warna Azo (*Methylene blue*) Dalam Pelarut Air Menggunakan Mesin Berkas Elektron. *JFN*: Vol.1 No.1. ISSN 1978-8738
- Da Deng. Scot T. Martin. dan Shiram Ramanathan. 2010. Synthesis and Characterization of One-Dimensional Flat ZnO Nanotower Arrays as High-Efficiency Adsorbents for the Photocatalytic Remediation of Water Pollutants. *The Royal Society of Chemistry*. (2). Hal: 2685-2691
- Dhamayanti Yuni. Karna Wijaya dan Iqmal Tahir. 2005. Fotodegradasi Zat Warna *Methylene blue* Menggunakan Fe_2O_3 -Montmorillonit dan Sinar Ultraviolet. *Proseding Seminar Nasional Dies Ke 50 FMIPA UGM*.