

TESIS

**PENGARUH PENAMBAHAN CO-DOPING *COBALT* (Co), *NICKEL* (Ni)
TERHADAP SIFAT STRUKTUR DAN OPTIK NANOPARTIKEL
ZINC OXIDE (ZnO)**

Disusun dan diajukan oleh

FITRIAH MUJTAHID

H032201001



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**PENGARUH PENAMBAHAN CO-DOPING *COBALT* (Co), *NICKEL* (Ni)
TERHADAP SIFAT STRUKTUR DAN OPTIK NANOPARTIKEL
ZINC OXIDE (ZnO)**

TESIS

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Sains
pada Program Studi Magister Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
UNIVERSITAS HASANUDDIN
Universitas Hasanuddin*

FITRIAH MUJTAHID

H032201001

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

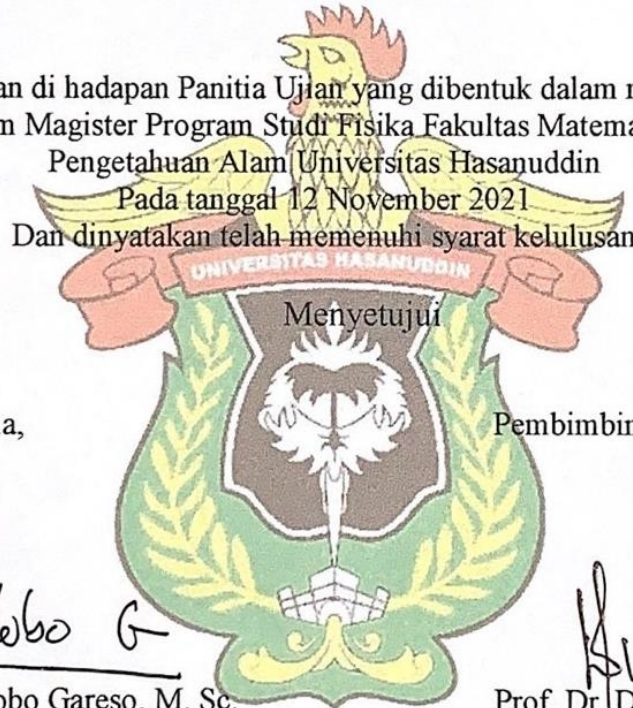
**PENGARUH PENAMBAHAN CO-DOPING *COBALT* (Co), *NICKEL* (Ni)
TERHADAP SIFAT STRUKTUR DAN OPTIK NANOPARTIKEL
ZINC OXIDE (ZnO)**

Disusun dan diajukan oleh

FITRIAH MUJTAHID

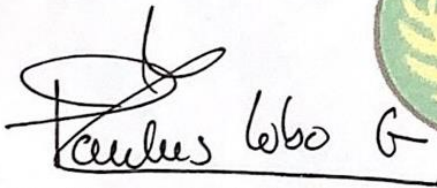
H032201005

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 12 November 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

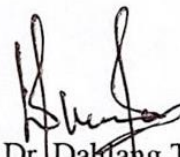


Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,



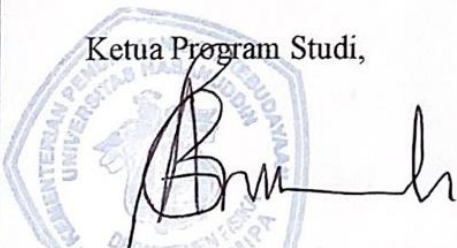
Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M. Sc.
NIP. 19650305 199103 1 008



Prof. Dr. Dahliang Tahir, M.Si
NIP. 19750907 200003 1 006

Ketua Program Studi,

Dekan Fakultas,



Dr. Ir. Bidayatul Armynah, MT
NIP. 19630830 18903 2 001



Dr. Eng. Amiruddin, M.Si
NIP. 19720515 199702 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fitriah Mujtahid
NIM : H032201001
Program Studi : Fisika
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**PENGARUH PENAMBAHAN CO-DOPING *COBALT* (Co), *NICKEL* (Ni)
TERHADAP SIFAT STRUKTUR DAN OPTIK NANOPARTIKEL
ZINC OXIDE (ZnO)**

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut,

Makassar, 12 November 2021

Yang Menyatakan



Fitriah Mujtahid

Abstrak

Penelitian ini mengamati pengaruh penambahan doping Cobalt (Co) dan Nikel (Ni) terhadap karakteristik nanopartikel Zink Oxide (ZnO) dalam mendegradasi zat warna fotokatalitik Rhodamin B (RhB). $ZnO_{(0,95)}Co_{(0,05-x)}Ni_{(x)}$ dengan variasi konsentrasi $x = 0\%$, 1% , 2% , $2,5\%$, 3% , 4% dan 5% dibuat dengan metode kopresipitasi menggunakan asam oksalat dan amonium hidroksida. Pengaruh penambahan doping Co dan Ni terhadap ZnO dianalisis menggunakan XRD, FTIR, dan Uv-Vis. Hasil analisis XRD mengkonfirmasi tidak adanya puncak pengotor tambahan dalam nanopartikel ZnO. Doping Co dan Ni mempengaruhi struktur kisi Zn. Analisis ukuran kristal menggunakan metode Debye Scherrer, UDM, dan Halder-Wagner diperoleh ukuran kristal yang bervariasi dengan variasi konsentrasi Co dan Ni berkisar antara 10-25 nm. Degradasi larutan RhB dibuktikan dengan penurunan puncak serapan dengan bertambahnya waktu penyinaran (0-45 menit). $ZnO_{(0,95)}Co_{(0,05-x)}Ni_{(x)}$ dengan konsentrasi $x = 2,5\%$ diperoleh peningkatan efisiensi degradasi RhB, dengan aktivitas fotokatalitik sebesar 96,9%. Hasil ini lebih baik daripada ZnO murni.

Kata kunci: ZnO, Co, Ni, co-doping, Fotokatalitik.

Abstract

This study observed the effect of the addition of Cobalt (Co) and Nickel (Ni) doping on the characteristics of Zinc Oxide (ZnO) nanoparticles in degrading photocatalytic dye Rhodamine B (RhB). $\text{ZnO}_{(0.95)}\text{Co}_{(0.05-x)}\text{Ni}_{(x)}$ with various concentrations of $x = 0\%$, 1% , 2% , 2.5% , 3% , 4% and 5% was prepared by coprecipitation method using oxalic acid and ammonium hydroxide. The effect of the addition of Co and Ni doping on ZnO was analyzed using XRD, FTIR, and Uv-Vis. The results of the XRD analysis confirmed the absence of additional impurity peaks in ZnO nanoparticles. Co and Ni doping affect the Zn lattice structure. Crystal size was analyzed using the Debye Scherrer, UDM, and Halder-Wagner methods obtained various crystal sizes with variations in Co and Ni concentrations ranging from 10-25 nm. The degradation of the RhB solution is evidenced by a decrease in the absorption peak with increasing irradiation time (0-45 minutes). $\text{ZnO}_{(0.95)}\text{Co}_{(0.05-x)}\text{Ni}_{(x)}$ with a concentration of $x = 2.5\%$ obtained an increase in the efficiency of RhB degradation, with photocatalytic activity of 96.9%. This result is better than that of pure ZnO.

Keywords: ZnO, Co, Ni, co-doping, Photocatalytic.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “**Pengaruh Penambahan Co-Doping Cobalt (Co), Nickel (Ni) Terhadap Sifat Struktur dan Optik Nanopartikel Zinc Oxide (Zno)**” sebagai salah satu persyaratan untuk menempuh gelar magister sains.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini jauh dari kesempurnaan dan dalam proses penelitian hingga perampungan penulisan tesis banyak kesulitan dan hambatan yang penulis temui. Berkat pertolongan Allah SWT dan bantuan dari berbagai pihak, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini. Oleh karena itu, dengan penuh kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih, rasa hormat, dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua, ayah **Mujtahid Ahmad, S.Sos, S.H., M.H**, ibu **Saadiah, S.Pd.** serta seluruh keluarga besar, penulis hanturkan terima kasih atas curahan kasih sayang, dorongan do'a, nasihat, motivasi, dan dukungan moril maupun materil. Kalian adalah segalanya bagi penulis.
2. Bapak **Prof. Dr. Paulus Lobo Gareso, M.Sc** selaku pembimbing utama penulis dan Bapak **Prof. Dr. Dahlang Tahir, M.Si.**, selaku pembimbing pertama penulis. Terima kasih atas arahan, nasihat, motivasi, waktu luang dan kesabaran dalam membimbing penulis dalam menyelesaikan tesis ini. Semoga Allah SWT, senantiasa membalas kebaikan Prof.
3. Ibu **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA**, Ibu **Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T** dan Ibu **Dr. Nurlaela Rauf, M.Sc** sebagai Tim penguji tesis fisika yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang membangun untuk kesempurnaan tesis ini. Semoga Ibu senantiasa dalam lindungan Allah SWT.
4. Seluruh **Dosen Departemen Fisika** yang telah memberikan dan mengajarkan ilmunya kepada penulis dan seluruh **Pegawai dan Jajaran Staf FMIPA**. Terima kasih atas bantuannya yang membantu penulis dalam mengurus administrasi selama ini.

5. Terkhusus untuk kak **Inayatul Mutmainna, S.Si, M.Si**, dan kak **Elisabeth Clara Sampebatu, S.Pd** sebagai kakak yang senantiasa membimbing dan mengarahkan serta memberi solusi atas permasalahan yang penulis temui. Terima kasih banyak kakak.
6. Terkhusus untuk **Tim Ricuh**, partner segalanya. Terima kasih atas segala bantuannya, selalu ada baik suka maupun duka.
7. Terima kasih kepada teman-teman **Fisika 2013**, terkhusus untuk anak **Emptiness** yang selalu ada disaat yang tepat. **Teman-teman seperjuangan Magister Fisika angkatan 2020(1)** terkhusus **Rahma Anugrahwidya, S.Si., M.Si, Nurul Awaliyah M, S.Si, Destalina, S.Pd** dan kak **Sitti Magfiah, S.Si** yang telah menemani penulis baik suka dan duka selama menempuh pendidikan di Departemen Fisika Unhas.
8. Seluruh anggota **Laboratorium Material dan Energi** terkhusus untuk adik- adik **Andi Tessiwoja Tenri Ola, S.Si, Sitti Rahma Pauziah, Ahmad Nurul Fahri, S.Si, Roni Rahmat, S.Si, Muh. Syahrial, Ardiansyah, Sitti Hajar, S.Si, Ervianti, S.Si, Nurul Fauziah, S.Si, Asni Damayanti, S.Si, Mutmainnah, S.Si, Nurul Fajri, Vikasrianti, Yulianti dan Dei Erwina** yang selalu membantu dan menghibur penulisan dalam proses penyelesaian tesis.
9. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan kontribusi dalam penyelesaian tesis ini. Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya, Akhir kata, penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dan semoga Allah SWT melimpahkan karunia-Nya dalam setiap amal kebaikan dan diberikan balasan. Aamiin.

Makassar, 12 November 2021



Fitriah Mujtahid

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Tujuan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Seng Oksida (ZnO)	4
II.2 Kobalt (Co)	4
II.3 Nikel (Ni)	5
II.4 Co-presipitasi	5
II.5 Pewarna (Rhodamin B)	6
II.6 Fotokatalis	6
II.7 <i>Fourier Transform Infra Red</i> (FTIR)	7
II.8 <i>X-ray diffraction</i> (XRD)	8

II.9 Spektrofotometer UV-Vis (<i>Ultra Violet-Visible</i>).....	10
BAB III METODE PENELITIAN	13
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	13
III.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	13
III.2.1 Alat.....	13
III.2.2 Bahan.....	13
III.3 Prosedur Penelitian.....	14
III.3.1 Proses Sintesis ZnO dengan metode Kopresipitasi.....	15
III.3.2 Eksperimen Fotokatalitik	15
III.4 Karakterisasi.....	16
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
IV.1 Hasil FTIR	17
IV.2 Hasil XRD.....	18
IV.2.1. Debye Scherrer.....	19
IV.2.2. Williamson-Hall method.....	20
VI.2.3 Halder Wagner plot (H-W).....	22
IV.3. Bandgap	24
IV.4 Analisis Fotokatalis.....	25
IV.5. Siklus.....	29
BAB V PENUTUP.....	31
V.I. Kesimpulan	31
V.2. Saran.....	31
DAFTAR PUSTAKA	32
LAMPIRAN.....	32

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Fotokatalitik.....	7
Gambar 2.2 FTIR Spectrophotometer.....	8
Gambar 2.3 Difraksi sinar-x oleh kristal.....	9
Gambar 2.4 Skema alat Spektrofotometer Uv-Vis sumber cahaya tunggal	10
Gambar 2.5 Mekanisme pemisah panjang gelombang	11
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian	14
Gambar 4.1 Spektrum FTIR dari ZnO murni dan ZnO co-doping Co dan Ni.....	17
Gambar 4.2 Pola XRD nanopartikel ZnO dengan variasi doping Co dan Ni	18
Gambar 4.3 Plot W-H methods with UDM analysis untuk sampel ZnO dengan variasi doping Co, Ni	21
Gambar 4.4 Plot Halder-Wagner untuk sampel ZnO dengan variasi doping Co dan Ni.....	23
Gambar 4.5 Variasi bandgap nanopartikel ZnO co-doping Co dan Ni menggunakan metode Tauch Plot.....	24
Gambar 4.6 Spektrum absorbansi Uv-Vis terhadap waktu degradasi fotokatalitik RhB.....	26
Gambar 4.7 Persentase degradasi nanopartikel ZnO co-doping Co dan Ni.....	27
Gambar 4.8 Kinerja Fotokatalitik dan Kurva Laju Kinetik	28
Gambar 4.9 Efisiensi $ZnO_{0.95}Co_{0.025}Ni_{0.025}$ untuk pewarna Rhodamin B. dalam lima kali siklus.....	29

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Parameter geometri nanopartikel ZnO co-doping Co dan Ni menggunakan model yang berbeda	24
Tabel 4.2 Laju kinetik (k_r) dan Koefisien korelasi (R^2) sampel ZnO co-doping Co dan Ni	29

BAB I PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Penelitian mengenai nanopartikel berkembang cukup pesat dalam berbagai bidang ilmu, seperti biologi, kimia, material dan teknik karena keunikan sifatnya yang dapat diaplikasikan dalam berbagai hal seperti perangkat elektronik, industri, medik dan lainnya [1]. Salah satunya ialah nanopartikel *Zinc Oxide* (ZnO). Struktur ZnO menarik perhatian karena sifat optik dari ukuran kristal dan morfologinya [2]. ZnO memiliki sifat yang tidak beracun, murah, transparansi optik yang tinggi, mudah diperoleh, sifat kimiawi dan stabilitas permukaan yang tinggi [3,4]. ZnO adalah bahan semikonduktor yang memiliki karakteristik celah pita energi sebesar (3,36 eV) dan energi ikat eksiton yang besar (60 meV) pada suhu ruang [5,6]. Sebagai bahan semikonduktor ZnO memiliki potensi pengaplikasian dalam berbagai bidang seperti optik, elektronik, biosensor, fotokatalitik, sel surya, mikroelektronika, penginderaan, perbaikan lingkungan, biomedis dll [2,7-9].

ZnO terbatas dalam beberapa penerapan seperti fotokatalitik dan *thermoluminescence* dikarenakan celah pita yang besar dan laju rekombinasi yang cepat dari pasangan *electron-hole* fotogenerasi fase tunggal, ZnO hanya dapat diaktivasi di bawah iradiasi sinar ultraviolet energi tinggi [10]. Sehingga, ZnO membutuhkan konduktivitas tertentu untuk meningkatkan mobilitas pasangan *electron-hole* dan meningkatkan penyerapan cahaya. Untuk meningkatkan konduktivitas dari ZnO dapat menggunakan dopan [10,11]. Berbagai jenis unsur logam atau non-logam telah digunakan dalam mendopping ZnO baik dalam bentuk doping tunggal seperti ZnO didoping Mn [12], ZnO didoping Cu [13], ZnO didoping Cr [14], ZnO didoping Al [15], ZnO didoping Ni [16], ZnO didoping Fe [17]. ZnO didoping Co [18] maupun gabungan dua doping yang biasa disebut co-doping contohnya Cu, Ni co-doped ZnO [19] Co, Ni co-doped ZnO [20] Co, Fe co-doped ZnO [21]. Doping dari dua atau lebih logam merupakan salah satu cara dalam meningkatkan magnetik saturasi dari sampel ZnO [19].

Kobalt (Co) sangat baik digunakan dalam mendoping ZnO, bahan Co memiliki kelarutan yang tinggi dalam ZnO. Co memiliki jari-jari ionik ($0,58\text{\AA}$) yang hampir sama dengan ZnO ($0,60\text{\AA}$) yang menguntungkan untuk membentuk fasa tunggal dengan Co^{2+} menggantikan posisi Zn^{2+} . Co doping ZnO menunjukkan sifat feromagnetik pada suhu ruang [18,22]. Dengan penambahan dopan Ni dalam ZnO dapat mengontrol rekombinasi pembawa muatan dan meningkatkan degradasi fotokatalitik [1]. Ion nikel akan menggantikan ion seng, yang akan menyebabkan distorsi kisi kristal seng oksida dan mempengaruhi morfologi mikroskopis dari seng oksida [23].

Penelitian Nadeem, et.al pada tahun 2020 telah berhasil mensintesis ZnO menggunakan metode Hydrothermal untuk konsentrasi Co sebesar 4 %, $\text{Zn}_{1-x}\text{Co}_{0.04}\text{Ni}_x$, nilai x divariasikan sebesar 0%, 3%, 6%, 9%. Diperoleh hasil celah pita energi optik berkurang untuk sampel co-doping Co dan Ni yaitu (3,37–3,16) eV. Pergeseran celah pita energi di panjang gelombang merah oleh co-doping Co dan Ni disebabkan oleh adanya kopling orbital yang kuat dan pembentukan energi baru antara VB (*valence band*) dan CB (*conduction band*) [3].

Beberapa metode yang digunakan untuk mensintesis nanopartikel ZnO, diantaranya teknik sol-gel [24], elektrodeposisi [25], metode dispersi [26], hidrotermal [3], co-presipitasi [27] dan lainnya. Diantara berbagai metode tersebut, metode co-presipitasi memiliki potensi yang tinggi, ekonomis, teknik deposisi yang sederhana dan hemat energi dalam mensintesis nanopartikel [28,29].

Metode co-presipitasi melibatkan pengendapan logam dengan bantuan pasangan asam dan basa untuk mengatur nukleasi dan pertumbuhan partikel, logam yang diendapkan umumnya dalam bentuk hidroksida, karbonat, oksalat atau sitrat [30,31]. Endapan logam yang terbentuk kemudian dikalsinasi pada suhu tinggi untuk memperoleh bahan oksida campuran sesuai dengan target yang diinginkan [32]. Dalam penelitian ini, nanopartikel ZnO yang didoping Co dan Ni disintesis menggunakan metode co-presipitasi dua langkah menggunakan asam oksalat dan amonium hidroksida dengan variasi konsentrasi yang berbeda. $\text{Zn}_{(0.95)}\text{Co}_{(0.05-x)}\text{Ni}_{(x)}\text{O}$, di mana nilai x sebesar 0%, 1%, 2%, 2,5 %, 3%, 4% dan 5%. Dengan penambahan doping Ni dan Co dalam ZnO diharapkan dapat mengontrol

rekombinasi pembawa muatan dan meningkatkan degradasi fotokatalitik sebagai aplikasi fotokatalis. Struktur dan karakteristik ikatan dari material $Zn_{(0.95)}Co_{(0.05-x)}Ni_{(x)}O$ dianalisis menggunakan *X-ray diffractometer* (XRD) dan spektroskopi FTIR. Serta kinerja fotokatalitik diamati menggunakan spektrometer *UV-Vis*.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana menganalisis pengaruh variasi doping Co, Ni terhadap sifat struktur dan optik nanopartikel ZnO?
2. Bagaimana menganalisis kinerja fotokatalitik dari sampel ZnO yang di doping Co dan Ni?

I.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh variasi doping Co, Ni terhadap sifat struktur dan optik nanopartikel ZnO.
2. Menganalisis kinerja fotokatalitik dari sampel ZnO akibat penambahan ion Co, Ni.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Seng Oksida (ZnO)

Seng oksida (ZnO) adalah bahan semikonduktor yang ramah lingkungan dan banyak tersedia di alam, ZnO memiliki karakteristik celah pita energi sebesar (3,36 eV) dan energi ikat eksiton yang besar (60 meV) pada suhu ruang [5,6]. Sebagai bahan semikonduktor, ZnO memiliki potensi pengaplikasian dalam berbagai bidang seperti optik, elektronik, biosensor, fotokatalitik, sel surya, mikroelektronika, penginderaan, perbaikan lingkungan, biomedis dll [2,7-9].

ZnO menampilkan efisiensi fotokonduktivitas yang baik di wilayah tampak yang sangat berguna untuk aplikasi fotokatalis [28], meski demikian efisiensi dari fotokatalis terbatas dikarenakan celah pita energi yang besar yang membatasi penggunaan cahaya tampak mengakibatkan kinerja material berkurang [20,23]. ZnO membutuhkan konduktivitas tertentu untuk meningkatkan mobilitas pasangan *electron-hole* dan meningkatkan penyerapan cahaya. Untuk meningkatkan konduktivitas dari ZnO dapat menggunakan dopan dari berbagai unsur baik logam maupun nonlogam [10,11]. Efektivitas maksimum ZnO dalam mendegradasi senyawa organik dikaitkan dengan pembentukan H₂O₂. Ukuran, struktur, dan kemurnian berpengaruh terhadap sifat material [33].

II.2 Kobalt (Co)

Kobalt (Co) merupakan logam transisi dengan nomor atom 27. Pada tabel periodik kobalt terletak antara besi dan nikel. Co memiliki jari-jari ionik (0,58Å), titik leleh tinggi 1495°C, dan bersifat feromagnetik. Co memiliki banyak pengaplikasian dalam industri teknologi seperti baterai isi ulang, superalloy, dan katalis. Selain itu Co dapat digunakan sebagai doping dalam meningkatkan karakteristik bahan, sebagai contoh Co doping ZnO [34].

Co sangat baik digunakan dalam mendoping ZnO, bahan Co memiliki kelarutan yang tinggi dalam ZnO. Kobalt memiliki jari-jari ionik (0,58Å) yang hampir sama dengan ZnO (0,60 Å) yang menguntungkan untuk membentuk fasa

tunggal dengan Co^{2+} menggantikan posisi Zn^{2+} . Co doped ZnO menunjukkan sifat feromagnetik pada suhu ruang [18,22].

II.3 Nikel (Ni)

Nikel (Ni) adalah unsur yang berada dalam golongan logam transisi yang termasuk golongan periode ke-4 dan ke-10 pada tabel periodik. Diketahui bahwa logam transisi perlahan-lahan kehilangan sifat logam kuatnya. Nikel adalah konduktor panas dan listrik yang baik. Namun, nikel kehilangan karakter metalik dengan sangat lambat. Bilangan oksidasi nikel yang paling penting adalah +2, meskipun bilangan oksidasi +3 dan +4 juga diketahui. Nikel memiliki elektro negativitas yang menunjukkan afinitas yang layak untuk berikatan dengan unsur lain [4].

Penambahan Ni dalam mendoping ZnO dapat mengontrol rekombinasi pembawa muatan dan meningkatkan degradasi fotokatalitik [1]. Jari-jari ion Ni^{2+} (0,69 Å) akan menggantikan ion Zn^{2+} (0,74 Å) yang akan menyebabkan distorsi kisi kristal seng oksida dan mempengaruhi morfologi mikroskopis dari seng oksida [23] [4]. Diharapkan Ni^{2+} dapat dengan mudah diganti oleh Zn^{2+} pada kisi ZnO tanpa mengubah struktur Kristal dari ZnO. Substitusi Ni mendoping ZnO memiliki potensial aplikasi yang luas dapat secara efektif menjadi bahan yang menjanjikan untuk mendapatkan sifat pendaran listrik, mendegradasi pewarna organik, optoelektronik, alternatif untuk antibiotik, dan sifat termal yang sangat baik [1,4].

II.4 Co-presipitasi

Co-presipitasi merupakan metode kimia yang digunakan untuk memperoleh ukuran partikel yang lebih kecil. Metode co-presipitasi sering digunakan dalam mengubah partikel menjadi partikel nano karena bahan kimia yang digunakan relatif murah dan teknik deposisi yang cukup sederhana [18,35].

Metode co-presipitasi melibatkan pengendapan logam dengan bantuan pasangan asam dan basa untuk mengatur nukleasi dan pertumbuhan partikel, logam yang diendapkan umumnya dalam bentuk hidroksida, karbonat, oksalat atau sitrat

[30,31]. Pengontrolan yang tepat dari parameter eksperimental seperti pH, konsentrasi reaktan, ion, dan suhu penting dilakukan karena menentukan proses pengendapan. Endapan logam yang terbentuk kemudian dikalsinasi pada suhu tinggi untuk memperoleh bahan oksida campuran sesuai dengan target yang diinginkan [32]. Dengan melakukan modifikasi seperti penerapan surfaktan, metode sonokimia, dan presipitasi reaktif gravitasi tinggi akan diperoleh nanopartikel dengan tingkat homogenitas yang tinggi [30].

II.5 Pewarna (Rhodamin B)

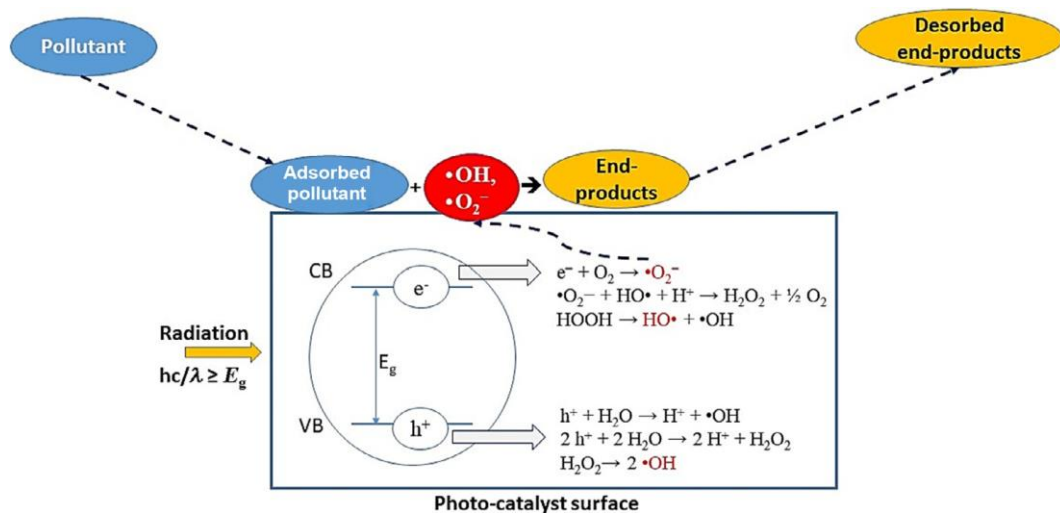
Rhodamine B (RhB) adalah pewarna organik xanthene sintetis yang banyak digunakan dalam industri tekstil, kertas, plastik, kosmetik, kulit, makanan, produk farmasi dan banyak industri lainnya yang menyebabkan pembuangan limbah pewarna dalam jumlah yang besar [36].

RhB sangat berbahaya bagi kelangsungan makhluk hidup, baik hewan, tumbuhan, maupun manusia. RhB dapat menyebabkan iritasi mata, saluran pernapasan, reproduksi, saraf dan masalah pada kulit. Untuk meminimalisir pencemaran RhB dilingkungan dengan berbagai cara salah satunya fotokatalisis [37].

II.6 Fotokatalis

Fotokatalis adalah bahan yang menyerap cahaya (foton) untuk meningkatkan laju reaksi fotokimia menggunakan katalis. Katalis merupakan zat yang mempengaruhi proses laju reaksi tanpa ikut berubah secara kimia yang mempercepat fotoreaksi melalui interaksinya dengan substrat baik keadaan dasar maupun tereksitasi. Katalis harus memiliki energi permukaan yang tinggi yang baik dalam proses adsorpsi. Dengan pengontrolan pH larutan, diharapkan bahan fotokatalitik lebih stabil dalam air karena pengaruh gaya tarik elektrostatik antara polutan dan katalis. Umumnya bahan yang digunakan sebagai katalis adalah bahan semikonduktor [38].

Celah pita energi pada bahan semikonduktor memainkan peran penting dalam proses fotokatalitik. Semikonduktor memiliki struktur elektronik yang dicirikan oleh pita konduksi (CB) dan pita valensi (VB) yang dipisahkan oleh celah pita energi (EG). Iradiasi katalis, dengan foton yang energinya ($h\nu$) sama atau lebih besar dari celah pita, mendorong perpindahan elektron dari VB ke CB dengan terciptanya pasangan *electron-hole* $e_{cb}^- - h_{vb}^+$ seperti pada Gambar 2.1 [39].



Gambar 2.1 Proses Fotokatalitik [38]

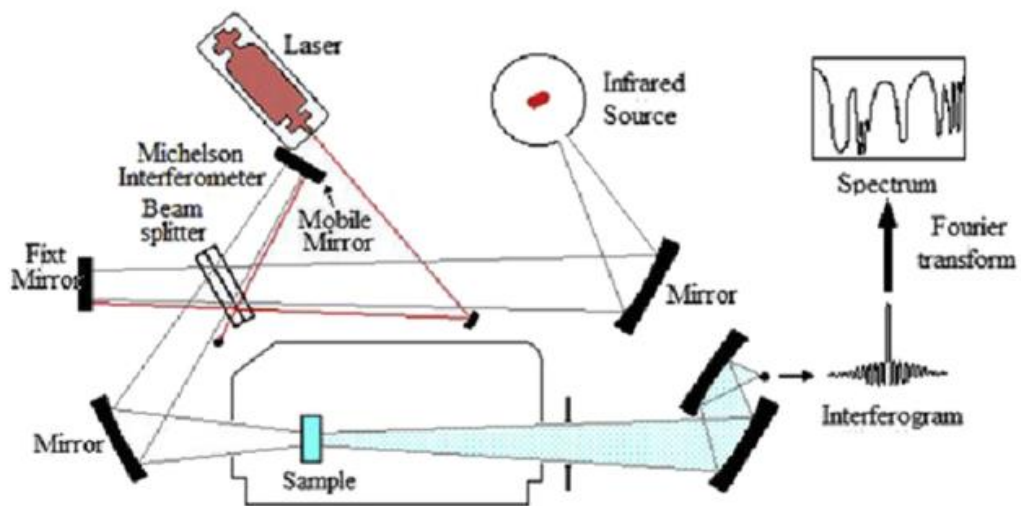
Tingkat energi terendah dari CB menentukan potensial reduksi fotoelektron sedangkan yang tertinggi dari VB masing-masing menentukan daya oksidasi fotohole. Dengan tidak adanya elektron dan hole yang sesuai, energi input hilang sebagai panas dalam beberapa nanodetik melalui rekombinasi [39].

II.7 Fourier Transform Infra Red (FTIR)

Spektrofotometer inframerah menampilkan informasi yang dapat digunakan dalam menentukan gugus fungsi dan informasi struktur suatu senyawa organik. Pada dasarnya spektrofotometer inframerah terdiri dari sumber radiasi inframerah (IR), monokromator, pemegang sampel dan detektor IR [40].

Spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR) merupakan salah satu variasi dari spektrofotometer inframerah. FTIR digunakan untuk mendapatkan spektrum inframerah penyerapan atau emisi dari padat, cair atau gas menggunakan perangkat interferometer, yang menyebabkan interferensi positif dan negatif

terjadi pada panjang gelombang berurutan saat cermin bergerak mengubah panjang lintasan berkas cahaya. Keluaran awal yang direkam oleh detektor langsung diubah menjadi spektrum dengan penerapan proses matematika yang disebut “Transformasi Fourier”[41].



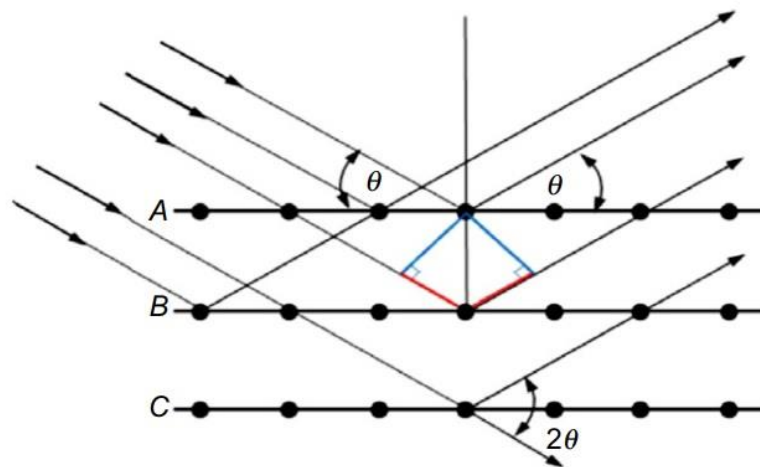
Gambar 2.2 FTIR spectrophotometer [41]

II.8 X-ray diffraction (XRD)

Difraksi sinar-X (XRD) digunakan untuk menganalisis fase dan mengetahui struktur kristal serta derajat kekristalan dari material yang diamati. Difraksi sinar-X oleh kristal dijelaskan oleh hukum Bragg yang diperlihatkan pada gambar 2.3 pada gambar dioerlihatkan hubungan panjang gelombang sinar-X dengan jarak antar atom[42,43].

$$n\lambda = 2d \sin(\theta) \quad (2.1)$$

panjang gelombang sinar-X yang melewati kristal disimbolkan λ , d adalah jarak antarplanar (atau jarak kisi) antara atom-atom dalam kristal, dan n adalah orde difraksi untuk pita interferensi konstruktif yang diamati (misalnya, $n=1$ untuk interferensi orde pertama). Sedangkan θ adalah sudut datang atau sudut Bragg [44].



Gambar 2.3 Difraksi sinar-x oleh kristal [42].

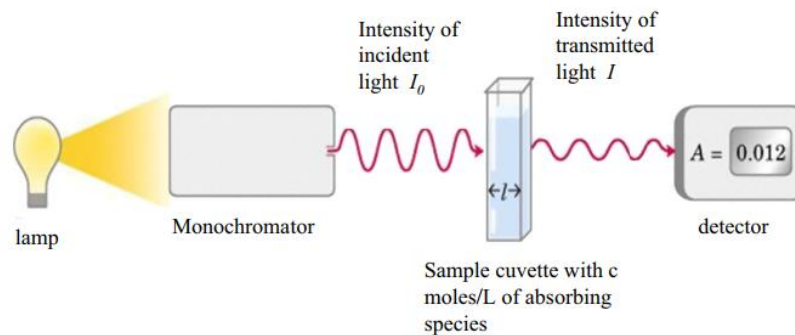
Sinar-X yang dihasilkan dipercepat menuju anoda. Untuk pembangkitan berkas sinar-X, tabung vakum diperlukan di mana berkas elektron, yang dihasilkan oleh filamen yang dipanaskan, dikolimasi dan dipercepat oleh potensial listrik 20-45kV. Berkas elektron ini diarahkan ke anoda logam. Anoda disimpan dalam ruang vakum tinggi untuk menghindari tabrakan antara partikel udara dan elektron yang datang atau foton sinar-X yang dipancarkan. Penyerapan sinar-X yang melewati bahan tergantung pada berat atom unsur-unsur yang ada dalam bahan. Sinar-X dideteksi oleh detektor, dan sinyal diproses dengan mikroprosesor atau secara elektronik. Spektrograf diperoleh dengan mengubah sudut antara sumber, sampel, dan detektor. XRD dapat memberikan informasi tambahan mengenai ukuran kristal. Ukuran kristal rata-rata dapat dihitung dengan pelebaran puncak puncak difraksi menggunakan persamaan Scherrer [42]:

$$t = K\lambda/\beta\cos\theta \quad (2.2)$$

t adalah ukuran kristal, λ adalah panjang gelombang dari berkas sinar-X yang datang, β adalah lebar penuh pada setengah dari intensitas maksimum puncak refleksi, dan K adalah konstanta Scherrer.

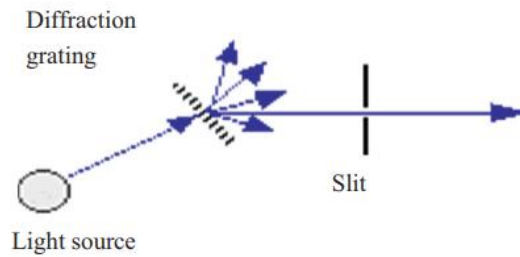
II.9 Spektrofotometer UV-Vis (*Ultra Violet-Visible*)

Secara umum spektroskopi adalah cabang ilmu (kimia analitik) yang mempelajari interaksi radiasi elektromagnetik dengan materi [44]. Salah satu jenis spektroskopi ialah Spektrofotometer UV-Vis yang merupakan alat yang digunakan dalam mengukur panjang gelombang, intensitas sinar ultraviolet dan cahaya tampak yang terabsorpsi pada sampel. Sinar ultraviolet berada pada panjang gelombang 200-400 nm sedangkan sinar tampak berada pada panjang gelombang 400-800 nm [40].



Gambar 2.4 Skema alat Spektrofotometer Uv-Vis dengan sumber cahaya tunggal [45].

Sumber cahaya dengan energi radiasi yang stabil akan dibagi oleh pemisah panjang gelombang (monokromator). Celah menuju wadah sampel sangat sempit yang hanya memungkinkan rentang panjang gelombang tertentu sehingga diperlukan monokromator sebagai pemisah panjang gelombang. Pemilihan panjang gelombang diperlukan untuk mengisolasi wilayah spektrum yang spesifik untuk pengukuran. Dengan memutar kisi difraksi secara bertahap, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5, cahaya dari seluruh spectrum dapat melewati sampel. Cahaya yang berhasil melewati sampel diterima oleh detektor radiasi, yang mengubah energi radiasi menjadi sinyal listrik yang terukur [45].



Gambar 2.5 Mekanisme pemisah panjang gelombang [45].

Cahaya yang melewati sampel, sebagian dapat diserap dan sebagian lagi akan diteruskan/ ditransmisikan melalui larutan. Rasio intensitas cahaya yang ditransmisikan (I) dengan intensitas cahaya datang (I_0) yang memasuki sampel pada panjang gelombang tetap disebut transmitansi (T) ($T = \frac{I}{I_0}$), sedangkan logaritma negatif dari transmitansi disebut absorbansi (A) ($A = -\log T$). Energi radiasi yang diserap sama dengan perbedaan energi antara keadaan dasar dan keadaan energi elektron yang lebih tinggi. Spektroskopi UV-Vis mematuhi hukum Beer-Lambert, yang mengatakan bahwa ketika berkas cahaya monokromatik melewati larutan sampel penyerap, absorbansi (A) berbanding lurus dengan konsentrasi (C) zat penyerap dan panjang lintasan (l), dan diberikan oleh persamaan berikut [42],

$$A = \log \left(\frac{I_0}{I} \right) = \epsilon l C \quad (2.3)$$

koefisien penyerapan atau kepunahan molar yang merupakan karakteristik senyawa tertentu dalam kondisi tertentu (panjang gelombang, pelarut, dan suhu) ($\text{mol}^{-1}/\text{dm}^{-3}\text{cm}$) disimbolkan oleh ϵ , l panjang lintasan dalam sentimeter, dan C adalah konsentrasi dalam mol dm^{-3} [42].

Keterkaitan antara spektrum elektronik nanopartikel semikonduktor dengan energi bandgap (ΔE) dari nanopartikel dan terkait dengan ukuran nanopartikel diperlihatkan pada persamaan berikut [42]:

$$\Delta E = \frac{\eta^2 h^2}{8m\alpha} \quad (2.4)$$

bilangan kuantum utama dinyatakan oleh η , h adalah konstanta Planck, m adalah massa efektif elektron, dan α adalah jari-jari QDs. Penurunan diameter nanopartikel semikonduktor menyebabkan pergeseran biru dari tepi pita serapan [42].