

**PENGARUH NANOSENGOKSIDA (ZnO) PADA BAHAN POLIETILENA
UNTUK MEMBLOK SINAR ULTRAVIOLET**

(Tesis)

**Oleh
Tri Ismirani
2327041002**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

PENGARUH NANOSENGOKSIDA (ZnO) PADA BAHAN POLIETILENA UNTUK MEMBLOK SINAR ULTRAVIOLET

Oleh

TRI ISMIRANI

Komposit lapisan tipis PE/ZnO telah dibuat dengan metode *coating* yang bertujuan untuk melihat pengaruh penambahan nano partikel ZnO pada bahan polietilena dalam memblok sinar UV yang divariasikan dengan konsentrasi masing masing nano ZnO 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 g dengan masing masing ketebalan lapisan yang diinginkan yaitu 6 μm , 12 μm dan 25 μm . Karakterisasi nano ZnO menggunakan analisis *X-Ray Diffraction* diperoleh data bahwa ukuran nano ZnO 18,24 nm dengan struktur kristal yang terbentuk adalah wurzite heksagonal. Struktur komposit yang dihasilkan memiliki semua material yang diharapkan, dan terjadi interaksi antara PE dan ZnO dalam lapisan tipis yang dihasilkan berdasarkan uji *Fourier Transform Infrared*. Penambahan konsentrasi nano ZnO mampu efektif dalam meningkatkan ketahanan terhadap sinar ultraviolet pada bahan polietilena berdasarkan uji menggunakan *ultraviolet light meter*. Pengaruh penambahan nano ZnO pada bahan polietilena untuk memblok sinar ultraviolet yaitu semakin besar penambahan konsentrasi nanopartikel ZnO maka berpengaruh dalam memblok sinar UV. Lapisan tipis PE/ZnO memiliki struktur morfologi yang mendukung fungsi sebagai lapisan pelindung UV. Meskipun terdapat aglomerasi partikel, distribusi partikel secara keseluruhan cukup merata dalam matriks PE, memungkinkan lapisan untuk memberikan perlindungan yang optimal terhadap sinar UV. Penambahan ZnO dalam lapisan tipis PE secara signifikan meningkatkan koefisien serapan UV pada berbagai ketebalan lapisan sedangkan ketebalan lapisan tipis juga berpengaruh secara signifikan pada tahanan dalam memblok sinar UV.

Kata kunci: nano ZnO, polietilena, sinar UV, lapisan tipis, coating.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF NANOZINKOKSIDE (ZnO) ON POLYETHYLENE MATERIALS FOR BLOCKING ULTRAVIOLET RAYS

By

TRI ISMIRANI

ZnO thin film composite has been created using the coating method. This research aims to observe the effect of adding ZnO nanoparticles to polyethylene materials in blocking UV rays, with variations in the concentration of each ZnO nanoparticle at 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 and 0,5 g, with each desired layer thickness being 6 μm , 12 μm , and 25 μm . The characterization of ZnO nanoparticles using X-Ray Diffraction analysis revealed that the size of ZnO nanoparticles is 18,24 nm, with the crystal structures formed being wurtzite. The resulting composite structure contains all the expected materials, and interactions between PE and ZnO are observed in the thin layer based on Fourier Transform Infrared testing. The addition of ZnO nanoparticles effectively increases the resistance to ultraviolet rays in polyethylene materials based on testing using an ultraviolet light meter. The effect of adding ZnO nanoparticles to polyethylene materials to block ultraviolet rays is that the higher the concentration of ZnO nanoparticles, the more effective the UV blocking. The PE/ZnO thin layer has a morphological structure that supports its function as a UV protective layer. Although there is particle agglomeration, the overall particle distribution is fairly even in the PE matrix, allowing the layer to provide optimal protection against UV rays. The addition of ZnO nanoparticles in the PE thin layer significantly increases the UV absorption coefficient at various layer thicknesses, while the thin layer thickness does not significantly affect resistance in blocking UV rays.

Keyword: *nano ZnO, polyethylene, UV rays, thin film, coating.*

**PENGARUH NANOSENGOKSIDA (ZnO) PADA BAHAN POLIETILENA
UNTUK MEMBLOK SINAR ULTRAVIOLET**

Oleh

**TRI ISMIRANI
2327041002**

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Studi Magister Fisika
Jurusan Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul : **PENGARUH NANOSENGOKSIDA (ZnO) PADA BAHAN POLIETILENA UNTUK MEMBLOK SINAR ULTRAVIOLET**

Nama : **Tri Ismirani**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2327041002

Program Studi : **Magister Fisika**

KBK : **Material**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



Pembimbing I

Pembimbing II

Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.
NIP. 19590308199103 1 001

Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.
NIP. 19631228198610 2 001

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika

Ketua Program Studi
Magister Fisika

Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 19710909 200012 1 001

Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.
NIP. 19751219200012 2 003

MENGESAHKAN

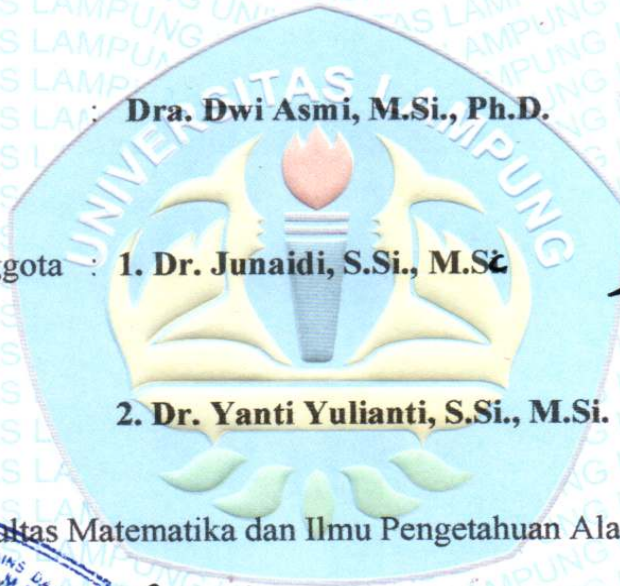
1. Tim penguji

Ketua : **Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.** 

Sekretaris : **Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.** 

Penguji Anggota : **1. Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc** 

2. Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. 



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. 

NIP. 19741001200501 1 001

3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. 

NIP. 19640326198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis: 24 Januari 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis yang berjudul “**PENGARUH NANOSENKOKSIDA (ZnO) PADA BAHAN POLIETILENA UNTUK MEMBLOK SINAR ULTRAVIOLET**” tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebut dalam daftar pustaka. Selain itu saya menyatakan pula bahwa tesis ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya ini tidak benar maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 24 Januari 2025



Tri Ismirani
NPM. 2327041002

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Tanjung Karang, 10 Juni 1981. Beliau adalah putri ketiga dari empat bersaudara pasangan Bapak H. Chairuddin Rachman, BA dan Ibu Hj. Asiyanti. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN 1 Rawa Laut pada tahun 1994, Sekolah Menengah Pertama di SLTPN 1 Bandar Lampung pada tahun 1997 dan Sekolah Menengah Atas di SMUN 3 Bandar Lampung pada tahun 2000.

Pada tahun 2000 diterima di Universitas Lampung (Unila), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Jurusan Fisika, Program Studi Fisika dan selesai pada tahun 2004. Selanjutnya tahun 2023 penulis melanjutkan studi Magister di FMIPA Universitas Lampung pada program Studi Magister Fisika.

MOTTO

Semakin banyak kamu membaca, semakin banyak hal yang akan kamu ketahui. Semakin banyak kamu belajar, semakin banyak tempat yang akan kamu kunjungi." (*Dr. Seuss*)

Belajar bukan tentang menjadi sempurna, tetapi menjadi lebih baik dari kemarin.

“...Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat...”
(Q.S, Al-Mujaadillah; 11)

Tidak ada kata terlambat untuk belajar, karena setiap hari adalah kesempatan baru

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur kepada Allah SWT, ku persembahkan karya ini untuk orang-orang yang ku sayangi:

Kedua Orang Tuaku Tercinta

Yang penuh kesabaran dalam membimbing, mendidik, menemani, dan menyemangati dengan kelembutan do'a dan kasih sayang. Terima kasih atas restu yang tiada hentinya hingga sekarang dan sampai nanti.

Saudara-Saudaraku tersayang

Terima kasih atas segala semangat, dukungan dan motivasi kalian ketika dalam menyelesaikan tesis ini

Suamiku tersayang

Terima kasih atas segala semangat, dukungan, keceriaan dan waktu yang telah diberikan dalam menemani setiap pekerjaan dan penulisan tesis ini

Anak-Anakku Tersayang

Terima kasih atas segala kelucuan dan penghilang penat ketika dalam menyelesaikan tesis ini

Universitas Lampung

Almamater Tercinta

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, yang telah memberikan kesehatan, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“PENGARUH NANOSENGOKSIDA (ZnO) PADA BAHAN POLIETILENA UNTUK MEMBLOK SINAR ULTRAVIOLET”**. Adapun tujuan utama tesis ini adalah sebagai salah satu syarat yang harus ditempuh untuk mendapatkan gelar Magister Sains dari jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

Penulis menyadari dalam penyusunan dan penulisan tesis ini banyak terdapat kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diperlukan untuk memperbaiki dan menyempurnakan tesis ini. Semoga tesis ini dapat bermanfaat.

Bandar Lampung, 24 Januari 2025
Penulis

Tri Ismirani

SANWACANA

Assalamu'alaikum Wr.Wb

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang menciptakan langit dan bumi serta penguasa atas semua makhluk. Dengan kerendahan diri dan ketulusan hati, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dan membantu dalam menyelesaikan tesis ini.

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing I atas kesediannya membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan selalu meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu dan nasihatnya kepada penulis selama proses penelitian dan penulisan tesis.
2. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. sebagai Dosen Pembimbing II atas kesediannya membimbing dan memberikan saran kepada penulis.
3. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. sebagai dosen Penguji I yang telah berkenan memberikan saran yang membangun kepada penulis agar lebih baik lagi dan memberikan motivasi dan arahan selama proses perkuliahan
4. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Penguji II, Pembimbing Akademik dan Kepala Program Studi Magister Fisika yang telah membantu dan berkenan memberikan saran yang membangun kepada penulis.
5. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
6. Bapak dan Ibu Dosen serta Staff Program Magister Fisika Universitas Lampung.
7. Orang tua penulis, Ayah dan Ibu tercinta (Bapak H. Chairuddin Rachman,

- Ba dan Ibu Hj. Asiyanti) yang selalu mendo'akan kebaikan bagi penulis.
8. Saudaraku Eka Sapti Fitriyana, AM.d, Dwi Aprilia Lestari, S.H., M.H. dan Titiani Risca, S. Hub.Int. yang telah mendo'akan dan menghiburku.
 9. Suamiku Abrahamsyah, S.S. yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan semangat, motivasi, dukungan, bantuan dan menjadi pendengar yang baik.
 10. Anak anaku tercinta dan tersayang Abdurrahman Farih Ramadhan dan Asma Zahrani Fakhirah yang telah menjadi penghibur ketika penat
 11. Teman satu perjuangan penelitian dan angkatan Magister Fisika 2023 Wawan Setiawan yang telah membantu dan memberikan motivasi kepada penulis.

Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dan niat baik yang telah diberikan.
Aamiin.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.

Bandar Lampung, 24 Januari 2025
Penulis

Tri Ismirani

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
LEMBAR JUDUL	iv
LEMBAR PERSETUJUAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vi
PERNYATAAN.....	vii
RIWAYAT HIDUP.....	viii
MOTTO	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR	xi
SANWACANA.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL.....	xviii
I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	5
II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Nanomaterial ZnO	6
2.2. Sintesis Nanopartikel ZnO.....	9
2.3. Cara pendispersian nano ZnO pada PE.....	13
2.4. Karakterisasi material	15
2.5. Teori dan mekanisme pengerapan cahaya	27
2.6. Polietilena	30
2.7. Sinar Ultraviolet.....	30
III. METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Waktu dan tempat penelitian	37
3.2. Alat dan bahan	37
3.3. Prosedur Penelitian	38
3.4. Diagram alir	44
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	

4.1. Sintesis Nanopartikel ZnO dengan Metode <i>Green Synthesis</i>	46
4.2. Sintesis Nano Ag Menggunakan Metode Reduksi Kimia	48
4.3. Analisis XRD Hasil Sintesis Nano ZnO	50
4.4. Lapisan Tipis PE/ZnO.....	56
4.5. Lapisan Tipis PE/ZnO/Ag.....	79
V. SIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Simpulan	91
5.2. Saran	92
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Struktur Kristal ZnO	7
Gambar 2.2. Tipe bahan semi konduktor	8
Gambar 2.3. Dua pendekatan sintesis nopartikel	9
Gambar 2.4. Proses reaksi reduksi dan pembentukan nanopartikel ZnO	12
Gambar 2.5. Gambar alat SEM	16
Gambar 2.6. Morfologi nano ZnO menggunakan SEM	18
Gambar 2.7. Difraksi sinar –X pada Kristal	19
Gambar 2.8. Karakterisasi nano ZnO dengan XRD	21
Gambar 2.9. Skema FTIR	22
Gambar 2.10. Karakterisasi menggunakan FTIR	23
Gambar 2.11. Hasil karakterisasi FTIR lapisan tipis TiO ₂ dengan dopping nanopartikel ZnO	24
Gambar 2.12. Diagram spektrofotometer UV-Vis	25
Gambar 2.13. Skema spektrofotometer UV-Vis	26
Gambar 2.14. Spektrum transmitansi UV-Vis lapisan tipis TiO ₂ ZnO TiO ₂ :ZnO, ZnO/ TiO ₂ dan ZnO/ TiO ₂ :ZnO	26
Gambar 2.15. Spektrum UV-Vis pada lapisan tipis TiO ₂ ZnO, TiO ₂ :ZnO, ZnO/ TiO ₂ dan ZnO/ TiO ₂ :ZnO	27
Gambar 2.16. Contoh biji plastik HDPE	31
Gambar 2.17. Contoh biji plastik LDPE	32
Gambar 2.18. Klasifikasi sinar UV	34
Gambar 3.1. Skema pembuatan lapisan tipis PE/ TiO ₂ /ZnO	40
Gambar 3.2. Skema pembuatan lapisan tipis PE/ TiO ₂ /ZnO/Ag	42
Gambar 3.3. Diagram alir penelitian	45
Gambar 4.1. Hasil serbuk nano ZnO yang telah disintesis menggunakan metode <i>green synthesis</i>	47
Gambar 4.2. Hasil serbuk nano Ag yang telah disintesis menggunakan metode reduksi kimia	49
Gambar 4.3. Diffaktogram XRD nano ZnO	51
Gambar 4.4. Hasil penghalusan data XRD sampel ZnO	54
Gambar 4.5. Hasil visualisasi lapisan tipis dengan ketebalan 6 µm	58

Gambar 4.6.	Hasil visualisasi lapisan tipis dengan ketebalan 12 μm	58
Gambar 4.7.	Hasil visualisasi lapisan tipis dengan ketebalan 25 μm	59
Gambar 4.8.	Hasil karakterisasi menggunakan mikroskop optik dengan ketebalan sampel 6 μm	62
Gambar 4.9.	Hasil karakterisasi menggunakan mikroskop optik dengan ketebalan sampel 12 μm	63
Gambar 4.10.	Hasil karakterisasi menggunakan mikroskop optik dengan ketebalan sampel 25 μm	64
Gambar 4.11.	Hasil karakterisasi SEM lapisan tipis PE/ZnO.....	66
Gambar 4.12.	Hasil karakterisasi FTIR lapisan tipis PE/ZnO	68
Gambar 4.13.	Perbandingan hasil pengukuran koefisien attenuasi pada ketebalan 6 μm , 12 μm dan 25 μm	73
Gambar 4.14.	Nilai hubungan koefisien attenuasi dengan konsentrasi nanopartikel ZnO	78
Gambar 4.15.	Nilai hubungan transmitansi dengan konsentrasi nanopartikel ZnO	79
Gambar 4.16.	Visualisasi lapisan tipis PE/ZnO/Ag ketebalan 12 μm	81
Gambar 4.17.	Pengaruh peningkatan konsentrasi nano Ag terhadap koefisien attenuasi	84
Gambar 4.18.	Pengaruh peningkatan konsentrasi nano Ag terhadap nilai absorpsi	86
Gambar 4.19.	Pengaruh peningkatan konsentrasi nano Ag terhadap nilai Transmitansi.....	87

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Variasi komposisi sampel.....	15
Tabel 3.1. Variasi sampel PE/ZnO 6 μm	40
Tabel 3.2. Variasi sampel PE/ZnO 12 μm	41
Tabel 3.3. Variasi sampel PE/ZnO 25 μm	41
Tabel 3.4. Variasi sampel PE/ZnO /Ag 12 μm	42
Tabel 4.1. Hasil parameter refinement data ZnO	55
Tabel 4.2. Sel parameter nanopartikel ZnO	55
Tabel 4.3. Puncak tertinggi sudut 2 <i>theta</i> dan ukuran partikel ZnO	56
Tabel 4.4. Hasil uji FTIR sampel PE/ZnO.....	69
Tabel 4.5. Variasi sampel PE/ZnO 6 μm	70
Tabel 4.6. Variasi sampel PE/ZnO 12 μm	71
Tabel 4.7. Variasi sampel PE/ZnO 25 μm	72
Tabel 4.8. Nilai transmitansi dan absorbansi lapisan PE/ZnO dengan ketebalan 6 μm	75
Tabel 4.9. Nilai transmitansi dan absorbansi lapisan tipis PE/ZnO dengan ketebalan 12 μm	75
Tabel 4.10. Nilai transmitansi dan absorbansi lapisan tipis PE/ZnO dengan ketebalan 25 μm	76
Tabel 4.11. Variasi sampel PE/ZnO/Ag 12 μm	83
Tabel 4.12. Nilai transmitansi dan absorbansi lapisan tipis PE/ZnO/Ag dengan ketebalan 12 μm	85

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sinar ultraviolet (UV) adalah jenis radiasi elektromagnetik yang memiliki panjang gelombang yang lebih pendek dari sinar tampak tetapi lebih panjang dari sinar-X. UV terletak dalam rentang panjang gelombang dari 10 nanometer (nm) hingga 400 nm dan merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang tidak dapat dilihat oleh mata manusia. Menurut *World Health Organization* sinar UV dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan panjang gelombangnya yaitu UV-A (320-400 nm) memiliki panjang gelombang paling panjang di antara sinar UV. UV-A dapat menembus lapisan kulit lebih dalam. Efeknya yaitu kontribusi terhadap penuaan kulit (*photoaging*) dan beberapa jenis kanker kulit. UVA berperan dalam efek penyamakan kulit dan berisiko merusak DNA pada tingkat yang lebih dalam. UV-B dengan panjang gelombang 280-320 memiliki panjang gelombang menengah. UV-B terutama mempengaruhi lapisan luar kulit (epidermis) dan bertanggung jawab atas kulit terbakar (sunburn) dan memainkan peran penting dalam sintesis vitamin D di kulit. Namun, UV-B juga dapat menyebabkan mutasi DNA yang dapat menyebabkan kanker kulit (*Environmental Protection Agency*).

UV-C memiliki panjang gelombang 100-280 nm memiliki panjang gelombang terpendek dan energi tertinggi di antara sinar UV. Sangat berbahaya, namun sebagian besar sinar UV-C diserap oleh lapisan ozon di atmosfer bumi dan tidak mencapai permukaan tanah. UV-C digunakan dalam sterilisasi dan desinfeksi karena sifatnya yang sangat merusak bagi mikroorganisme. Sinar UV memiliki efek berbahaya diantaranya kerusakan kulit karena paparan berlebihan terhadap sinar UV dapat menyebabkan sunburn, penuaan dini, dan berbagai jenis kanker kulit termasuk melanoma. Kerusakan mata karena sinar UV dapat merusak kornea dan lensa mata, meningkatkan risiko katarak dan degenerasi macula dan gangguan

sistem kekebalan karena paparan UV yang berlebihan dapat melemahkan sistem kekebalan tubuh. Upaya para peneliti dalam melindungi manusia dan juga lingkungan dari dampak negatif radiasi sinar UV yaitu pengembangan bahan baru yang efektif dalam memblokir sinar UV diantaranya sintesis dan karakterisasi bahan-bahan seperti polimer, nanomaterial, atau bahan alami yang memiliki sifat perlindungan terhadap sinar UV (Lee, 2016) dan inovasi dalam pembuatan produk perlindungan yang mencakup aspek formulasi, aplikasi, dan pengujian produk untuk melihat efektivitasnya diantaranya berupa produk krim tabir surya, pakaian UV-resistant dan kaca jendela *UV-resistant* (Zhang, 2018). Berdasarkan uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa upaya peneliti dalam memblokir sinar UV yaitu dengan cara memanfaatkan nanomaterial yang dapat diaplikasikan dengan bahan lain sehingga dapat diciptakan produk yang tahan dan mampu memblokir sinar UV.

Salah satu penerapan, nano teknologi pada bahan material menggunakan prinsip memantulkan dan menyerap cahaya yaitu pada produk berbahan polietilena (PE). PE merupakan salah satu polimer sintetik yang paling banyak digunakan, sebagai bahan dasar untuk pembuatan berbagai jenis peralatan rumah tangga, kemasan makanan dan minuman. Selain itu PE memiliki banyak sifat-sifat yang bermanfaat pada daya tahan terhadap zat kimia dan benturan yang baik, mudah dibentuk dan dicetak, ringan dan harganya yang murah (Lobo *and* Bonilla, 2019). Penambahan nano material yang sesuai, memungkinkan dihasilkannya produk dengan bahan PE yang memiliki sifat mekanik, barrier dan *thermal performance* yang lebih baik dan mampu untuk mencegah gangguan dari bakteri dan mikroorganisme (Bhattacharya *et al.*, 2020) serta keamanan dan daya tahan produk bahan polietilena akibat aktivitas sinar UV karena sinar UV dapat memutuskan ikatan kimia dalam polimer. Proses ini disebut fotodegradasi yang pada akhirnya menyebabkan keretakan, pengapuran, perubahan warna, dan menurunnya sifat-sifat fisik tertentu, sehingga perlu ditambahkan suatu aditif penstabil UV untuk mencegah kerusakan lebih awal. Contoh zat aditif penstabil UV yaitu chimassorb ($C_{35}H_{69}Cl_3N_8$), tinuvin ($H(OCH_2CH_2)_nOH$), titanium dioksida (TiO_2), dan seng oksida (ZnO) (Al-Malaika *and* Issenhuth, 2019). Dari uraian di atas dapat disimpulkan bahwa satu upaya untuk mempertahankan keamanan dan daya tahan produk bahan PE adalah dengan memanfaatkan lapisan tipis nano partikel

ZnO yang dapat memisahkan molekul air menjadi hidrogen dan elektron pada permukaan bahan. Nano ZnO adalah partikel-partikel *zinc oxide* yang memiliki ukuran pada skala nanometer, biasanya berkisar antara 1 hingga 100 nanometer. Nano ZnO memiliki sifat-sifat unik yang berbeda dari ZnO dalam bentuk bulk (besar), yang membuatnya sangat berguna dalam berbagai aplikasi teknologi dan medis. Sifat-sifat tersebut meliputi area permukaan yang tinggi, reaktivitas kimia yang meningkat, serta sifat optik, elektronik, dan mekanik yang khas (Kim *and* Hwang, 2021). Energi gap (band gap) adalah energi yang diperlukan untuk memindahkan elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Untuk nano ZnO, band gapnya biasanya sedikit lebih besar dibandingkan dengan ZnO bulk karena efek kuantum ukuran (*quantum size effect*). Band gap ZnO bulk adalah sekitar 3,37 eV pada suhu kamar. Namun, untuk nano ZnO, *band gap* ini bisa meningkat dan bervariasi tergantung pada ukuran partikel dan metode sintesis, biasanya berada dalam rentang 3,37 eV hingga 3,5 eV (Ramesh *and* Mahadevan, 2020).

Nano ZnO adalah salah satu bahan yang sangat efektif dalam memblokir sinar ultraviolet (UV) ketika dicampurkan dengan polietilen (PE) karena Partikel ZnO dalam skala nano memiliki luas permukaan yang sangat besar. Luas permukaan ini memungkinkan interaksi yang lebih efisien dengan sinar UV, meningkatkan efektivitas blokir UV dibandingkan dengan partikel ZnO berukuran lebih besar (Bian *et al.*, 2019). ZnO memiliki kemampuan penyerapan UV yang luas, meliputi UV-A (320-400 nm) dan UV-B (280-320 nm). Ini menjadikannya sangat efektif dalam melindungi material dari berbagai jenis sinar UV yang dapat merusak (Yang *and* Chen, 2020). Nano ZnO menunjukkan stabilitas fotokimia yang baik, artinya ZnO tidak mudah terdegradasi atau mengalami perubahan kimia ketika terpapar sinar UV. Ini penting untuk memastikan perlindungan jangka panjang terhadap UV pada bahan polietilen (Park *and* Lee, 2021). ZnO memiliki sifat antioksidan yang membantu mengurangi degradasi oksidatif pada polietilen akibat paparan sinar UV (Qian *et al.*, 2018). Ini membantu memperpanjang umur bahan polietilen. Meskipun sangat efektif dalam memblokir sinar UV, ZnO dalam skala nano dapat tetap mempertahankan transparansi material polietilen (Thitichai *and* Nakason, 2017). Ini berguna untuk aplikasi di mana kejernihan visual tetap penting.

Untuk itu akan dilakukan penelitian dengan judul “pengaruh nanosengoksida (ZnO) pada bahan Polietilen untuk memblok sinar Ultraviolet” dengan tujuan untuk melihat seberapa besar pengaruh bahan material nano ZnO terhadap efektifitas memblok sinar UV pada matriks bahan PE.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana karakterisasi nano ZnO menggunakan analisis X-Ray Diffraction?
2. Bagaimana perubahan sifat fisik bahan polietilena setelah ditambahkan nano ZnO berdasarkan uji *Fourier Transform Infrared*?
3. Seberapa efektif nano ZnO dalam meningkatkan ketahanan terhadap sinar ultraviolet pada bahan polietilena berdasarkan uji *Ultraviolet Visible* dan *Ultraviolet Light meter*?
4. Bagaimana pengaruh penambahan nano ZnO pada bahan polietilena untuk memblok sinar ultraviolet?
5. Bagaimana karakterisasi lapisan tipis polietilena/ZnO menggunakan analisis *Scanning Electron Microscopy*?
6. Bagaimana nilai koefisien serapan pada bahan polietilena/ ZnO?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karakterisasi nano ZnO menggunakan analisis XRD.
2. Mengetahui perubahan sifat fisik bahan polietilena setelah ditambahkan nano ZnO berdasarkan uji FTIR.
3. Mengetahui efektifitas nano ZnO dalam meningkatkan ketahanan terhadap sinar ultraviolet pada bahan polietilena berdasarkan uji menggunakan *ultraviolet light meter*.
4. Mengetahui pengaruh penambahan nano ZnO pada bahan polietilena untuk memblok sinar ultraviolet.
5. Mengetahui karakterisasi PE/ZnO menggunakan analisis SEM.
6. Mengetahui nilai koefisien serapan pada bahan PE/ZnO.

1.4. Batasan Masalah

1. Proses sintesis sintesis nano ZnO menggunakan metode *green synthesis*.
2. Bahan plastik PE yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis *polymorph*.
3. Karakterisasi sampel nano ZnO menggunakan analisis XRD.
4. Ketebalan sampel nantinya yaitu 6 μm , 12 μm dan 25 μm .
5. Data efektifitas pemblokiran sinar UV diperoleh dari hasil pengukuran nilai absorpsi sampel campuran bahan PE dan ZnO menggunakan alat *UV Light Meter* model UV340B dan Spektrofotometer UV-Vis.
6. Karakterisasi lapisan tipis hasil dari campuran bahan PE dengan nano ZnO menggunakan SEM dan FTIR.
7. Sampel lapisan tipis hasil dari campuran bahan PE dengan nano ZnO ditempatkan di bawah atau di dekat sumber sinar ultraviolet, seperti lampu UV, untuk menguji kemampuannya dalam memblokir atau menyerap radiasi UV menggunakan alat *UV light meter*.

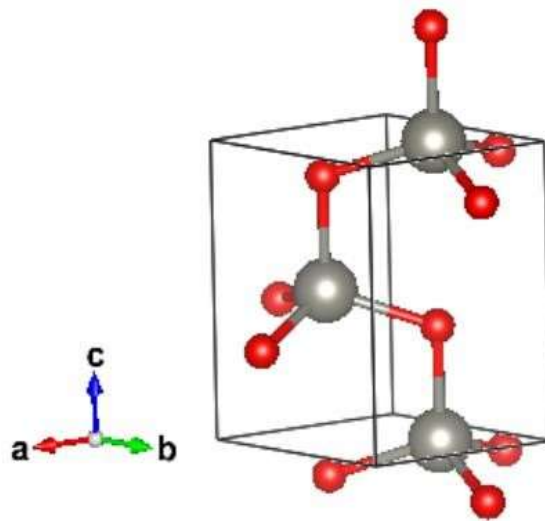
II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Nanomaterial ZnO

Nanoteknologi merupakan teknologi pada skala nano yang banyak dikembangkan oleh para ilmuwan dunia. Istilah teknologi diturunkan dari istilah nanometer dan pertama kali digunakan pada tahun 1974 oleh Nario Taniguchi. Istilah nano berasal dari Bahasa Yunani yaitu dari kata *dwarf* yang memiliki arti kurcaci atau kerdil (Tuzun, 2019). Kisaran ukuran untuk teknologi skala nano berada pada 10 sampai 100 nanometer (Bhushan, 2019). Salah satu perkembangan nanoteknologi yang cukup luas dikenal dalam dunia sains yaitu nanomaterial. Terdapat beberapa jenis nanomaterial salah satunya adalah serbuk nano atau nanomaterial dalam bentuk serbuk (Markovic *et al.*, 2018). Nanomaterial dalam bentuk serbuk diantaranya seperti nanosilika, nanotitania, nanoalumina, nano-ZnO dan nano-Pb (Zhai *et al.*, 2017). Seng oksida merupakan senyawa anorganik dengan formula ZnO. Biasanya senyawa ini berbentuk serbuk putih, hampir atau sukar larut dalam air. Menurut sifat kimianya ZnO dikenal sebagai seng putih atau *zincite mineral*, senyawa ZnO sukar larut dalam air dan alkohol tetapi larut dalam kebanyakan asam seperti asam klorida (Chen *et al.*, 2019).

ZnO merupakan material semikonduktor tipe II dan VI yang memiliki celah pita (*band gap*) lebar yaitu 3,37 eV dan energi ikatan sebesar 60 meV (Liu *et al.*, 2020). Banyaknya penelitian dan pengembangan yang dilakukan untuk nanopartikel ZnO karena memiliki sifat fotokatalitik, elektrik, dan optik yang baik (Chen *et al.*, 2019). Nano-ZnO banyak diaplikasikan dalam penggunaan sel surya, sensor gas, kosmetik, antibakteri dan antijamur (Lee *et al.*, 2019). Padatan ZnO memiliki tiga bentuk kristal yaitu *hexagonal wurtzite*, *cubic zincblende*, dan *cubic rocksalt* (jarang teramati). Bentuk *wurtzite* pada ZnO merupakan struktur kristal yang paling stabil pada suhu kamar. ZnO memiliki sifat yang unggul dan

dapat diaplikasikan dalam bidang optik, dan optoelektronik. Serbuk ZnO juga dapat digunakan sebagai bahan aditif dalam pembuatan keramik, plastik, semen, kaca, karet dan pelumas. Meski ZnO terdapat pada kerak bumi dalam bentuk mineral yang dinamakan *zincite*, namun pada umumnya produksi ZnO secara komersial dilakukan secara sintesis. ZnO memiliki tiga bentuk kristal berdimensi satu (1D) seperti *rod*, *tube*, *wire*, dan *nail*; berdimensi dua seperti *sheet*, *hexagon*, *tower*, dan *comb*, berdimensi tiga (3 D) seperti *flower*. Kelebihan ZnO adalah salah satu senyawa oksida yang memiliki celah pita lebar dibanding oksida-oksida logam yang lain (Zhang *et al.*, 2007). Struktur Kristal *wurtzite* ZnO ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Struktur Kristal ZnO (*wurtzite*). Parameter kisi $a = 3,24940 \text{ \AA}$, $b = 3,24940 \text{ \AA}$ dan $c = 5,20380 \text{ \AA}$. Pemodelan menggunakan VESTA.

Pada kondisi *ambien* (suhu ruang), struktur yang stabil adalah *wurtzite* dengan bentuk heksagonal. Struktur ZnO *zinc-blende* berbentuk kubus yang tersedia sebagai mineral di alam. Struktur *rocksalt* hanya dapat diperoleh pada tekanan tinggi, dari induksi tekanan yang menyebabkan transisi dari *wurtzite* ke *rocksalt* dengan tekanan sekitar 10 GPa (Ye *et al.*, 2020). ZnO sebagai semikonduktor dengan lebar energi gap besar, sangat potensial diaplikasi sebagai elektroda transparan dalam piranti elektroluminisens, dan material untuk piranti pemancar ultraviolet. Material semikonduktor ZnO juga memiliki beberapa sifat yang menguntungkan: mobilitas elektron yang tinggi, tahan pada temperatur tinggi, dan dapat memancarkan cahaya (Zhang *et al.*, 2019). Seng oksida sebagai material

keramik semikonduktor merupakan bahan dengan konduktivitas yang berada diantara isolator (penghantar listrik yang buruk) dan konduktor (penghantar listrik yang baik). Material semikonduktir bersifat sebagai isolator pada temperature yang sangat rendah namun pada temperature ruangan bersifat sebagai konduktor. Adapun tipe bahan semi konduktor dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



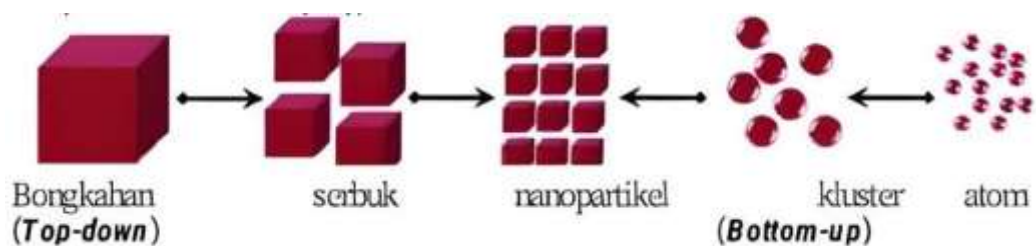
Gambar 2.2 Tipe Bahan Semi Konduktor (Tsay and Chiu,2020).

Dari **Gambar 2.2** dapat diketahui bahwa ZnO umumnya adalah semikonduktor tipe N, tetapi bisa diubah menjadi tipe p melalui teknik doping yang tepat, meskipun ini lebih sulit untuk dicapai dan dipertahankan. Semikonduktor sangat berguna karena sifat konduktifitasnya dapat dirubah dan dikontrol dengan memberi materi lain atau menambahkan ketidakmurnian (doping). Pada semikonduktor dikenal istilah pita valensi dan pita konduksi. Pita valensi merupakan pita yang terbentuk dari orbital molekul yang berikatan, sedangkan pita konduksi merupakan pita yang terbentuk dari molekul yang tidak berikatan. Material ZnO banyak digunakan dalam berbagai aplikasi mengacu pada sifat mekanisnya seperti, sifat katalitik, elektrik, optoelektronik, dan *photochemical* (Wei and Leon, 2020). ZnO sendiri biasanya diaplikasikan sebagai sensor karena ZnO akan mengalami peningkatan konduktivitas permukaan bila mengadsorpsi

dan sebagai oksida konduktif transparan (TCO), elektroda transparan dalam teknologi fotovoltaik, piranti elektroluminisens, fotokatalis, sel surya, nano laser, dan material untuk piranti pemancar ultraviolet (Nazarov *and* Popov, 2020).

2.2. Sintesis Nanopartikel ZnO

Secara umum, sintesis nanopartikel dapat dibagi meenjadi dua metode yaitu *top down* dan *bottom up*. Metode *top down* melibatkan pemecahan (*breaking*) padatan dengan mengaplikasikan daya eksternal kepada padatan tersebut hingga menyebabkannya terpecah menjadi partikel yang lebih kecil. Contoh dari metode *top-down* diantaranya litografi, dekomposisi termal, ablasi laser, penggilingan mekanis, penggoresan (pengetesan) dan *sputtering*. Sedangkan metode *bottom up* merujuk kepada proses dimana atom-atom bereaksi dengan substrat lain untuk membentuk nanomaterial yang diinginkan. Reaksi pada metode *bottom up* dapat dikatalisis oleh kekuatan luar. Contoh dari metode *bottom up* seperti hidrotermal atau pada pengendapan secara kimia (Zhang *et al*, 2018). Pendekatan *bottom up* lebih sering digunakan untuk preparasi nanoartikel yang melibatkan sistem homogen dimana katalis (agen pereduksi enzim) mensintesis struktur nano yang sifatnya dikontrol oleh sifat katalis, reaksi medium dan kondisi- kondisi lainnya seperti pelarut, stabilisator, suhu dan pH (Rai *and* Ingle, 2019). Dua pendekatan sintesis nanopartikel ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Dua pendekatan Sintesis Nanopartikel (Jiang, X., & Sun 2020).

Banyak cara yang dapat digunakan untuk menghasilkan material nano-ZnO baik secara kimia ataupun secara fisika. Metode tersebut diantaranya sintesis metode kimiawi basah, *solid state*, pengendapan, hidrotermal, dan solvotermal, dan solvotermal (Kumar *and* Kumar 2019). Akan tetapi metode sintesis secara fisika membutuhkan banyak waktu untuk mencapai stabilitas termal yang baik,

menggunakan banyak energi dan meningkatkan suhu di sekitar bahan sumber saat pemanasan menggunakan *furnace* (Li and Zhang, 2019). Selain itu sintesis nanopartikel dengan metode sintesis kimia menggunakan agen pereduksi yang keras sehingga reagen pada sintesis dengan metode kimia menimbulkan masalah beracun bersamaan dengan masalah lingkungan. Oleh karena itu diperlukan metode sintesis yang ramah lingkungan dan tidak beracun. *Green Synthesis* merupakan metode sintesis nanopartikel yang banyak diminati karena prosesnya sederhana, biaya yang cukup rendah, ramah lingkungan dan mudah ditingkatkan untuk skala yang besar (Khan and Al-Thabaiti, 2018).

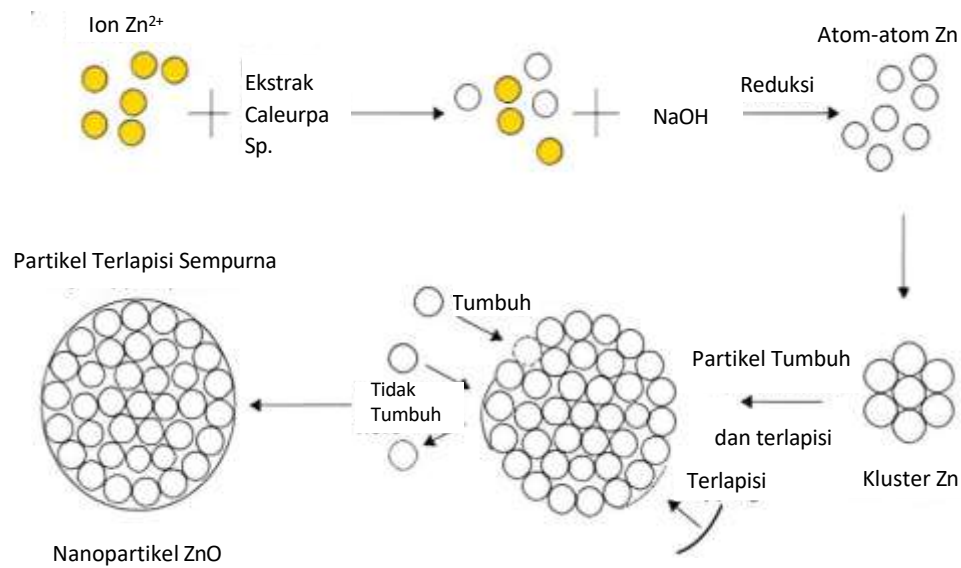
Metode *Green Synthesis* didefinisikan sebagai jalur sintesis secara biologi dengan memanfaatkan bakteri, jamur, atau tumbuhan untuk sintesis nanopartikel (Moghaddam and Nazari, 2020). Sintesis nanopartikel menggunakan tumbuhan memberikan beberapa keuntungan, seperti ramah lingkungan, kompatibel untuk aplikasi farmasi dan biomedis, biaya rendah, dan tidak perlu tekanan, energi dan temperatur yang tinggi serta tidak perlu bahan kimia yang beracun (Nath and Banerjee 2021). Dilaporkan pada penelitian sintesis nanopartikel perak dengan metode *Green Synthesis* penggunaan ekstrak tumbuhan untuk sintesis nanopartikel perak lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan mikroba karena unsur fitokimia yang ada pada ekstrak daun membantu mereduksi saat proses sintesis. Unsur fitokimia yang bertindak sebagai agen pereduksi dan *capping agent* yang memberikan stabilitas pada nanopartikel perak diantaranya steroid, saponin, karbohidrat, dan flavonoid (Kora and Rastogi, 2018).

Senyawa yang kemungkinan berperan sebagai agen Pereduksi dalam perubahan garam metal (prekursor) menjadi logam atau nanopartikel secara *green synthesis* antara lain merupakan kombinasi dari molekul yang terdapat dalam ekstrak tanaman seperti enzim, protein, asam amino, vitamin, poliskarida, asam organik seperti asam sitrat, senyawa metabolit sekunder seperti senyawa fenol, flavonoid, flavon, trafenoid, polifenil, fenolik, alkaloid, tannin, gugus karbonil, amida, amnida, pigmen dan agen pereduksi lainnya (Rajasekharreddy and Rani, 2018). Proses pembentukan ZnO selama proses sintesis berlangsung terjadi melalui mekanisme reaksi antara larutan $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ dengan rumput laut

Caulerpa sp. dan NaOH. Reaksi larutan $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan NaOH menghasilkan $\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{CH}_3\text{COONa}$ dan H_2O . Pembentukan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ diawali dengan terbentuknya larutan keruh yang transparan. Larutan keruh dan transparan kemudian berubah menjadi putih susu dan membentuk suatu koloid. Koloid terbentuk ketika Zn^{2+} dan OH^- mencapai pada angka kritikal kelarutan Sementara itu, kelebihan ion OH^- akan bereaksi dengan $\text{Zn}(\text{OH})_2$ membentuk kompleks $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$. Dengan adanya H_2O dan energi yang diberikan ketika larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer*, $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$ terdisosiasi kembali membentuk ion Zn^{2+} dan OH^- yang selanjutnya membentuk ZnO, melalui proses reduksi ion Zn^{2+} menjadi ZnO oleh gugus fungsi yang berasal dari *Caulerpa sp.* Reaksi secara kimiawi yang terjadi pada proses pencampuran $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ dan NaOH (Kumar and Kumar 2019).



Salah satu contoh mekanisme proses reaksi dan pembentukan nanopartikel ZnO secara keseluruhan dapat dilihat pada **Gambar 2.4**. Dalam biosintesis nanopartikel ZnO rumput laut *Caulerpa sp.* berperan sebagai reduktor sekaligus sebagai agen penstabil dan *capping agent*.



Gambar 2.4. Mekanisme proses reaksi reduksi dan pembentukan nanopartikel ZnO (Singh and Kapoor, 2018).

Kandungan fitokimia yang terkandung dalam ekstrak rumput laut dengan bantuan NaOH mereduksi ion-ion Zn^{2+} menjadi Zn. Lalu atom-atom Zn bergabung membentuk kluster Zn sehingga terjadi pertumbuhan partikel yang akan mempengaruhi pertumbuhan partikel. Gugus fungsi yang ada pada komponen biologi rumput laut berinteraksi dengan permukaan seng dan menyelubungi kluster Zn^0 yang terbentuk atau biasa disebut ‘*capping*’ sehingga tidak terjadi agregasi antar kluster Zn^0 dan membentuk nanopartikel ZnO yang stabil. Gugus hidroksi turut berperan untuk mengikat kluster Zn sehingga permukaan partikel diselubungi oleh ion-ion yang bermuatan negatif yang mengakibatkan adanya gaya tolak-menolak antar muatan sejenis sehingga dapat mencegah terjadinya agregasi antar nanopartikel (Shi *et al.*, 2018).

Bentuk dan ukuran nanopartikel sangat tergantung pada parameter media tumbuhan nanopartikel seperti pH, suhu, konsentrasi prekursor dan waktu paparan. pH larutan sebelum pembentukan nanopartikel menunjukkan pengaruh terhadap sintesis nanopartikel logam. pH mempengaruhi ukuran kemurnian partikel yang dihasilkan. Kemampuan berbagai gugus fungsi untuk mereduksi berkurang dengan adanya konsentrasi H^+ yang tinggi pada kondisi pH rendah. Namun

saat pH ditingkatkan, kemampuan berbagai gugus fungsi sebagai pereduksi meningkat sehingga meningkatkan kestabilan serta mencegah terjadinya aglomerasi seiring dengan meningkatnya ion OH. Semakin besar rasio molar prekursor yang digunakan menyebabkan semakin besar diameter ukuran partikel ZnO. Konsentrasi Zn^{2+} yang rendah membentuk nanopartikel dengan bentuk kristal tunggal. Konsentrasi yang tinggi menyebabkan nanopartikel membentuk polikristal dikarenakan sumber ion Zn^{2+} sudah lewat jenuh (Shi *et al*, 2018).

2.3. Pendispersian ZnO Pada PE

Pendispersian nanopartikel ZnO dalam matriks polimer seperti PE menjadi topik penelitian yang menarik karena sifat-sifat unik yang dihasilkan. Nanopartikel ZnO memiliki sifat fotokatalitik, antimikroba, dan sifat optik yang unggul, yang dapat meningkatkan kinerja bahan polimer. Proses pendispersian ini perlu dilakukan dengan baik agar nanopartikel tersebar secara merata dan tidak mengalami aglomerasi, sehingga dapat memberikan efek yang diinginkan pada lapisan tipis yang dihasilkan (Huang *et al*, 2021). Berikut langkah-langkah pendispersian nanotinia pada bahan PE Menurut Huang *et al*, (2019).

1) Pemilihan Nano ZnO

Tahap awal adalah pemilihan nano ZnO yang sesuai dengan mempertimbangkan ukuran partikel dan sifat permukaannya agar sesuai dengan aplikasi yang diinginkan dan sifat-sifat yang diharapkan dari lapisan tipis yang akan dihasilkan.

2) Pencampuran

Langkah ini melibatkan pencampuran homogen nano ZnO dengan polietilen menggunakan teknik mekanis atau pengadukan. Tujuannya adalah untuk mencapai distribusi yang merata dari partikel nanotitania dalam matriks polietilena.

3) Penggunaan Agen Pengikat

Dalam beberapa kasus, agen pengikat atau agen pengisi digunakan untuk meningkatkan interaksi antara nano ZnO dan PE, yang membantu dalam mencapai

dispersi yang lebih baik dan memperkuat ikatan antara kedua material tersebut.

4) Proses Pengolahan

Setelah pencampuran, lapisan tipis dibentuk melalui proses pengolahan seperti ekstrusi atau pencetakan. Proses ini menentukan bentuk akhir dan ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan. Proses ini menentukan bentuk akhir dan ketebalan lapisan tipis yang dihasilkan.

5) Analisis dan Karakterisasi

Langkah terakhir adalah analisis dan karakterisasi lapisan tipis yang dihasilkan, menggunakan mikroskop elektron, analisis termal, atau uji sifat mekanik seperti uji intensitas sinar UV. Hal ini penting untuk memastikan bahwa lapisan tipis memenuhi standar kualitas yang diinginkan dan sesuai dengan aplikasi yang dituju. Berdasarkan penelitian (Fricilia *et al.*, 2019) pembuatan polietilena-nanotitanium dilakukan dengan pencampuran antara polietilena dan nanotitanium. Langkah pertama yaitu, polietilena dilelehkan terlebih dahulu menggunakan toluena di atas *hotplate* pada suhu 80 °C selama 15 menit sampai menjadi larutan. Kemudian polietilena yang sudah meleleh dicampurkan dengan nano ZnO dengan jumlah gramasi yang diinginkan. Setelah itu distirrer. Hasil campuran PE/ZnO dicetak menggunakan *barcoater* untuk menghasilkan lapisan dengan ukuran 6 µm, 12 µm, dan 25 µm.

Proses pelapisan dilakukan sebanyak 1 kali. Setelah itu sampel PE/ZnO tadi dikeringkan sampai bisa dikelupas dari substrak yang digunakan. Setelah itu dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM. Variasi komposisi dari keenam sampel tersebut ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1. Variasi komposisi sampel, perbandingan konsentrasi PE (gr) dengan nanosengoksida dan ketebalan (μm).

No	Sampel	Perbandingan PE dengan nanosengoksida (gram)	Ketebalan (μm)
1	A6	1: 5	6
2	A12	1: 5	12
3	A25	1: 5	25
4	B6	1: 10	6
5	B12	1: 10	12
6	B25	1: 10	25

2.4. Karakterisasi Material

2.4.1 *Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive Spectroscopy (SEM-EDS)*

SEM adalah alat yang dapat digunakan untuk mengamati dan menganalisis struktur mikro dan morfologi berbagai material. SEM memiliki kemampuan dimana sumber energi yang digunakan adalah berkas elektron, sehingga menghasilkan resolusi dan kedalaman fokus yang tinggi. Oleh karena resolusi yang tinggi, tekstur, topografi, morfologi serta tampilan permukaan sampel dapat terlihat dalam ukuran mikron. SEM juga memberikan informasi dalam skala atomik dari suatu sampel (Griffin *and* Riessen, 1991). Skema kerja alat SEM, berawal dari elektron primer yang keluar dari sumber elektron dengan energi yang sangat besar melewati anoda. Anoda berfungsi menyerahkan elektron menuju titik fokus, membatasi dan mengeleminasi pancaran elektron yang memiliki sudut hambur terlalu besar. Setelah melewati anoda berkas elektron diteruskan menuju lensa magnetik, agar elektron terfokuskan dan menuju kumparan pemindai hingga sampai ke sampel. Gambar alat SEM disajikan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5. Alat karakterisasi SEM (Laboratorium Sentral dan Inovasi Universitas Lampung) (Dokumen pribadi).

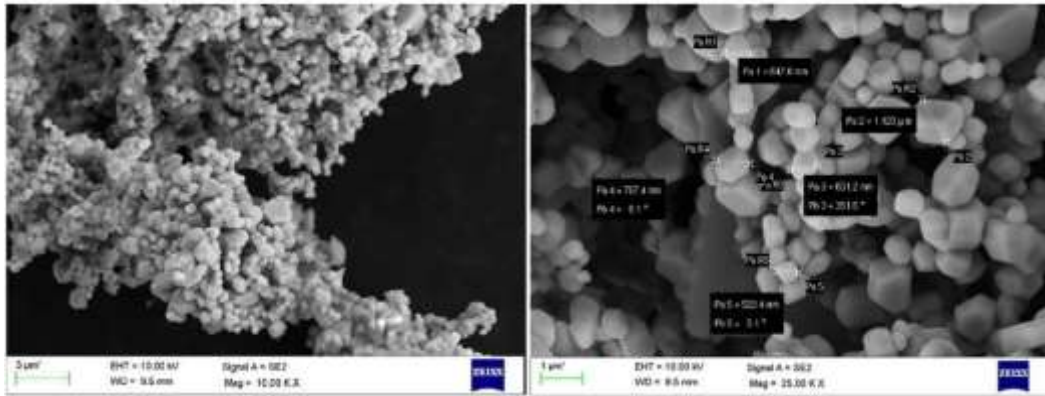
Electron Gun merupakan sumber elektron dari bahan material yang menggunakan energy tegangan tinggi sekitar 10-40 kV. Adapun material yang biasa digunakan yaitu tungsten dan lantanum atau *Hexaboride cerium* (LaB_6 atau CeB_6). Tungsten yang sering digunakan sebagai *electron gun* dalam SEM-EDS. Adanya energi panas pada bahan material akan diubah menjadi energi kinetik oleh elektron sehingga ada pergerakan elektron. Semakin besar panas yang diterima maka energi kinetiknya akan semakin besar sehingga pergerakan elektron semakin cepat dan tidak menentu yang mengakibatkan elektron tersebut terlepas dari permukaan bahan material. Bahan yang digunakan sebagai sumber elektron disebut sebagai emitter atau lebih sering disebut katoda sedangkan bahan yang menerima elektron disebut sebagai anoda atau *plate* dalam instrument SEM-EDS.

Magnetic lens terdiri dari dua buah (kodensator) bekerja untuk memfokuskan arah elektron. Selain itu, lensa magnetik juga berfungsi untuk menguatkan elektron sehingga informasi gambar yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik. *Scanning foil* berfungsi untuk mengumpulkan berkas sinar elektron, karena pada dasarnya elektron yang dipancarkan ke sampel tidak terjadi secara kontinu melainkan berupa paket-paket energi. Setelah terjadi tumbukan antara elektron dan sampel, detektor akan merekam interaksi yang terjadi pada sampel. Detektor *secondary electron* (SE) merupakan sebuah sintilator yang akan menghasilkan cahaya jika

mengenai elektron, cahaya tersebut akan dikonversi menjadi sinyal elektrik oleh *photomultiplier*. Dalam sintilator terdapat potensial positif yang digunakan untuk mempercepat aliran SE, sehingga SE yang memiliki energi rendah (beberapa volt) dapat ditangkap detektor dengan baik. Sedangkan detektor *backscattered electron* (BSE) yang juga terdapat sintilator dapat menerima sinyal BSE tanpa adanya beda potensial, karena pada dasarnya BSE sudah memiliki energi yang cukup tinggi untuk diterima oleh detektor BSE.

SE dan BSE dimanfaatkan dalam SEM-EDS sebagai analisis bahan material yang didasarkan pada tingkat energi dan tentunya menggunakan spektrometer jenis *energy dispersive* (ED). Karena spektrometer jenis ED diakui memiliki akurasi yang tinggi untuk menganalisis jenis unsur pada bahan material. Berbeda dengan alat XRD yang menggunakan spektrometer jenis *wave dispersive* (WD) dengan analisis yang didasarkan pada panjang gelombang untuk mengetahui senyawa pada bahan material. SE adalah sebuah pancaran elektron yang dihasilkan akibat interaksi elektron dengan sampel. SE berasal dari interaksi elektron yang energinya rendah (kurang dari 50 eV) dan hanya mampu berinteraksi pada permukaan sampel, maka informasi yang dapat diambil dari SE yaitu mencakup bentuk permukaan sampel (topografi).

BSE dihasilkan oleh interaksi elektron yang memiliki energi tinggi sebagai akibat adanya hamburan elastik. Energi yang dimiliki elektron ini mampu berinteraksi dengan sampel hingga menembus lapisan permukaan sampel. Informasi yang diperoleh dari elektron BSE mencakup morfologi struktur pada bahan material. Adanya interaksi elektron yang menghasilkan SE dan BSE pada alat SEM-EDS, maka alat ini digunakan untuk menganalisis permukaan sampel (topografi) dan morfologi struktur (elemen) dari suatu bahan material. Tampilan gambar morfologi permukaan serta spektrum komposisi unsur sampel yang diperoleh dari hasil karakterisasi SEM dan EDS akan tampak seperti pada **Gambar 2.6**.



Gambar 2.6 Morfologi nano ZnO menggunakan SEM (Kumar *et al.*, 2020).

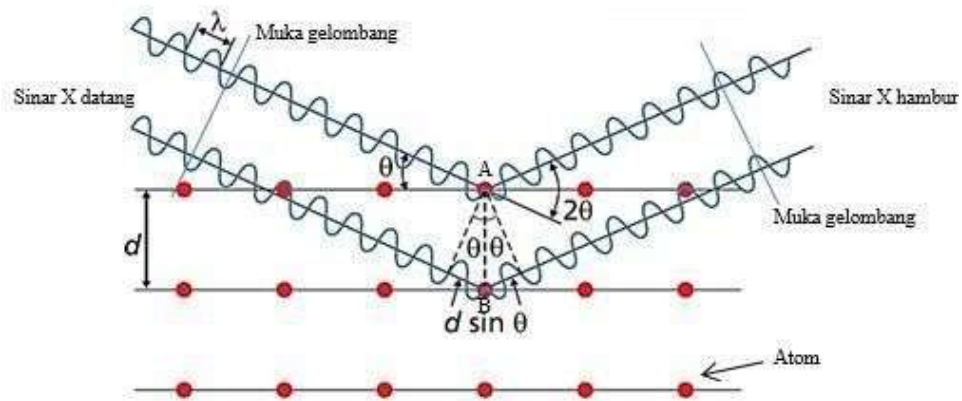
Gambar 2.6 menunjukkan partikel yang terbentuk cukup baik. kebanyakan partikel memiliki bentuk hexagonal. Rata-rata ukuran kristalit diperoleh dari gambar histogram SEM dengan dihitung menggunakan aplikasi *imagej*. Berdasarkan dari histogram SEM kebanyakan partikel memiliki ukuran pada orde 500 nm. Terdapat perbedaan dalam rata-rata ukuran partikel yang diperoleh dengan XRD (18 nm) dan hasil SEM (500 nm). Hal ini karena gambar yang dihasilkan oleh SEM diambil hanya dari sebagian kecil sampel, kemungkinan bagian sampel yang diambil oleh gambar SEM pada ukuran yang besar.

2.4.2. X-Ray Diffraction (XRD)

XRD adalah teknik analisis yang bertujuan untuk mengetahui pembentukan fasa pada material. Prinsip dasar kerja XRD adalah pendifraksian sinar X oleh bidang-bidang atom dalam kristal padatan. Tembakan sinar-X monokromatis kepada struktur kristal tersebut memberikan interferensi yang konstruktif (Cullity, 1978). Sinar-X telah ditemukan pada tahun 1985 oleh fisikawan Jerman Roentgen. Sinar-X merupakan radiasi elektromagnetik mirip dengan sinar tampak, namun sinar-X memiliki panjang gelombang yang lebih pendek. Sinar-X adalah radiasi elektromagnetik dengan rentang panjang gelombang kurang lebih dari 0,01 nm hingga 10 nm (energinya kurang lebih dari 100 eV hingga 100 keV). Panjang gelombang tersebut sama dengan orde konstanta kisi kristal, sehingga sinar-X sangat berguna untuk menganalisis struktur kristal.

Jika sinar-X dikenai pada suatu material, maka intensitas sinar yang dihamburkan akan lebih rendah dari intensitas sinar yang datang. Hal ini disebabkan adanya

penyerapan oleh material dan juga penghamburan oleh atom-atom dalam material tersebut. Berkas sinar yang dihamburkan tersebut ada yang saling menghilangkan, karena fasanya berbeda dan ada yang saling menguatkan karena fasanya sama. Berkas sinar yang saling menguatkan itulah yang disebut sebagai berkas difraksi sinar-X. Intensitas sinar-X terdifraksi bergantung pada berbagai faktor. Faktor-faktor yang mempengaruhi tersebut berasal dari polarisasi sinar-X, penyerapan sinar-X, faktor geometri, posisi dan getaran atom-atom karena adanya pengaruh temperatur (Smallman *and* Bishop, 1995). Peristiwa difraksi yang terjadi pada kisi kristal, dapat dilukiskan seperti **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7. Difraksi sinar-X pada kristal. d = jarak antar bidang (Smallman *and* Bishop, 1995).

Seberkas sinar-X pertama dengan panjang gelombang λ yang mengenai atom pada bidang pertama dan sinar-X kedua dengan panjang gelombang λ jatuh pada kristal dengan sudut θ terhadap permukaan bidang kristal yang jaraknya adalah d . Seberkas sinar-X pertama yang mengenai atom A pada bidang pertama dan sinar-X kedua yang mengenai atom B pada bidang berikutnya mengakibatkan masing-masing atom menghambur dalam arah rambat. Sinar yang berinterferensi saling menguatkan terjadi ketika sinar-sinar yang terdifraksi beda lintasannya sebesar kelipatan bulat dari panjang gelombang.

Difraksi akan saling menguatkan jika terpenuhi Persamaan Bragg pada Persamaan (2.5).

$$\lambda = 2 d \sin \theta \quad (2.5)$$

dengan d adalah jarak antar bidang atom dalam kristal (m), λ adalah panjang gelombang sinar-X (m) dan θ adalah sudut difraksi ($^{\circ}$).

Karakterisasi menggunakan metode difraksi merupakan metode analisis yang penting untuk menganalisis suatu kristal. Karakterisasi XRD dapat digunakan untuk menentukan struktur, ukuran butir, konstanta kisi, dan FWHM (Smallman and Bishop, 1995). Data yang diperoleh dari metode XRD adalah sudut hamburan dan intensitas cahaya difraksi. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu. Untuk menghitung besar ukuran partikel dapat menggunakan persamaan Dybe Sherrer yaitu pada Persamaan (2.6).

$$D = \frac{K\lambda}{B \cos \theta} \quad (2.6)$$

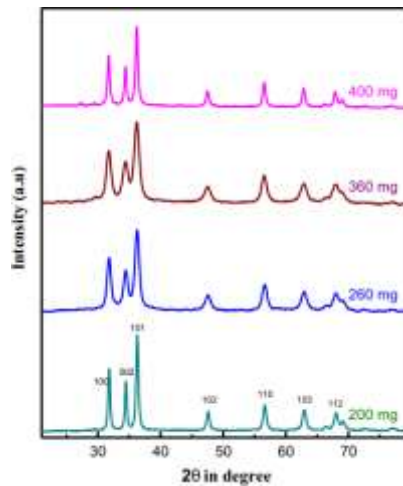
Dengan D adalah ukuran partikel (nm), K adalah konstanta, B adalah Pelebaran puncak difraksi pada setengah tinggi maksimum (FWHM) (rad), θ adalah sudut bragg (rad).

Prinsip kerja XRD secara umum adalah sebagai berikut:

- a. XRD terdiri dari tiga bagian utama, yaitu tabung sinar-X, tempat objek yang diteliti, dan detektor sinar-X.
- b. Sinar-X dihasilkan pada tabung sinar-X yang berisi katoda dan memanaskan filamen, sehingga menghasilkan elektron.
- c. Perbedaan tegangan menyebabkan percepatan elektron akan menembaki objek. Ketika elektron mempunyai tingkat energi yang tinggi dan menabrak elektron dalam objek sehingga dihasilkan pancaran sinar-X.
- d. Objek dan detektor berputar untuk menangkap dan merekam intensitas refleksi sinar-X. Detektor merekam dan memproses sinyal sinar-X dan mengolahnya dalam bentuk grafik.

Kumar *et al* (2020) telah melakukan penelitian mengenai sintesis nanopartikel ZnO menggunakan getah tanaman *Euphorbia jatropa* sebagai agen pereduksi.

Kemudian hasil nanopartikel ZnO tersebut dikarakterisasi dengan XRD. Hasil karakterisasi tersebut ditunjukkan oleh Gambar 2.8.

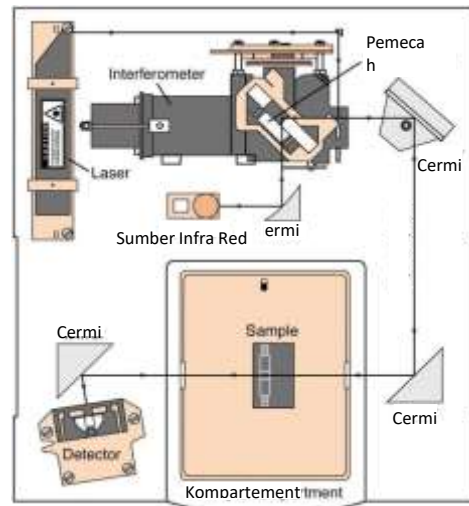


Gambar 2.8 Karakterisasi Nano ZnO dengan XRD (Kumar *et al* (2020)).

Gambar 2.8 menunjukkan hasil karakterisasi nano ZnO menggunakan XRD dengan variasi ekstrak tumbuhan sebesar 400 mg, 360 mg, 260 mg, dan 200 mg dengan panjang gelombang sinar-X yang digunakan sebesar $1,5405 \text{ \AA}$. terlihat dari **Gambar 2.8** puncak yang didapatkan dari hasil uji menggunakan XRD merupakan puncak milik ZnO.

2.4.3. *Fourier Transformation Infra Red (FTIR)*

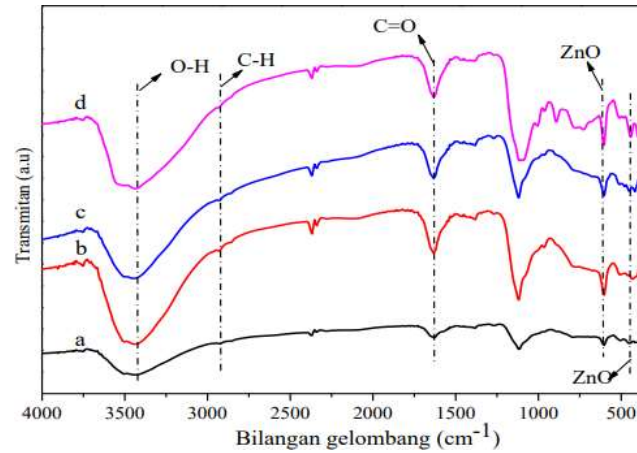
FTIR adalah spektrofotometer yang memanfaatkan sinar inframerah dekat, ialah sinar yang berada pada jangkauan panjang gelombang $2,5 - 25 \mu\text{m}$ atau jangkauan frekuensi $400-4000 \text{ cm}^{-1}$. Sinar ini muncul akibat vibrasi atom-atom pada posisi kesetimbangan dalam molekul dan kombinasi vibrasi dengan rotasi menghasilkan spektrum vibrasi rotasi (Harley *and* Wiberley, 1954) seperti pada **Gambar 2.9**.



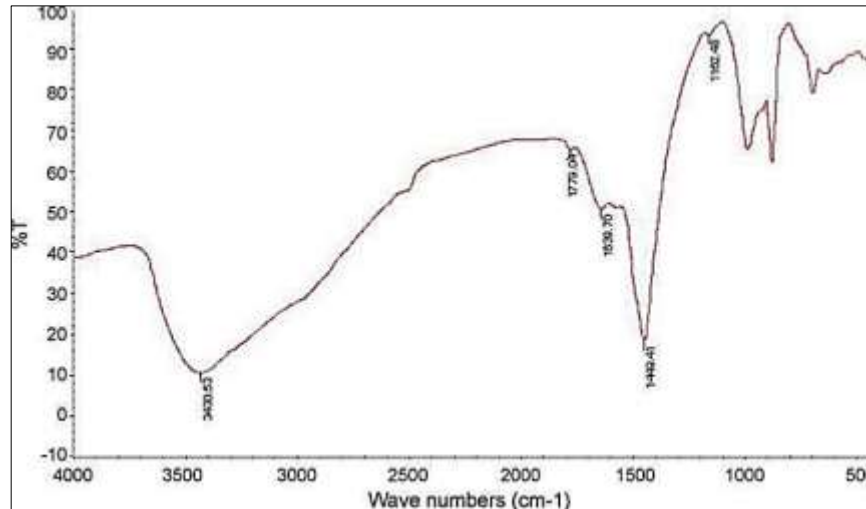
Gambar 2.9. Skema FTIR (Harley *and* Wiberley, 1954).

Berdasarkan **Gambar 2.9** prinsip kerja pada FTIR adalah sebagai berikut: Sinar dari sumber dibagi menjadi dua berkas, yakni satu berkas melalui cuplikan (berkas cuplikan) dan satu berkas lainnya sebagai baku, kedua 18 berkas itu dipantulkan oleh chopper yang berupa cermin berputar (~ 10 x perdetik). Hal ini menyebabkan berkas cuplikan dan berkas baku dipantulkan secara bergantian ke kisi difraksi. Kisi difraksi berputar lambat, dan setiap frekuensi dikirim ke detektor yang mengubah energi panas menjadi energi listrik. Jika pada frekuensi cuplikan menyerap sinar, detektor akan menerima intensitas berkas baku yang besar dan berkas cuplikan yang lemah secara bergantian. Hal ini menimbulkan arus bolak balik dalam detektor lalu akan diperkuat oleh amplifier. Arus bolak-balik yang terjadi digunakan untuk menjalankan suatu motor yang dihubungkan dengan suatu alat penghalang berkas sinar yang disebut baji optik. Gerakan baji dihubungkan pena alat rekorder sehingga gerakan baji ini merupakan pita serapan pada spektra (Harley dan Wiberley, 1954).

Pada penelitian yang dilakukan Khan (2018) dilakukan karakterisasi FTIR dari nanopartikel yang terbentuk setelah sintesis nano ZnO dengan penambahan ekstrak daun suji dengan tujuan untuk mengetahui gugus-gugus fungsi yang terdapat dalam nanopartikel ZnO. Hasil karakterisasi tersebut ditunjukkan pada

Gambar 2.10.**Gambar 2.10** Karakterisasi menggunakan FTIR (Lee *et al.*, 2020).

Gambar 2.10 menunjukkan bilangan gelombang dengan lebar pita antara 3200-3600 cm^{-1} berpusat pada 3441,01 cm^{-1} dan 3448,72 cm^{-1} , hal tersebut disebabkan karena getaran peregangan ikatan kimia dari gugus -OH yang dapat berasal dari molekul air yang diabsorpsi oleh ZnO atau dapat menunjukkan adanya pembentukan ikatan hidrogen. Puncak pada daerah 1635,64 cm^{-1} menunjukkan vibrasi tekuk -OH, yang kemungkinan disebabkan oleh adanya permukaan ZnO yang masih menempel molekul air. Kemudian puncak ZnO muncul pada bilangan gelombang 447,48-486,06 cm^{-1} dan 601,79 cm^{-1} . Sedangkan penelitian Lee *et al.*, (2020) tentang Peningkatan aktivitas fotokatalitik lapisan tipis doping nanopartikel ZnO diperoleh hasil uji FTIR seperti pada **Gambar 2.11**.



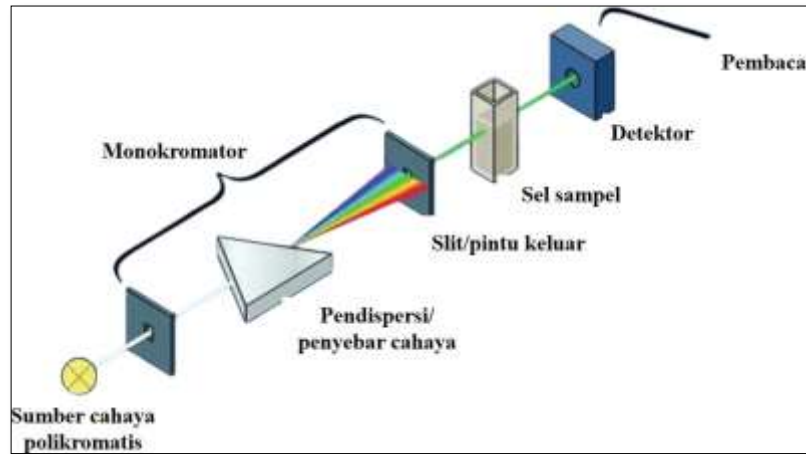
Gambar 2.11. Hasil uji FTIR lapisan tipis ZnO dengan doping nanopartikel ZnO (Lee *et al.*, 2020).

Puncak di rentang $400\text{-}550\text{ cm}^{-1}$ mengindikasikan adanya vibrasi stretching dari ikatan Zn-O, yang menunjukkan keberadaan ZnO dalam lapisan tipis. vibrasi stretching Zn-O umumnya terletak di rentang ini, yang merupakan ciri khas dari struktur ZnO.

2.4.3. Spektroskopi Ultraviolet Visible (UV-Vis)

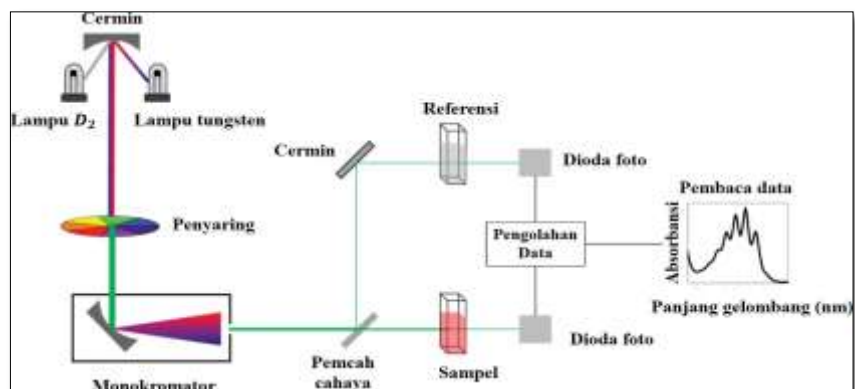
Spektroskopi UV-Vis digunakan untuk mengukur absorbansi atau transmitansi lapisan tipis pada berbagai panjang gelombang *ultraviolet-visible*. Dengan mengukur spektrum absorbansi, dapat dievaluasi efisiensi lapisan dalam memblokir sinar ultraviolet. Secara umum UV-Vis terbagi menjadi dua jenis yaitu berkas tunggal dan berkas ganda. Berkas tunggal dapat digunakan secara kuantitatif yang berfungsi dalam pengukuran absorbansi pada gelombang tunggal. Beberapa keuntungan dari berkas tunggal antara lain, penggunaan yang sederhana dan harganya murah dan dapat menghasilkan panjang gelombang tunggal untuk mengukur sinar UV dan sinar tampak. Panjang gelombang terendah dari berkas tunggal adalah $190\text{--}210\text{ nm}$ dan tertinggi adalah $800\text{-}1000\text{ nm}$ (Skoong *et al.*, 2013). Berkas tunggal memiliki prinsip kerja yaitu sinar yang berasal dari sumber sinar berupa polikromatis (untuk sinar UV berupa lampu deuterium dan sinar tampak lampu wolfram) diteruskan melalui slit atau pintu masuk dilanjutkan ke bagian pendispersi oleh monokromator sehingga menjadi monokromatis, cahaya inilah yang akan mengenai sampel dan akan diteruskan ke detektor yang berfungsi

sebagai penangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan akan dibaca oleh detektor. Diagram UV-Vis jenis berkas tunggal seperti pada **Gambar 2.12**.



Gambar 2.12. Diagram spektrofotometer UV-Vis berkas tunggal (Skoong *et al.*, 2013).

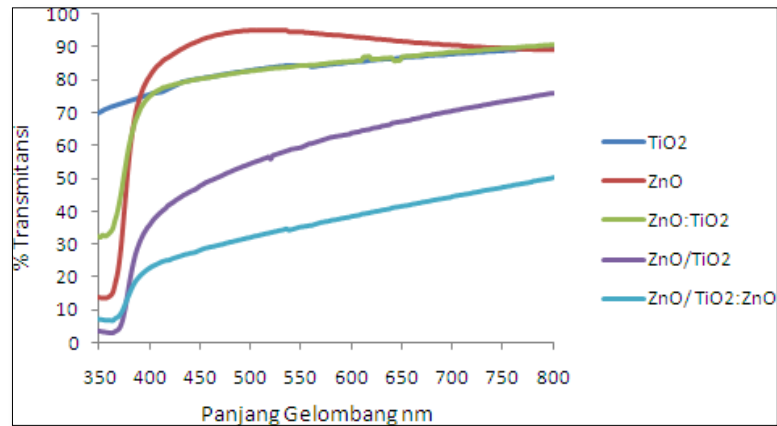
UV-Vis jenis berkas ganda merupakan instrumen yang digunakan pada panjang gelombang berkisaran 190-750 nm. Berkas ganda sendiri memiliki dua sinar yang dibentuk oleh potongan cermin dengan bentuk V yang disebut sebagai pemecah sinar. Sinar yang pertama melewati blanko dan sinar kedua melewati sampel secara serentak (Skoong *et al.*, 2013). Sel sampel berupa kuvet yang terbuat dari kuarsa atau gelas memiliki lebar yang bervariasi. Detektor berupa detektor foto, detektor panas, atau detektor dioda foto. Detektor ini berfungsi menangkap cahaya yang diteruskan dari sampel dan mengubahnya menjadi arus listrik. Berikut diagram spektrometer UV-Vis jenis berkas ganda seperti pada **Gambar 2.13**.



Gambar 2.13. Skema spektrometer UV-Vis berkas ganda (Skoong *et al.*, 2013).

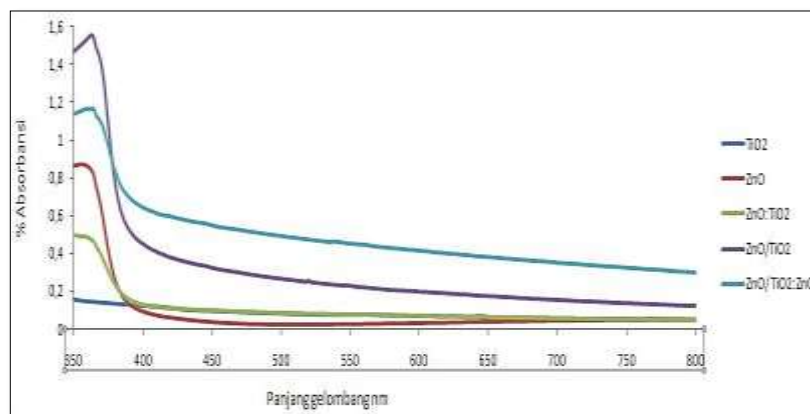
Spektrum UV-Vis digambarkan dalam bentuk dua dimensi, umumnya berbentuk

pita lebar, pelebaran pita terjadi disebabkan oleh energi yang diabsorbansi. Hal ini selain menyebabkan transisi elektronik juga adanya transisi rotasi elektron dan vibrasi elektron ikatan dalam molekul. Hasil uji Spektrum transmitansi dan absorbansi UV-Vis lapisan tipis TiO_2 , ZnO , $\text{TiO}_2:\text{ZnO}$, ZnO/TiO_2 dan $\text{ZnO}/\text{TiO}_2:\text{ZnO}$ menurut Amananti dan Sutanto, (2015) ditunjukkan pada **Gambar 2.14** dan **Gambar 2.15**.



Gambar 2.14. Spektrum transmitansi UV-Vis lapisan tipis TiO_2 , ZnO , $\text{TiO}_2:\text{ZnO}$, ZnO/TiO_2 dan $\text{ZnO}/\text{TiO}_2:\text{ZnO}$ (Amananti dan Sutanto, 2015).

Gambar 2.14 menunjukkan bahwa lapisan tipis TiO_2 , ZnO , dan $\text{TiO}_2:\text{ZnO}$ tanpa lapisan penyangga ZnO memiliki nilai transmitansi yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan lapisan penyangga. Hal ini menunjukkan lapisan tipis TiO_2 , ZnO , dan $\text{TiO}_2:\text{ZnO}$ tanpa lapisan penyangga lebih transparan dan dapat melewatkan cahaya tampak dengan intensitas yang lebih tinggi.



Gambar 2.15. Spektrum absorbansi UV-Vis lapisan tipis TiO_2 , ZnO , $\text{TiO}_2:\text{ZnO}$, ZnO/TiO_2 dan $\text{ZnO}/\text{TiO}_2:\text{ZnO}$ (Amananti dan Sutanto, 2015).

Gambar 2.15 menunjukkan lapisan tipis TiO_2 dan $\text{TiO}_2\text{:ZnO}$ tanpa lapisan penyangga mengalami penyerapan pada wilayah UV (300–380 nm). Nilai rata-rata absorbansi lapisan tipis TiO_2 terlihat lebih rendah dibandingkan dengan lapisan tipis $\text{TiO}_2\text{:ZnO}$ yang disebabkan adanya penambahan ZnO pada TiO_2 . Apabila dilihat dari bentuk fisik lapisan tipis $\text{TiO}_2\text{:ZnO}$ terlihat lebih tebal dibandingkan dengan TiO_2 . Semakin tebal lapisan maka nilai absorbansi akan semakin tinggi. Hal ini dikarenakan banyaknya atom-atom bahan yang terlibat dalam proses penyerapan berkas cahaya.

Puncak absorbansi lapisan tipis TiO_2 dan $\text{TiO}_2\text{:ZnO}$ dengan lapisan penyangga bergeser ke arah panjang gelombang yang lebih besar berada pada sekitar panjang gelombang 380–400 nm (ke arah cahaya tampak) dibandingkan dengan lapisan tipis TiO_2 dan $\text{TiO}_2\text{:ZnO}$ tanpa lapisan penyangga. Hal ini sebabkan pelapisan yang dilakukan dua kali untuk membentuk lapisan ZnO/ TiO_2 dan ZnO/ $\text{TiO}_2\text{:ZnO}$, sehingga lapisan permukaan TiO_2 dan $\text{TiO}_2\text{:ZnO}$ dengan lapisan penyangga lebih tebal jika dibandingkan lapisan TiO_2 maupun $\text{TiO}_2\text{:ZnO}$ tanpa lapisan penyangga yang hanya sekali pelapisan. Dapat disimpulkan berdasarkan **Gambar 2.14** dan **Gambar 2.15** bahwa semakin tidak transparan lapisan akan menyebabkan nilai absorbansi semakin besar dan nilai transmitansi semakin kecil.

2.5. Teori dan Mekanisme Penyerapan Cahaya

Ketika cahaya melewati sebuah medium, seperti larutan atau gas, sebagian cahaya tersebut dapat diserap oleh molekul-molekul dalam medium tersebut. Proses ini terjadi ketika energi foton cahaya cocok dengan selisih energi antara dua keadaan energi yang berbeda dalam molekul. Molekul menyerap energi foton ini dan meloncat dari keadaan energi rendah ke keadaan energi tinggi (D'Ulivo *et al.*, 2005). Koefisien serapan (*absorption coefficient*) adalah ukuran dari seberapa efektif suatu bahan menyerap cahaya pada suatu panjang gelombang tertentu. Koefisien serapan, biasanya dilambangkan sebagai α , dapat dihitung dengan menggunakan hukum Beer-Lambert. Hukum Beer-Lambert menyatakan bahwa intensitas penyerapan cahaya oleh suatu larutan secara logaritmik terkait dengan konsentrasi larutan, ketebalan *cuvette* atau wadah larutan, serta koefisien serapan

pada panjang gelombang tertentu. Hukum Beer-Lambert dinyatakan pada Persamaan (2.7).

$$A = \epsilon \cdot c \cdot l \quad (2.7)$$

dengan mensubsitusikan nilai A diperoleh Persamaan (2.8)

$$I = I_0 e^{-\epsilon \cdot c \cdot l} \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.8) diperoleh bahwa penentuan besar koefisien attenuasi pada suatu larutan seperti pada persamaan (2.9)

$$\epsilon = -\frac{1}{cl} \ln \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (2.9)$$

dengan (A) Absorbansi, (I) intensitas penyerapan cahaya (W/m^2), (c) konsentrasi zat penyerap dalam larutan (mol/L), (l) ketebalan *cuvette* atau wadah larutan (m), serta (ϵ) koefisien serapan (L/mol.cm).

Persamaan (2.7) tidak berlaku pada material solid atau padat karena dalam larutan, konsentrasi menggambarkan jumlah molekul penyerap cahaya dalam volume larutan sedangkan pada material padat atau lapisan tipis, tidak ada larutan homogen, Sebagai gantinya, distribusi molekul penyerap dinyatakan dalam bentuk densitas (jumlah molekul atau atom per satuan luas atau volume) atau sifat optik intrinsik seperti indeks bias dan koefisien ekstinsi. Oleh karena itu, hasil kali nilai koefisien attenuasi pada larutan dengan konsentrasi larutan akan senilai dengan koefisien attenuasi pada material solid seperti pada Persamaan 2.10.

$$\alpha = \epsilon \cdot c \quad (2.10)$$

dengan (α) koefisien atenuasi (cm^{-1}) memiliki makna fisis tentang kemampuan material untuk menyerap cahaya berdasarkan sifat intrinsik material. Namun, dalam material padat atau lapisan tipis, nilai dinyatakan dalam satuan per panjang (cm^{-1} atau m^{-1}), menggambarkan probabilitas penyerapan per satuan panjang material. Sifat ini lebih bergantung pada parameter seperti energi band gap, struktur mikro, dan kepadatan molekul penyerap dalam material padat. Selain itu, dalam lapisan tipis, ketebalan lapisan tipis biasanya dalam skala nanometer hingga mikrometer, sehingga konsentrasi molekul penyerap dalam volume kecil sulit dihitung, sebagai gantinya absorbansi langsung dikaitkan dengan ketebalan dan

koefisien atenuasi tanpa memperhatikan konsentrasi.

Dengan mensubstitusikan Persamaan (2.10) ke Persamaan (2.8) diperoleh Persamaan (2.11).

$$I = I_0 e^{-\alpha l} \quad (2.11)$$

Dalam konteks ini, koefisien serapan tidak hanya bergantung pada konsentrasi larutan, tetapi juga pada ketebalan lapisan tipis. Persamaan Hukum Beer-Lambert untuk kasus lapisan tipis dinyatakan pada Persamaan (2.11). Dari persamaan (2.11) diperoleh bahwa penentuan besar koefisien serapan pada lapisan tipis seperti pada Persamaan (2.19).

$$\alpha = -\frac{1}{l} \ln\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (2.12)$$

Dengan koefisien serapan pada lapisan tipis (α) dan ketebalan lapisan tipis (l) (Lambert and Shurvell, 1987). Jika intensitas awal (I_0) dan pengukuran (I) sudah diketahui maka dapat diperoleh nilai absorbansi dan transmitansi seperti pada Persamaan (2.13) dan Persamaan (2.14).

$$A = -\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (2.13)$$

$$T = \left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (2.14)$$

Dengan Transmitansi (T) dan Absorbansi (A) (Skoog *et al.*, 2013).

2.6. Polietilena

Polietilena adalah polimer yang tersusun dari molekul molekul etilena yang saling terhubung membentuk rantai panjang. Molekul etilena terdiri dari dua atom karbon yang terhubung oleh ikatan rangkap dua (C=C) dan empat atom hidrogen yang memiliki rumus kimia (C₂H₄)_n dengan karakteristik bahan yaitu lunak sampai yang kaku dan bersifat kuat. PE merupakan polimer termoplastik yang banyak digunakan untuk pembuatan material komposit (Liu *et al.*, 2003).

Teknologi komposit terus berkembang hingga saat ini sebenarnya telah mampu mengatasi permasalahan yang muncul pada saat pencampuran dua bahan atau

lebih dengan sifat yang berbeda. Proses pembuatan polimer komposit dilakukan dengan cara menggabungkan dua material yang memiliki karakteristik berbeda sehingga dapat meningkatkan sifat mekanik dari material tersebut. Polimer komposit diproduksi dengan menggabungkan dua bahan yang berbeda untuk meningkatkan sifat mekanik dari bahan tersebut. Polimer komposit dengan rekayasa material dapat dilakukan pada dimensi skala nano. Sejumlah penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan filler berskala nano untuk membuat komposit dapat meningkatkan sifat material tersebut (Aoyama *et al.*, 2001). Menurut Kubota, (1992) PE memiliki dua macam yaitu PE densitas rendah atau *low density polyethylene* (LDPE) dan PE densitas tinggi *high density polyethylene* (HDPE). PE densitas rendah relatif lemas dan kuat, digunakan antara lain untuk pembuatan gelas plastik, plastik lembaran dan lain-lain.

2.6.1. High Density Polyethylene (HDPE)

Plastik HDPE jika lihat secara kasat mata, plastik HDPE memiliki warna yang kuat serta pekat dan biasa digunakan untuk tempat sabun, botol minum, wadah kosmetik, botol oli dan barang berbahan plastik lainnya. Plastik jenis HDPE tergolong plastik yang mudah untuk di daur ulang, karenanya HDPE banyak yang menggunakannya untuk di daur ulang kembali. Plastik HDPE terbuat dari bahan baku ethylene dengan melalui proses yang disebut proses katalis atau katalisator. Adapun contoh biji plastik HDPE yaitu seperti **Gambar 2.16**.



Gambar 2.16. Contoh biji plastik HDPE (Tuasikal, 2015).

Terdapat beberapa keuntungan plastik HDPE di bandingkan dengan jenis plastik yang lain yaitu bisa digunakan sebagai pembungkus makanan, plastik ini tahan terhadap kelembapan, harganya lebih murah dan tahan terhadap paparan bahan-bahan kimia. Sedangkan terdapat beberapa kerugian menggunakan plastik HDPE di banding plastik lainnya yaitu mudah terbakar, sulit untuk di bengkokkan dan mudah retak.

2.6.2. *Low Density Polyethylene (LDPE)*

Plastik jenis ini adalah plastik yang notabennya terbuat dari bahan yaitu minyak bumi dan memiliki sifat yang mudah untuk dibentuk saat kondisi temperatur yang panas. LDPE memiliki resin yang sangar kuat dan tidak dapat bereaksi dengan zat kimia lain serta termasuk ke dalam golongan plastik yang paling tinggi standar mutunya. LDPE sering digunakan untuk pembuatan jrigen plastik, penyimpanan barang dan alat main anak. Pada logo LDPE tercantum logo dapat didaur ulang yaitu angka 4 di bagian tengah. Beberapa implelementasi penggunaan plastik jenis LDPE ialah alat makan, plastik bungkus serta macam-macam botol dengan sifat yang lunak. Adapun contoh biji plastik LDPE yaitu seperti **Gambar 2.17**.



Gambar 2.17. Contoh biji plastik HDPE (Tuasikal, 2015).

Plastik LDPE memiliki karakteristik yang tembus cahaya, kuat, serta fleksibel. Plastik LDPE mampu untuk didaur ulang, serta memiliki tingkat resistensi yang cukup baik dengan reaksi kimia. Plastik jenis ini apabila digunakan oleh suatu

barang maka barang tersebut akan sulit untuk dihancurkan, namun baik dipergunakan jika plastik ini dibuat untuk wadah makan dan minum karena plastik HDPE sukar bereaksi dengan zat kimiawi. Pada penelitian ini, polietilena jenis LDPE dipilih sebagai bahan dasar dalam pembuatan lapisan komposit PE/ZnO. Pemilihan LDPE didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan fungsional yang sangat relevan dengan tujuan penelitian, yaitu pengembangan lapisan tipis yang efektif dalam memblok sinar UV. LDPE memiliki struktur molekul yang bercabang, menghasilkan densitas yang lebih rendah dibandingkan jenis polietilena lainnya seperti HDPE. Struktur bercabang ini memberikan fleksibilitas yang tinggi serta sifat mekanis yang baik, seperti ketahanan terhadap retak dan kemampuan untuk diregangkan. Fleksibilitas ini memungkinkan LDPE untuk diolah menjadi lapisan tipis yang mudah diaplikasikan pada berbagai permukaan tanpa kehilangan integritas strukturalnya (Huang *et al.*, 2019).

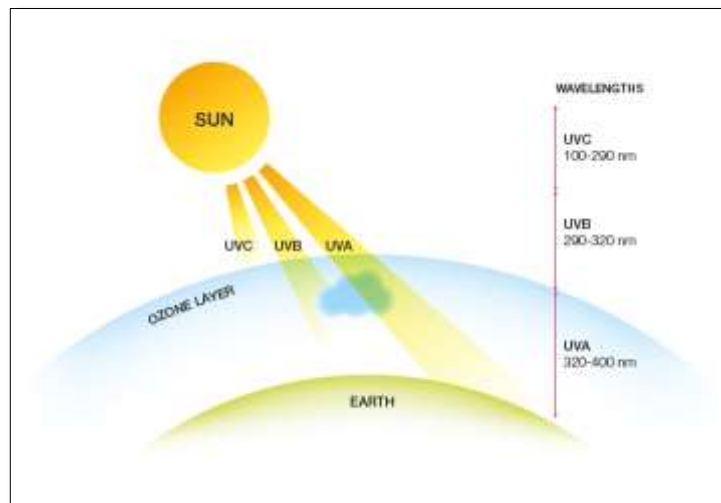
LDPE memiliki suhu leleh yang relatif rendah, sekitar 105-115 °C, yang membuatnya mudah untuk diproses dengan teknik pencetakan atau pelapisan. Sifat ini memungkinkan integrasi ZnO ke dalam matriks polimer tanpa memerlukan suhu tinggi yang dapat menyebabkan degradasi material atau pembentukan fase yang tidak diinginkan dalam oksida logam (Banerjee *et al.*, 2019). Kemudahan pemrosesan ini juga berkontribusi pada kemampuan untuk memproduksi lapisan tipis yang konsisten dan seragam, yang sangat penting dalam aplikasi perlindungan UV. Salah satu alasan utama pemilihan LDPE adalah sifat transparansi optiknya yang tinggi. Sebagai material dengan tingkat transmisi cahaya yang baik.

LDPE memungkinkan pembuatan lapisan pelindung UV yang tidak hanya efektif dalam menyerap sinar UV tetapi juga tetap transparan terhadap cahaya tampak. Hal ini penting untuk aplikasi-aplikasi di mana visualitas dan estetika menjadi pertimbangan, seperti pada kemasan produk atau pelapisan kaca jendela. LDPE merupakan salah satu polimer yang paling umum digunakan secara global, dengan ketersediaan yang melimpah dan harga yang relatif terjangkau. Faktor ini memungkinkan penelitian ini untuk dilaksanakan dengan efisien dari segi biaya, tanpa mengorbankan kualitas atau performa dari lapisan yang dihasilkan. Selain

itu, penggunaan LDPE juga mendukung peluang untuk penerapan hasil penelitian ini pada skala industri, mengingat bahan baku yang mudah didapat dan harga yang kompetitif. LDPE menunjukkan kompatibilitas yang baik dengan oksida logam seperti ZnO. Sifat non-polarnya memungkinkan dispersibilitas yang baik dari partikel TiO₂ dan ZnO dalam matriks polimer, yang merupakan faktor kunci untuk mencapai distribusi yang homogen dan meningkatkan efektivitas lapisan dalam memblok sinar UV (Huang *et al.*, 2019). Selain itu, LDPE juga menunjukkan stabilitas kimia yang baik, yang berarti bahwa sifat-sifat penghalang UV dari ZnO tidak akan cepat menurun seiring waktu akibat interaksi yang merugikan dengan polimer.

2.7. Sinar Ultraviolet (UV)

Sinar UV merupakan gelombang elektromagnetik berasal dari radiasi cahaya matahari yang menembus atmosfer dan statosfer sampai ke permukaan bumi. Selain berasal dari radiasi sinar matahari, sinar UV juga dapat dihasilkan oleh sumber-sumber cahaya hasil buatan atau pekerjaan manusia (*artifisial*) dalam kehidupan sehari-hari, seperti: tabung lampu TL (*fluorosensi*), pengelasan (*welding*), penempaan, pelelehan logam (*metal forming*), dan lain-lain. Sinar UV merupakan bagian dari spektrum cahaya tampak. Semakin pendek gelombang cahayanya maka akan semakin kuat daya radiasinya (Bernhard *et al.*, 2007). Berdasarkan panjang gelombangnya, sinar UV dapat dibagi menjadi tiga jenis yaitu UV-A, UV-B, dan UV-C seperti pada **Gambar 2.18**.



Gambar 2.18. Klasifikasi sinar UV (Bernhard *et al.*, 2007).

UV-A memiliki panjang gelombang antara 320-400 nm yang sering disebut sebagai Gelombang Panjang atau *blacklight*. Sinar UV-A memiliki panjang gelombang yang lebih tinggi, tetapi tingkat energinya lebih rendah dari pada sinar UV lainnya (Josefsson, 2006). UV B memiliki panjang gelombang antara 290-320 nm yang sering disebut gelombang menengah atau *medium wave* (Grobner, 2004). Sinar UV-B memiliki panjang gelombang lebih pendek dan tingkat energinya lebih tinggi dibanding sinar UV-A. Sinar UV-B sebagian diserap oleh lapisan ozon, tetapi sebagian lainnya masih bisa menembus atmosfer. Sekitar 5% dari sinar UV yang dapat mencapai bumi adalah sinar UV-B (Fioletop, 1997).

UV-C memiliki panjang gelombang antara 100-280 nm yang sering disebut gelombang pendek atau *short wave*, namun memiliki tingkat energi tertinggi diantara ketiga jenis sinar UV. Radiasi sinar UV-C sepenuhnya disaring oleh lapisan ozon, maka seluruh sinar UV-C matahari tidak dapat mencapai bumi (Kerr, 2002). Sinar UV memiliki efek berbahaya pada manusia dan lingkungan. Pada manusia paparan berlebihan dapat menyebabkan luka bakar matahari, penuaan dini dan peningkatan resiko kanker kulit (Diffey, 2002). Sedangkan menurut Norval *et al.*, (2011) radiasi dapat merusak kornea dan lensa mata dan dapat meningkatkan resiko katarak. Pada lingkungan radiasi sinar UV dapat mempengaruhi plankton dan organisme di ekosistem air (Williamson *et al.*, 2011) dan paparan UV dapat mempercepat degradasi bahan kimia di lingkungan (Blumthaler and Ambach, 1988).

Sinar UV-A memiliki panjang gelombang terpanjang dan merupakan komponen terbesar dari sinar UV yang mencapai permukaan bumi. UV-A menembus lapisan kulit yang lebih dalam dan berkontribusi pada penuaan dini serta beberapa jenis kanker kulit. Meski demikian, dalam jumlah kecil dan terkendali, UV-A umumnya dianggap lebih aman dibandingkan UV-B dan UV-C, namun tetap perlu diwaspadai karena efek kumulatifnya. Sebagaimana disebutkan oleh Schmalwieser *et al.*, (2018), meskipun UV-A dianggap lebih aman, penting untuk tetap memperhatikan jumlah dan durasi paparan, karena efek jangka panjangnya masih dapat menimbulkan risiko kesehatan yang serius. Sinar UV-B memiliki energi lebih tinggi dibandingkan UV-A dan bertanggungjawab atas *sunburn* (kulit terbakar matahari) serta kerusakan DNA pada sel kulit, yang dapat menyebabkan kanker kulit. Rentang panjang gelombang UV-B dianggap lebih berbahaya, terutama ketika intensitas paparan tinggi atau durasi paparan lama. Lucas *et al.*, (2019) menegaskan bahwa meskipun paparan UV-B dapat membantu tubuh dalam produksi vitamin D, paparan berlebih harus dihindari karena dapat menyebabkan kerusakan kulit yang signifikan dan meningkatkan risiko kanker.

Sinar UV-C memiliki panjang gelombang terpendek dan energi tertinggi. UV-C sangat merusak tetapi sebagian besar diserap oleh lapisan ozon di atmosfer, sehingga tidak mencapai permukaan bumi. Oleh karena itu, manusia tidak terpapar UV-C secara alami, dan paparan UV-C dari sumber buatan (misalnya lampu germisida) perlu dihindari karena sangat berbahaya. Wright *et al.*, (2020) mencatat bahwa UV-C, meskipun sangat efektif dalam aplikasi disinfeksi, tetap merupakan ancaman signifikan bagi kesehatan manusia jika ada paparan langsung. Secara umum, panjang gelombang yang dianggap relatif aman untuk paparan sinar UV adalah pada ujung panjang spektrum UV-A, yaitu di sekitar 340-400 nm, asalkan paparan tersebut berada dalam batas yang direkomendasikan oleh organisasi kesehatan seperti WHO. Paparan pada rentang ini, jika dibatasi dan dikendalikan, dapat meminimalkan risiko kerusakan kulit dan kesehatan lainnya. Meskipun sinar UV-A lebih aman dibandingkan UV-B dan UV-C, paparan jangka panjang tetap dapat menyebabkan kerusakan kulit, seperti penuaan dini dan risiko kanker kulit, oleh karena itu perlindungan terhadap semua jenis sinar UV tetap diperlukan untuk menjaga kesehatan kulit dalam jangka panjang.

Upaya para peneliti dalam melindungi manusia dan juga lingkungan dari dampak negatif radiasi sinar UV yaitu pengembangan bahan baru yang efektif dalam memblokir sinar UV diantaranya sintesis dan karakterisasi bahan-bahan seperti polimer, nanomaterial, atau bahan alami yang memiliki sifat perlindungan terhadap sinar UV (Lee, 2016) dan inovasi dalam pembuatan produk perlindungan yang mencakup aspek formulasi, aplikasi dan pengujian produk untuk melihat efektivitasnya diantaranya berupa produk krim tabir surya, pakaian *UV-resistant* dan kaca jendela *UV-resistant* (Zhang, 2018).

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2024-Januari 2025. Preparasi sampel, pembuatan lapisan tipis PE/ZnO dan uji tahanan Sinar UV *Light Meter* model UV340B pada bahan dilakukan di Laboratorium Fisika Material Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Karakterisasi sampel meliputi SEM-EDS, FTIR dan XRD dilakukan di Departemen Fisika FMIPA Universitas Indonesia.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Dalam penelitian ini alat yang digunakan antara lain : labu ukur 50 ml, *beaker glass* 50 ml, *Magnetic Stirrer*, pipet ukur 200 μ l, mikro pipet 1 ml, pipet tetes, cawan crucibel, oven, *furnace*, spatula *stainlees stell*, timbangan digital sartorius dengan ketelitian 0,0001 gram, kertas whatman, botol selai, plastik penutup botol selai, *hotplate*, cawan petri kaca, spatula, lampu UV, alat UV *Light Meter* model UV340B, *bar coater*, lensa fokus, statif, tempat penipisan yang terbuat dari kaca dan kayu, dan tempat alat ukur tanpa cahaya yang terbuat dari kardus, XRD merk *Thermo Scientific ARL X-ray diffractometers* yang dibuat oleh *Thermo Fisher Scientific* Amerika Serikat, FTIR merk Bruker Jerman dan SEM merk Zeiss Jerman

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah aquades (H_2O), plastik polietilena jenis LDPE 100%, Seng Nitrat ($ZnNO_3$) 99% Merck, Natrium

Hidroksida (NaOH) 98% Merck, Polivinil alcohol (PVA) 99% Merck, Gliserol Alkohol 99% Merck dan Ekstrak Daun Sirih Merah.

3.3. Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan pada penelitian ini ada beberapa tahapan yaitu

1) Sintesis Nano ZnO Menggunakan Metode *Green Synthesis*

Daun sirih merah (*Piper croatum*) yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari daerah Kota Agung, Tanggamus. Daun dibersihkan dengan air mengalir kemudian dicuci kembali menggunakan aquabides sebanyak 2 kali. Daun yang telah dicuci dipotong-potong kecil menggunakan *chopper* listrik kemudian dipanaskan pada pemanas listrik pada suhu 100°C selama 5 jam lalu dihaluskan menggunakan *chopper* listrik hingga berupa serbuk. Serbuk daun ditimbang sebanyak 20 gr dan ditambahkan 100 ml aquabides dalam gelas *beaker* 500 ml. Kemudian gelas *beaker* ditutup menggunakan alumunium *foil* lalu dipanaskan menggunakan kompor listrik dengan daya sebesar 300 W selama 20 menit sampai didapatkan ekstrak daun. Selanjutnya didinginkan pada suhu ruang dan disaring menggunakan kertas Whatman no. 1 sehingga terpisah antara ekstrak daun dan ampas daun. Setelah itu ekstrak daun yang didapat digunakan untuk sintesis nanopartikel ZnO.

Green synthesis nanopartikel ZnO dilakukan menggunakan ekstrak daun yang diperoleh lalu dicampur dengan larutan seng nitrat $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ke dalam gelas beaker 500 ml. Kemudian dipanaskan diatas *hotplate* dengan suhu 80°C dan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 15 menit. Setelah itu larutan didinginkan hingga suhu ruang lalu diaduk kembali menggunakan *magnetic stirrer* bersamaan dengan penambahan NaOH menggunakan pipet tetes. Pada pemberian penambahan NaOH dilakukan pemberian NaOH yaitu sebesar 1,0 M. Selanjutnya larutan didiamkan selama 24 jam hingga didapatkan endapan lalu disaring menggunakan kertas *Whatman* no.1 hingga larutan dengan endapan terpisah. Endapan yang didapat diletakkan pada alumunium *foil* yang dibentuk menjadi wadah kemudian dipanaskan pada pemanas listrik dengan suhu 90°C hingga endapan kering. Setelah itu endapan yang telah kering digiling.

2) Karakterisasi XRD Nanopartikel ZnO

Setelah nanopartikel selesai di sintesis langkah selanjutnya yaitu dikarakterisasi untuk mengetahui ukuran partikel dalam skala nanometer, fasa yang terbentuk yaitu ZnO dan struktur kristal yang terbentuk adalah wurtzite. XRD bekerja menggunakan prinsip difraksi sinar-X yang ditembakkan ke sampel pada kondisi kering yang menghasilkan puncak-puncak pada grafik XRD. Masing-masing puncak mengidentifikasi senyawa yang berada pada sampel. Semakin tinggi intensitas puncaknya, semakin tinggi kandungan senyawa pada sampel. Nama alat uji yang digunakan adalah X'PERT *powder PANalytical diffractometer*. Dalam penelitian pengukuran dilakukan secara langkah demi langkah dari 20° hingga 80° dengan perpindahan setiap langkah sudut hamburan sebesar 0,5°, target Cu dan panjang gelombang konstan $\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$. Proses pengujian sampel nanopartikel ZnO menggunakan XRD dilakukan di Laboratorium Universitas Indonesia. Kemudian data hasil karakterisasi XRD digunakan untuk mengetahui fasa yang terbentuk pada sampel dengan analisis kualitatif dan untuk mengetahui persentase masing-masing berat fasa dilakukan analisis kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan menggunakan metode pencocokan data (*search and match*) dengan perangkat lunak *Match*. Selanjutnya, dilakukan analisis kuantitatif menggunakan metode *Rietveld* dengan perangkat lunak *Rietica*. Tujuan penggunaan difraksi sinar-X (XRD) untuk menentukan struktur kristal seng oksida dalam lapisan tipis.

3) Pembuatan Lapisan Tipis PE/ZnO

Setelah ukuran partikel ZnO dalam skala nanometer dan struktur kristal yang terbentuk adalah anatase dan wurtzite, maka langkah selanjutnya yaitu pembuatan lapisan tipis PE/ZnO. Dalam pembuatan lapisan tipis dari bahan plastik polietilena dicampur dengan nano ZnO. dilakukan dengan mensintesis hasil dari pencampuran plastik polietilena merek *polymorph* dan nano ZnO dengan toluena. Dalam hal ini *polymorph* berfungsi sebagai precursor, dan nano ZnO berfungsi sebagai surfaktan. Proses sintesis dilakukan dengan mencairkan terlebih dahulu *polymorph* di atas *hotplate* dengan pelarut toluena menggunakan cawan petri kaca selama 12 menit dengan suhu 120 °C hingga berubah menjadi bentuk larutan berwarna bening atau transparan. Kemudian saat larutan plastik

polietilena masih dalam posisi dipanaskan dengan suhu 120 °C, selanjutnya mencampurkan bahan nano ZnO selama 8 menit sambil diaduk dengan menggunakan spatula. Setelah campuran dari larutan plastik polietilena dengan bahan nano ZnO menjadi homogen, kemudian larutan diangkat dari *hotplate*, lalu larutan dikeluarkan dari cawan petri dan diletakkan di atas kaca bersih. Selanjutnya penipisan dengan menggunakan *barcoater* agar menghasilkan sebuah plastik yang sangat tipis.

Adapun skema pembuatan lapisan tipis PE/ZnO seperti pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1. Skema pembuatan Lapisan tipis dengan bahan campuran nanotitania dan nano seng oksida dengan PE

Variasi sampel PE/ZnO berukuran 6; 12; dan 25 μm yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 3.1-Tabel 3.3**.

Tabel 3.1. Variasi sampel PE/ZnO 6 μm .

Sampel	Polietilena (g)	Nano ZnO (g)	Ketebalan (μm)
A	5,00	0,00	6
B	5,00	0,05	6
C	5,00	0,10	6
D	5,00	0,15	6
E	5,00	0,20	6
F	5,00	0,25	6

Tabel 3.2. Variasi sampel PE/ZnO 12 μm .

Sampel	Polietilena (g)	Nano ZnO (g)	Ketebalan (μm)
A	5,00	0,00	12
B	5,00	0,05	12
C	5,00	0,10	12
D	5,00	0,15	12
E	5,00	0,20	12
F	5,00	0,25	12

Tabel 3.3. Variasi sampel PE/ZnO 25 μm .

Sampel	Polietilena (g)	Nano ZnO (g)	Ketebalan (μm)
A	5,00	0,00	25
B	5,00	0,05	25
C	5,00	0,10	25
D	5,00	0,15	25
E	5,00	0,20	25
F	5,00	0,25	25

4) Pembuatan Lapisan Tipis PE/ZnO/Ag

Dalam pembuatan lapisan tipis dari bahan plastik PE dicampur dengan nano ZnO dan Ag. dilakukan dengan mensintesis hasil dari pencampuran plastik polietilena merek *polymorph* dan nano ZnO dengan komposisi tertentu. Dalam hal ini *polymorph* berfungsi sebagai precursor, dan nano ZnO serta nano Ag berfungsi sebagai surfaktan. Proses sintesis dilakukan dengan mencairkan terlebih dahulu *polymorph* di atas *hotplate* menggunakan cawan petri kaca selama 12 menit dengan suhu 120 °C hingga berubah menjadi bentuk larutan berwarna bening atau transparan. Kemudian saat larutan plastik polietilena masih dalam posisi dipanaskan dengan suhu 120 °C, selanjutnya mencampurkan bahan nano ZnO selama 8 menit sambil diaduk dengan menggunakan spatula.

Setelah campuran dari larutan plastik polietilena dengan bahan nano ZnO menjadi homogen, kemudian larutan diangkat dari *hotplate*, lalu larutan dikeluarkan dari cawan petri dan diletakkan di atas kaca bersih. Selanjutnya penipisan dengan menggunakan *barcoater* agar menghasilkan sebuah plastik yang sangat tipis.

Adapun skema pembuatan lapisan tipis PE/ZnO/Ag seperti pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Skema pembuatan lapisan tipis PE/ZnO/Ag.

Variasi sampel PE/ZnO/Ag berukuran 12 μm yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 3.4**.

Tabel 3.4. Variasi sampel PE/ZnO/Ag 12 μm .

Sampel	Polietilena (g)	Nano ZnO (g)	Nano Ag (g)	Ketebalan (μm)
A	5,00	0,50	0,00	12
B	5,00	0,50	0,05	12
C	5,00	0,50	0,10	12
D	5,00	0,50	0,15	12
E	5,00	0,50	0,20	12
F	5,00	0,50	0,25	12

5) Karakterisasi Struktur dan Morfologi

a) Karakterisasi Bahan Lapisan Tipis PE/ZnO menggunakan SEM

SEM bekerja berdasarkan prinsip *scan* sinar elektron pada permukaan sampel dan informasi yang didapat kemudian diubah menjadi gambar. Alat yang digunakan dalam karakterisasi ini adalah SEM Evo MA 10. Karakterisasi SEM digunakan untuk mengetahui morfologi permukaan lapisan tipis PE/ZnO. Analisis data dilakukan menggunakan perangkat lunak *ImageJ*. Karakterisasi SEM ini dilakukan di Laboratorium Departemen Fisika Universitas Indonesia dengan tujuan untuk mengevaluasi morfologi dan struktur lapisan tipis. Ini dapat memberikan informasi tentang distribusi nanosengoksida dalam matriks polietilena dan ukuran partikel.

b) Karakterisasi Bahan Lapisan Tipis PE/ZnO Menggunakan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR)

Tujuan uji FTIR dalam penelitian ini yaitu identifikasi fungsi kimia. Uji FTIR memungkinkan identifikasi ikatan kimia dan gugus fungsi pada bahan polimer (polietilena) serta nanopartikel ZnO. Identifikasi ini penting untuk memahami interaksi antara dua bahan tersebut. Konfirmasi pembentukan komposit dengan menggunakan FTIR, penelitian dapat memverifikasi apakah pembentukan komposit antara PE dan nanopartikel ZnO telah terjadi. Perubahan pada spektrum FTIR dapat mengindikasikan adanya interaksi fisik atau kimia antara kedua bahan tersebut. Evaluasi kinerja komposit, berdasarkan hasil uji FTIR, penelitian dapat mengevaluasi kinerja bahan komposit PE/ZnO dalam memblokir sinar ultraviolet. Analisis ini membantu dalam pemahaman terhadap potensi aplikasi bahan komposit tersebut dalam perlindungan dari radiasi UV.

c) Uji Efisiensi dan Anti UV

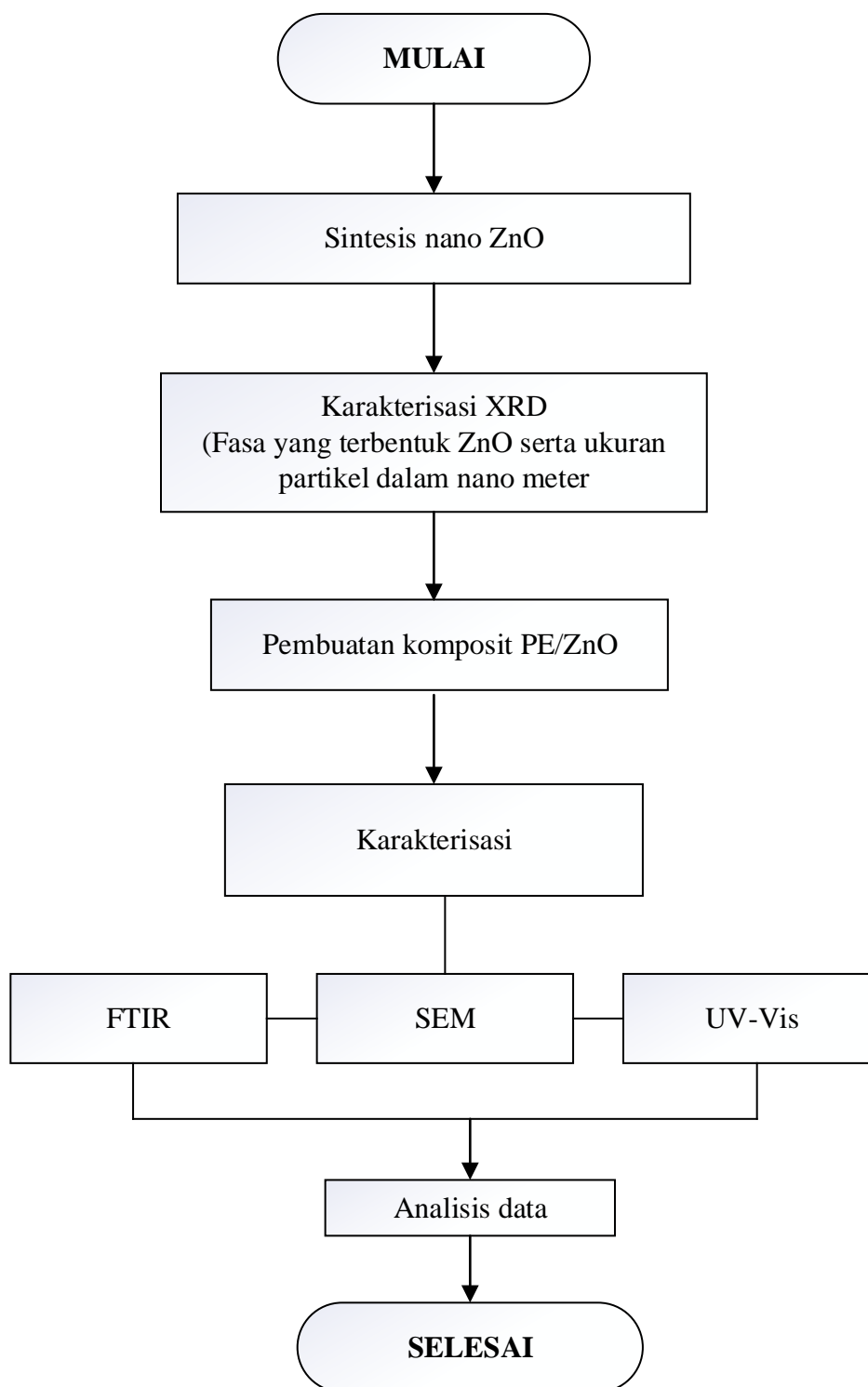
Pengujian efisiensi dan tahanan sinar UV bertujuan untuk mengetahui seberapa efektif dan tahan campuran keduanya dalam memblokir sinar anti UV. Dalam penelitian ini, uji tahanan menggunakan alat UV *Light Meter* model UV340B dengan kisaran $4000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ sebagai pengukuran intensitas sinar UV. Tahap awal yang dilakukan adalah menyiapkan bahan hasil dari campuran plastik polietilena dengan nano ZnO, alat UV *Light Meter*, dan lampu UV. Kemudian merancang lampu UV sedemikian rupa dengan jarak dari lampu UV ke lensa fokus sebesar 48 cm, jarak dari lensa fokus ke plastik sebesar 23 cm, dan jarak dari plastik ke alat ukur sebesar 10 cm. Sehingga untuk tinggi keseluruhan dari statif yang digunakan sebesar 81 cm.

Meletakkan plastik di antara lubang pada tempat alat ukur tanpa cahaya secara bergantian. Setelah itu menyalakan alat UV *Light Meter* dan melihat hasil pengukuran intensitas sinar UV yang terjadi. Uji efektifitas bahan PE/ZnO dalam memblokir sinar UV juga menggunakan Spektrofotometer UV-Vis. Spektrofotometer UV-Vis bekerja dengan cara mengirimkan cahaya dari sumber cahaya melalui sampel bahan PE/ZnO dan kemudian mendeteksi cahaya yang

muncul di sisi lain. Perangkat ini memungkinkan kita untuk mengukur seberapa banyak cahaya yang diserap oleh sampel bahan PE/ZnO pada panjang gelombang tertentu, sehingga memberikan informasi tentang keberadaan atau konsentrasi senyawa tertentu dalam sampel bahan PE/ZnO. Terakhir mencatat hasil pengukuran yang didapatkan di kertas kosong agar mempermudah dalam pembuatan laporan tesis ini.

3.4. Diagram Alir

Dalam penelitian ini diawali dengan tahap pembuatan nano ZnO kemudian pembuatan lapisan tipis oleh plastik polietilena dengan nano ZnO yang kemudian dilanjutkan dengan pengujian intensitas sinar UV. Diagram alir penelitian ini seperti pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini yaitu Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Karakterisasi nano nano ZnO menggunakan analisis *X-Ray Diffraction* diperoleh data bahwa ukuran nano ZnO 16 nm dengan struktur kristal yang terbentuk adalah wurzite heksagonal.
2. Struktur komposit yang dihasilkan memiliki semua material yang diharapkan, dan terjadi interaksi antara PE dan ZnO dalam lapisan tipis yang dihasilkan berdasarkan uji *Fourier Transform Infrared*.
3. Penambahan konsentrasi nano ZnO mampu efektif dalam meningkatkan ketahanan terhadap sinar ultraviolet pada bahan polietilena berdasarkan uji menggunakan *Ultraviolet Light* meter.
4. Pengaruh penambahan nano ZnO pada bahan polietilena untuk memblokir sinar ultraviolet yaitu semakin besar penambahan konsentrasi nanopartikel ZnO maka berpengaruh dalam memblokir sinar UV.
5. Lapisan tipis PE/ZnO memiliki struktur morfologi yang mendukung fungsi sebagai lapisan pelindung UV. Meskipun terdapat aglomerasi partikel, distribusi partikel secara keseluruhan cukup merata dalam matriks PE, memungkinkan lapisan untuk memberikan perlindungan yang optimal terhadap sinar UV.
6. Penambahan nano ZnO dalam lapisan tipis PE secara signifikan meningkatkan koefisien serapan UV pada berbagai ketebalan lapisan sedangkan ketebalan lapisan tipis tidak berpengaruh secara signifikan pada tahanan dalam memblokir sinar UV.

5.2. Saran

Adapun saran pada penelitian berikutnya yaitu.

1. Pada saat penelitian terjadi aglomerasi, pada penelitian selanjutnya diharapkan untuk mencegah aglomerasi dengan cara memodifikasi permukaan nanopartikel. Peneliti dapat menggunakan agen pengikat (*surface modifier*) seperti xilane dan asam stearat untuk melapisi nanopartikel. Modifikasi ini akan memberikan sifat hidrofobik atau hidrofilik pada partikel, yang dapat mengurangi kecenderungan mereka untuk beragregasi.
2. Pada peneliti selanjutnya diharapkan pada saat pencampuran nanopartikel dengan larutan polietilena diharapkan dilakukan ultrasonikasi dengan tujuan membantu menghancurkan aglomerat yang sudah terbentuk dan mendispersikan partikel secara merata.
3. Pada saat sintesis nanopartikel diharapkan Suhu dan durasi pemanasan adalah faktor penting dalam menentukan fasa yang terbentuk. Penelitian dapat difokuskan pada optimasi suhu sintering dan waktu penahanan untuk memastikan bahwa hanya fasa yang diinginkan yang terbentuk, misalnya dengan menggunakan pemanasan bertahap atau metode *quenching* untuk menghindari transformasi fasa yang tidak diinginkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S., Ahmad, M., Swami, B. L., and Ikram, S. (2016). Green synthesis of silver nanoparticles using *Azadirachta indica* aqueous leaf extract. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(1), 1-7.
- Al-Malaika, S., & Issenhuth, S. (2019). "Recent developments in the stabilization of polymeric materials against UV light". *Polymer Degradation and Stability*, 165, 210-225. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2019.02.018
- Amananti, I. R., dan Sutanto, H. (2015). Synthesis and Characterization of TiO₂ and TiO₂ Thin Films. *Journal of Thin Films Science and Technology*, 42(3), 211-218.
- Albertsson, J., Abrahams, S.C. and Kvik, Å. 1989. Atomic Displacement, Anharmonic Thermal Vibration, Expansivity and Pyroelectric Coefficient Thermal Dependences in ZnO. *Acta Crystallographica Section B: Structural Science*. 45. Issue. 1. pp. 34-40.
- Aoyama, T., Okamoto, M., and Sato, Y. (2001). *Nanocomposite Polymers: Enhancing Mechanical Properties by Nano-Scale Fillers*. *Journal of Polymer Science*, 39(10), 1241-1249.
- Bhattacharya, M., Rahman, M. L., & Khastgir, D. (2020). "Enhancement of mechanical and barrier properties of polyethylene by the incorporation of graphene oxide nanofillers". *Polymer Engineering & Science*, 60(3), 573-584.
- Bhushan, B. (Ed.). (2019). *Springer Handbook of Nanotechnology* (5th ed.). Springer.
- Bian, J., Chen, Z., & Wang, Y. (2019). "Enhanced UV shielding and mechanical properties of polyethylene film via incorporating ZnO nanoparticles." *Journal of Applied Polymer Science*, 136(47), 48247. doi:10.1002/app.48247.
- Banerjee, S., Pal, S., and Mukhopadhyay, A. (2019). "LDPE/TiO₂ Nanocomposite Films: Study on Physico-Mechanical and Optical Properties. *Journal Polymer Composites*, 40(S2), E1682-E1691.

- Bernhard, G.; C.R. Booth, J.C. Ehamjian, R. Stone And E.G. Dutton. 2007. Ultraviolet and visible radiation at Barrow, Alaska: Climatology and influencing factors on the basis of version 2 National Science Foundation network data. *J. Geophys.* (112), 1-19.
- Blumthaler, M., and Ambach, W. 1988. Indication of increasing solar ultraviolet-B radiation flux in alpine regions. *Science*. Vol. 242 (4871), 1154-1156.
- Bohren, C. F., and Huffman, D. R. (1983). *Absorption and Scattering of Light by Small Particles*. Wiley-Interscience.
- Chakraborty, N., Gupta, S., Nandy, S., Ghosh, A., and Bandyopadhyay, A. (2019). Bio-inspired Zinc Oxide Nanoparticles: Synthesis, Characterization and Applications in Environmental Monitoring and Clean-up. *Materials Science and Engineering: C*, (97), 1099-1115.
- Chen, B., Yan, Y., Huang, L., & Tian, X. (2019). "Synthesis and characterization of ZnO nano/microstructures and their applications". *Materials Chemistry Frontiers*, 3(1), 23-46.
- Chen, X., Zhu, H., and Wang, D. (2018). The antibacterial properties of silver nanoparticles in medicine. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(7), 1956.
- Cullity, B. D. 1978. *Element of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc: US.
- Diffey, B. L. 2002. Sources and measurement of ultraviolet radiation. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 28, 4-13.
- D'Ulivo, A., Kistner, O., and De Farias, T. (2005). Absorption and Emission Spectroscopy of Molecules: Fundamentals and Applications. *Journal of Luminescence*, 112(4), 314-320
- Environmental Protection Agency. "Health Effects of UV Radiation." EPA. Diakses pada 14 Mei 2024. <https://www.epa.gov/sunsafety/health-effects-uv-radiation>.
- Fricilia, N., Manurung, P. dan Riyanto, A. 2019. Sifat fisis komposit polietilen/nanotitania sebagai fungsi ketebalan. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*. Vol. 7 Pp.83-90.
- Fioletov, V.E.; J. B. Kerr And D.I. Wardle. 1997. The relationship between total ozone and spectral UV irradiance and its use for deriving total ozone from UV measurements. *Geophys, Res. Lett.* 24: 2997–3000.
- George, S., Madras, G., and Kinetics, M. (2018). Photodegradation of Polymers: A Review on Nanocomposites. *Polymer Reviews*, 58(1), 88-129.
- Griffin, B. J and Riessen, V. A. 1991. *Scanning Electron Microscopy Course*

*Note.*The University of Western Australia. Nedlands.

- Gröbner, J. And C. Meleti. 2004. Aerosol optical depth in the UVB and visible wavelength range from Brewer spectrophotometer direct irradiance measurements: 1991–2002. *J. Geophys.* 109, 82-90.
- Gupta, A., and Kumar, A. (2019). Surface Morphology and Structural Analysis of TiO₂/ZnO Nanocomposite Films by SEM. *Journal of Materials Science*, 54(12), 8564-8574.
- Han, C., Luque, R. and Dionysiou, D. D. 2011. Facile preparation of controllable size monodisperse anatase titania nanoparticles. *Journal Chemical Communications*. Vol. 48. Pp.1860-1862.
- Harley, J.,H and Wiberley, S., E. 1954. Quantitative Spectrographic Analysis, in Instrumental Analysis. .Wiley.New York.
- Huang, L., Chen, Z., Liu, Z., and Xu, L. (2019). "Enhanced UV-Shielding and Mechanical Properties of LDPE Films Modified with TiO₂ and ZnO Nanoparticles." *Journal of Applied Polymer Science*, 136(14), 47405.
- Huang, Y., Chen, R., and Lu, X. (2021). Influence of nanoparticle morphology and dispersion on the UV-shielding properties of polyethylene composite films. *Composites Science and Technology*, 207, 108695.
- Iravani, S., Korbekandi, H., Mirmohammadi, S. V., dan Zolfaghari, B. (2014). Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical, and biological methods. *Research in pharmaceutical sciences*, 9(6), 385
- Jiang, H., Zhao, Y., and Shen, H. (2018). *Effect of nanoparticle agglomeration on the optical properties of nanocomposite coatings.* *Journal of Materials Science*, 53(10), 7174-7185.
- Josefsson, W. 2006. UV-radiation 1983-2003 measured at Norrköping, Sweden. *Theory Application Climatology*. 83, 59–76.
- Khan, Z., & Al-Thabaiti, S. A. 2018. Biosynthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts and their environmental applications. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 5892-5899.
- Kumar, V., & Kumar, A. (2019). Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles using sol-gel method for dye-sensitized solar cells. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 101, 79-85.
- Kerr, J.B. 2002. New methodology for deriving total ozone and other atmospheric variables from Brewer spectrophotometer direct sun spectra. *Journal Geophysic*. 107, 60-78.
- Kim, J., & Hwang, J. (2021). "Mechanical properties of nanocomposites: Role of

- nanostructures". *Materials Science and Engineering: A*, 799, 140091
- Kora, A. J., and Rastogi, L. (2018). Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous extract of *Garcinia mangostana* fruit peels. *Journal of Nanotechnology*, 2018, 1-8.
- Kubota, H. 1992. Catalytic Activity of 4- Vinylimidazole -Grafted Polyethylene: Effect of Method of Introduction of Grafted Chains by Means of Photografting. *Europa Polymer Journal*. 3, 267– 270.
- Kumar, A., Kumar, S., Chaturvedi, P. K., and Shukla, P. K. (2020). Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Plant Extracts and Their Biomedical Applications: A Review. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 14, 100354.
- Kumar, P., Lee, K., and Kim, J. (2019). Zinc Oxide Nanomaterials: Synthesis, Properties, and Applications. *Journal of Nanotechnology*, 2019, 746-762.
- Kumar, S., Sharma, M., and Singh, R. (2020). Role of Nanoparticles in Enhancing UV Protection in Polymer-Based Materials. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(10), 48695.
- Lambert, J. B., and Shurvell, H. F. 1987. *Introduction to Organic Spectroscopy*. Macmillan
- Lee, D. Y., Lee, M. H., Cho, N. I. and Song Y.S. 2009. Insertion of a TiO₂ Buffer Layer for the Fixation of Electrospun TiO₂ Nanofibers on Glass Substrates. *Journal of the Korean Physical Society*. 55(1), 84-88.
- Lee, J. H. (2020). Enhanced photocatalytic activity of TiO₂ thin films by doping with ZnO nanoparticles: An FTIR and XRD study. *Applied Surface Science*, 503, 144257.
- Lee, K. H., Kim, J. H., and Cho, H. S. (2019). Enhanced UV Blocking Properties of TiO₂/ZnO Thin Films: Role of Thickness and Composition. *Journal of Applied Physics*, 125(5), 055303.
- Lee, S., Lee, S., and Kim, S. (2020). Enhanced UV protection in polymeric films through the incorporation of TiO₂ and ZnO nanoparticles. *Journal of Applied Polymer Science*, 137(30), 48953.
- Lee, Y. H. 2016. Recent advances and development in UV- blocking materials for clothing. *Textile Research Journal*. 86(1), 71-79.
- Liu, H., Zhang, T., Wang, S., and Li, W. (2022). "Enhancing the UV-shielding performance of ZnO-based nanocomposites." *Journal of Nanomaterials*, 2022, Article ID 6765153.

- Li, S., and Zhang, H. (2019). *Challenges and Energy Considerations in Physical Synthesis of Nanoparticles*. *Journal of Nanotechnology and Materials Science*, 6(3), 198-205.
- Liu, W., Wang, Y. Z and Sun, Z. 2003. Effects of Polyethylene-Grafted Maleic Anhydride (PE-g-MA) on Thermal Properties, Morphology, and Tensile Properties of Low-Density Polyethylene (LDPE) and Corn Starch Blends. *J. Appl. Polym.* 88, 2904– 2911.
- Liu, Y., Li, X., and Wu, J. (2020). Enhanced UV Protection by Metal Oxide Nanoparticles in Polymer Coatings. *Journal of Coatings Technology and Research*, 17(3), 637-646.
- Lobo, H., & Bonilla, J. V. (2019). "Performance and properties of polyethylene materials". *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 57(15), 947-964.
- Lucas, R. M., McMichael, A. J., and Armstrong, B. K. (2019). *The Risks and Benefits of UVB Exposure: A Comprehensive Review on Health Impacts*. *Journal of Investigative Dermatology*, 139(4), 834-841.
- Ma, Q., *et al.* (2019). Surface modification of ZnO nanoparticles and their application in polymer composites. *Materials Science and Engineering: B*, 245, 50-57.
- Matthes, R., Sliney, D. H., & Hönigsmann, H. (2018). UV Radiation and Its Effects: An Update. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 183, 17-29.
- Moghaddam, M. G., and Nazari, Z. 2020. Eco-friendly synthesis of ZnO nanoparticles using plant extracts: A green approach. *Chemical Papers*, 74(12), 4855-4875.
- Markovic, Z. M., Harhaji-Trajkovic, L. M., Todorovic-Markovic, B. M., Kepić, D. P., Arsikin, K. M., Jovanović, S. P., & Vucicevic, L. M. (2018). "In vitro comparison of the photothermal anticancer activity of graphene nanoparticles and carbon nanotubes". *Biomaterials*, 35(6), 1597-1606.
- Nath, D., and Banerjee, P. 2021. Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using plant extracts and their applications: A review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 20, 100387.
- Natsuki, J., Natsuki, T., and Hashimoto, Y. (2015). A review of silver nanoparticles: synthesis methods, properties, and applications. *International Journal of Materials Science and Applications*, 4(5), 325.
- Nazarov, A., and Popov, M. (2020). *ZnO: Transparent conducting oxides and their*

- applications in nanotechnology. *International Journal of Photonics and Nanomaterials*, 22(4), 450–468.
- Norval, M. 2011. The effects of ultraviolet radiation on the human immune system. *British Journal of Dermatology*. 164, 5-14.
- Park, J., & Lee, K. (2021). "Recent progress in UV stabilization of polymers: Mechanisms and applications". *Progress in Polymer Science*, 115, 101375.
- Patel, A., Gupta, R., and Sharma, R. (2019). Thickness Dependence of UV-Blocking Properties in Polymeric Nanocomposites. *Materials Science and Engineering C*, 104, 109922.
- Prasad, V. S., and Divya, M. (2019). Neem Leaf Extract Mediated Synthesis of ZnO Nanoparticles: A Green Approach. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(4), 102927.
- Qian, L., Zheng, S., & Zhao, Y. (2018). "Synergistic effects of ZnO nanoparticles and UV absorbers on the UV-shielding performance and thermal stability of polyethylene composites." *Polymer Composites*, 39(S2), E2005-E2013. doi:10.1002/pc.24672.
- Rai, M., & Ingle, A. P. (2019). Role of nanomaterials in photocatalysis and environmental remediation. *Environmental Chemistry Letters*, 17(1), 15- 34.
- Rajasekharreddy, P., & Rani, P. U. (2018). Green synthesis of silver nanoparticles using *Andrographis paniculata* leaf extract and evaluation of their antimicrobial activities. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research*, 9(3), 19-23.
- Ramesh, R., & Mahadevan, C. K. (2020). "Effect of synthesis methods on the band gap and optical properties of ZnO nanostructures". *Materials Science in Semiconductor Processing*, 108, 104872
- Santos, L., Ribeiro, A., and Silva, J. (2022). Enhanced UV Blocking Properties of Polymer Nanocomposites: Influence of Nanoparticle Type and Concentration. *Journal Polymer Degradation and Stability*, 196, 109839.
- Sawada, H., Wang, R. and Sleight, A.W., 1996. An Electron Density Residual Study of Zinc Oxide. *Journal of Solid State Chemistry*. 122(1), 148-150.
- Schmalwieser, A. W., Mayer, H., and Rassner, G. (2018). *Impact of UV-A Radiation on Human Skin Health and Aging: A Review of Research*. *International Journal of Dermatology*, 57(5), 553-560.
- Sayre, R. M., & Dowdy, J. C. (2018). UV-A Radiation: More of the Same or Something Different? *Photochemistry and Photobiology*, 94(2), 186-187.

- Shi, X., Song, L., Han, X., & Yu, C. (2018). Preparation and characterization of antibacterial ZnO nanoparticles by self-assembly method. *Materials Letters*, 214, 31-34.
- Singh, R., & Kapoor, S. (2018). Synthesis of zinc oxide (ZnO) nanoparticles and their applications: A review. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 18(7), 4713-4722.
- Singh, P., Kim, Y. J., Zhang, D., and Yang, D. C. (2016). Biological synthesis of nanoparticles from plants and microorganisms. *Trends in Biotechnology*, 34(7), 588-599.
- Singh, R. K., and Dubey, R. (2019). Green Synthesis of ZnO Nanoparticles Using Moringa Oleifera Leaf Extract and Their Antibacterial Activity. *Journal of Environmental Management*, 234, 323-331.
- Skadan, G. and Singhal, A., 2006. Perspectives on the Science and Technology of Nanoparticle Synthesis, *Nanomaterials Handbook*. Taylor and Francis Group. p.11.
- Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J. and Crouch, S.R., 2013. *Fundamentals of analytical chemistry ninth edition*. Cengage learning. Canada.
- Smallman, R. and Owen Bishop. 1995. *Modern Physics Metallurgy and Materials Engineering*. Butterworth-Heinemann. Oxford.
- Stuart, B. (2004). *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. John Wiley & Sons.
- Thitichai, N., & Nakason, C. (2017). "Preparation and properties of linear low-density polyethylene composites filled with ZnO nanoparticles." *Journal of Vinyl and Additive Technology*, 23(2), 102-108. doi:10.1002/vnl.21470.
- Tsay, C. Y., and Chiu, H. W. (2020). *Energy bands in semiconductors and their application in photovoltaics*. *Materials Science Semiconductors*, 12(3), 456-468.
- Tuzun, R. E. (2019). "Nanotechnology: An introduction to nanostructuring techniques". *Materials Science and Engineering: R: Reports*, 137, 1-35.
- Tuasikal, M. A., *Mengenal Plastik Polietilena*. Diakses pada 25 September 2024. Pada pukul 10.00. <https://kipmi.or.id/mengenal-plastik-polietilena.html>,
- Wang, L., Zhang, J., and Chen, S. (2021). UV Absorption and Barrier Properties of Nanoparticle-Embedded Polymer Films. *Journal of Materials Chemistry A*, 9(11), 6580-6592.

- Wang, X., Chen, S., and Zhang, L. (2020). TiO₂ Nanoparticles: Synthesis, Properties, and Applications. *Materials Science and Engineering*, 803, 140-155.
- Wang, S., He, W., Peng, Y., & Wu, Y. (2019). "A comprehensive review on ZnO-based antibacterial agents". *Journal of Materials Science*, 54(18), 11720-11746.
- Wei, M., and Leon, R. (2020). Zinc oxide: Applications in optoelectronics and catalysis. *Journal of Advanced Materials Science*, 45(3), 210–230.
- Williamson, C. E. 2011. The interactive effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation and climate change on aquatic ecosystems. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 10(2). 242-260.
- Wright, C. W., Thomson, C., and Bennett, S. (2020). *UV-C Radiation: Disinfection and Health Risks*. *Journal of Environmental Health*, 82(6), 15-22.
- World Health Organization. "Ultraviolet (UV) Radiation." WHO. Diakses pada 14 Mei 2024. [https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-ultraviolet-\(uv\)](https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/radiation-ultraviolet-(uv)).
- Xie, Q., Yang, W., & Chen, Z. (2020). Effect of dispersion and agglomeration of nanoparticles on the UV absorption efficiency of nanocomposite films. *Applied Surface Science*, 510, 145351.
- Yang, J., & Chen, Z. (2020). "Development of high-performance UV stabilizers for polymeric materials". *Journal of Applied Polymer Science*, 137(21).
- Ye, X., Zhang, Y., and Li, W. (2020). *Pressure-induced phase transition from wurtzite to rocksalt structure in ZnO*. *Journal of Materials Science*, 55(18), 8502–8510.
- Zhang, H., Wang, J., and Wu, C. (2021). UV Protection Properties of Composite Materials with TiO₂ and ZnO Nanoparticles. *Advanced Functional Materials*, 31(24), 2004501.
- Zhang, Q., Yu, K., Bai, W., Wang, Q., Xu, F., Zhu, Z., Dai, N., and Sun, Y. 2007. Synthesis, Optical and Field Emission Properties of Three Different ZnO Nanostructures. *Materials Letters*. Vol. 61. Issue. 18.pp. 3890–3892.
- Zhang, X., Li, Q., and Li, Y. (2018). Synergistic effects of TiO₂ and ZnO nanoparticles on the UV protection of polyethylene films. *Journal of Materials Science*, 53(20), 14442-14456.
- Zhang, X., Wang, H., He, P., and Chen, Y. (2019). Photocatalytic and antimicrobial activities of TiO₂/ZnO nanocomposites synthesized via sol-gel method. *Journal of Nanomaterials*, 2019, 1-10.
- Zhai, Y., Hunting, E., Wouterse, M., Peijnenburg, W. and Vijver, M. 2017.

Importance of Exposure Dynamics of Metal-Based Nano-ZnO, -Cu and -Pb Governing The Metabolic Potential of Soil Bacterial Communities. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. Vol. 145. Pp. 349-358.

Zhang, D. 2018. Recent advances in ultraviolet light-blocking materials: A review. *Journal of Materials Science & Technology*. Vol. 34 No. 7. Pp.582-600.

Zhang, X., Wang, H., & Yang, J. 2018. Hydrothermal synthesis of ZnO nanorods and their gas sensing properties. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 255, 433-442.

Zhang, Y., and Liu, X. (2021). Enhanced Photocatalytic Activity of Wurtzite ZnO Nanoparticles by Doping and Surface Modification. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 123, 105491.

Zhou, Y., and Tang, Z. (2020). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using leaf extract of *Artemisia nilagirica*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 203, 111755.