

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Studi Pustaka

Penelitian ini dilakukan berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang memiliki relevansi sebagai pembanding dengan penelitian yang akan dilakukan.

1. Jurnal dengan judul “*Green Synthesis Nanomagnetic MnFe₂O₄ Using Breadfruit Leaf Extract (Artocarpus altilis) and Anti-Bacterial Activity Test Against E.Coli and S. Aureus*” yang ditulis oleh Safitri dkk., (2024) nanomagnetik MnFe₂O₄ hasil sintesis dikarakterisasi dengan menggunakan daun sukun sebagai bioreduktor berbagai teknik seperti *Vibrating Sample Magnetometer* (VSM), *X-Ray Diffraction* (XRD), *Scanning Electron Microscope* dengan *Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM-EDX), dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR). Analisis XRD mengungkapkan bahwa MnFe₂O₄ nanomagnetik berhasil disintesis, dengan puncak yang sesuai dengan bidang kristal (220), (311), (400), (511), dan (440). Ukuran kristal rata-rata dihitung menjadi 25,82 nm. Hasil SEM menunjukkan pembentukan agregat atau bongkahan dengan ukuran yang tidak sama. Analisis FTIR mengkonfirmasi adanya gugus fungsi Mn-O dan Fe-O.

Para peneliti pada jurnal tersebut mengevaluasi aktivitas antibakteri dari nanomagnetik MnFe₂O₄ yang disintesis terhadap bakteri gram positif *Escherichia coli* (*E. coli*) dan *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*). Penelitian tersebut memiliki relevansi terhadap bakteri yang diujikan yaitu *E. coli*. Dari

uji bakteri yang dilakukan, hasil efektivitas nanopartikel ZnO dapat dibandingkan nanopartikel MnFe_2O_4 .

2. Penelitian yang dilakukan oleh Fouda dkk., (2023). Penelitian ini menggunakan ekstrak air dari kulit buah *Punica granatum* (delima) untuk mensintesis nanopartikel seng oksida melalui pendekatan ramah lingkungan. Nanopartikel ZnO yang disintesis dikarakterisasi menggunakan berbagai teknik seperti spektroskopi UV-Vis, FTIR, XRD, TEM, dan SEM-EDX. Spektroskopi UV-Vis mengkonfirmasi pembentukan nanopartikel ZnO dengan puncak serapan karakteristik sekitar 370-380 nm. Analisis FTIR mengungkapkan adanya gugus fungsi seperti gugus hidroksil, karbonil, dan eter dari ekstrak kulit buah delima, yang menunjukkan peran mereka dalam membatasi dan menstabilkan nanopartikel. Pola XRD mengkonfirmasi sifat kristal nanopartikel ZnO, dengan puncak yang sesuai dengan struktur *wurtzite* heksagonal ZnO. Analisis TEM dan SEM-EDX memberikan informasi rinci tentang morfologi, ukuran, dan komposisi unsur nanopartikel ZnO yang disintesis.
- Aktivitas antimikroba dari nanopartikel ZnO dinilai terhadap bakteri Gram-positif dan Gram-negatif patogen, serta jamur uniseluler. Aktivitas antimikroba tergantung pada dosis, dengan nanopartikel ZnO menampilkan zona penghambatan yang bervariasi dan nilai konsentrasi penghambatan minimum yang rendah dalam kisaran 6,25-12,5 $\mu\text{g} / \text{mL}$. Efisiensi degradasi pewarna metilen biru menggunakan nanopartikel ZnO sebagai nanokatalis memberikan hasil persentase degradasi metilen biru maksimum $93,4 \pm 0,2\%$

dicapai pada 20 $\mu\text{g} / \text{mL}$ nanokatalis setelah 210 menit di bawah paparan sinar UV. Nanokatalis menunjukkan stabilitas dan efektivitas yang tinggi dalam mendegradasi metilen biru hingga 5 siklus, dengan hanya 4% penurunan kinerja. Penelitian tersebut memiliki relevansi terhadap uji fotokatalis yang dilakukan. Dari uji bakteri yang dilakukan, hasil efektivitas nanopartikel ZnO dapat dibandingkan dengan nanopartikel ZnO hasil sintesis menggunakan kulit buah delima sebagai bioreduktor.

3. Jurnal yang berjudul “*Photocatalytic Removal of Crystal Violet Dye Utilizing Greenly Synthesized Iron Oxide Nanoparticles*” dituliskan oleh Yassin dkk., (2023) disebutkan proses fotokatalitik penghilangan zat warna sintetis *Crystal Violet*. penelitian ini menggunakan nanopartikel oksida besi yang disintesis dengan metode *green synthesis* dengan daun *Camellia sinensis* var. *sinensis*. Nanopartikel oksida besi dikarakterisasi menggunakan berbagai teknik seperti FTIR, XRD, dan analisis potensial zeta. Nanopartikel besi oksida memiliki diameter rata-rata $49,63 \pm 9,23 \text{ nm}$ dan muatan permukaan $-5,69 \text{ mV}$.

Efisiensi fotokatalitik dari nanopartikel besi oksida yang disintesis dalam menghilangkan pewarna *Crystal Violet* dievaluasi dalam kondisi gelap dan sinar matahari. Efisiensi penghilangan puncak adalah 99,23% ketika nanopartikel oksida besi terpapar sinar matahari selama 210 menit. Nanopartikel oksida besi biogenik juga menunjukkan aktivitas antioksidan, dengan nilai IC_{50} relatif 64,31 $\mu\text{g}/\text{mL}$. Penelitian diatas memiliki relevansi terhadap penelitian yang akan dilakukan pada bahan uji fotokatalis berupa

Crystal Violet. Efektivitas nanopartikel ZnO akan dibandingkan dengan efektivitas FeO dalam menjadi katalis untuk pewarna *Crystal Violet*

4. Rahman dkk., (2022) melakukan penelitian dengan judul “*Green Synthesis of Zinc Oxide Nanoparticles Using Cocos Nucifera Leaf Extract: Characterization, Antimicrobial, Antioxidant and Photocatalytic Activity*” menghasilkan informasi mengenai efektivitas nanopartikel ZnO menggunakan daun kelapa. Spektroskopi UV-Vis menunjukkan serapan maksimum pada 370 nm, yang menunjukkan pembentukan nanopartikel ZnO. Analisis XRD mengkonfirmasi struktur *wurtzite* heksagonal dari nanopartikel ZnO dengan ukuran partikel rata-rata 16,6 nm. Analisis FTIR mengidentifikasi biomolekul dan gugus fungsi dalam ekstrak daun yang bertugas untuk enkapsulasi dan stabilisasi nanopartikel ZnO. Analisis EDX menunjukkan komposisi unsur yang diinginkan dari nanopartikel ZnO. Pencitraan SEM menunjukkan morfologi berbentuk bunga dari nanopartikel ZnO dengan ukuran butiran sekitar 15 nm.
- ZnO NPs menunjukkan aktivitas antimikroba terhadap jamur *Trichoderma harzianum* dan bakteri *Staphylococcus aureus*, dengan zona hambat masing-masing 14 mm dan 10 mm. Perilaku fotokatalitik nanopartikel ZnO menunjukkan degradasi penyerapan sekitar 640 nm dan perubahan warna pewarna biru metilen hingga 84,29% dalam waktu 1 jam. Pada penelitian ini, analisis yang dilakukan menjadi pembanding dengan penelitian yang akan dilakukan. ukuran, struktur kristal, morfologi dan lain sebagainya, ZnO hasil

sintesis menggunakan kayu bajakah perlu dibandingkan dengan *green synthesis* dengan bioreduktor yang berbeda.

5. Penelitian yang dilakukan oleh Tulasi dkk., (2022) *Green Synthesis of Nanostructured Zinc Particles Using Aqueous Leaf Extract of Schrebera Swietenoides Roxb. and Their Catalytic Application in Degradation of Methyl Orange, Crystal Violet Dyes and Chromium Metal*". ZnO NPs berhasil disintesis dalam waktu 6 jam dengan menggunakan ekstrak daun encer sebagai agen pereduksi hijau dan 0,1 M seng asetat sebagai sumber logam. Karakterisasi ZnO NPs yang tersintesis dilakukan dengan menggunakan teknik seperti SEM, TEM, EDS, XRD, FTIR, dan spektroskopi UV-tampak. NPs ditemukan sebagai kristal *wurtzite* heksagonal dengan bentuk bulat dan permukaan kasar, dengan ukuran rata-rata 68 nm dan kandungan seng 73,7%. Nanopartikel ZnO yang disintesis menunjukkan reduksi fotokatalitik yang tinggi dari pewarna *Crystal Violet* (85,33%), pewarna metil oranye (86,82%), dan logam kromium (86,73%) dengan dosis 1,0 g / L. ZnO NPs diamati dapat didaur ulang dan mempertahankan aktivitas reduksi yang tinggi bahkan setelah tiga siklus degradasi. Penelitian diatas mempunyai sifat relevan terhadap penelitian yang akan dilakukan. Pembuatan nanopartikel ZnO sebagai fotokatalik *Crystal Violet* perlu pengkajian lebih lanjut dengan berbagai bioreduktor lainnya. Adanya sintesis nanopartikel ZnO menggunakan bioreduktor yang berbeda dengan penelitian sebelumnya, maka akan memberikan informasi tambahan terkait bioreduktor apa saja yang memiliki efektivitas terbaik dalam mendegradasi *Crystal Violet*.

Berdasarkan hasil studi pustaka, penjabaran dari penelitian-penelitian diatas dirangkum Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Tinjauan pustaka

Peneliti (Tahun)	Bioreduktor	NP	Prekursor	Pewarna uji	Efektifitas (%)	Bakteri uji
Safitri dkk., (2024)	Daun buah sukun	MnFe ₂ O ₄	-	-	-	<i>E. coli</i> , <i>S. aureus</i>
Fouda dkk. (2023)	Kulit buah delima	ZnO	Seng asetat	<i>Methylene Blue</i>	(93.4%)	<i>S. aureus</i> , <i>B. subtilis</i> , <i>P. aeruginosa</i> , <i>E. coli</i>
Yassin dkk., (2023)	Daun teh hijau	Besi oksida	-	<i>Crystal Violet</i>	99,23%	-
Rahman dkk. (2022)	Daun pohon kelapa	ZnO	Seng nitrat	<i>Methylene Blue</i>	(84.29%)	<i>B. megateriu</i> , <i>S. aureus</i> , <i>B. cereus</i>
Tulasi dkk. (2022)	Daun pohon balok penenun	ZnO	Seng asetat	<i>Methyl Orange</i> , <i>Crystal Violet</i> , logam kromium	(86.82%), (85,33%), (87,72%)	-
Machfudhoh (2025)	Kayu bajakah	ZnO	Seng asetat	<i>Crystal Violet</i>	-	<i>E. coli</i>

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Green Synthesis

Nanopartikel memiliki peran utama dalam pengembangan obat, katalis, sensor, dan pestisida yang baru dan efektif. Material nano disintesis menggunakan berbagai metode. Secara garis besar, ada dua metode sintesis yaitu *top-down* dan *bottom-up*. Metode *top-down* dikenal sebagai metode destruktif, yaitu menguraikan bahan curah menjadi bahan yang lebih kecil, yang kemudian berubah menjadi material nano. Sedangkan metode *bottom-up* merupakan kebalikan dari sintesis metode *top-down*. Metode *bottom-up* adalah metode sintesis yang bersifat

konstruktif yang melibatkan pembangunan material dari klaster atom ke nanopartikel (Mekuye & Abera, 2023).

Sintesis metode *top-down* dapat dilakukan dengan cara fisika dan kimia. Contoh metode sintesis dari *top-down* adalah dekomposisi termal, *sputtering*, *ball milling*, dan masih banyak lagi. Sedangkan sintesis metode *bottom-up* dapat dilakukan dengan cara kimia seperti metode sol-gel, *chemical vapor deposition*, pirolisis, dan lain-lain. Selain dengan cara kimia, sintesis *bottom-up* dapat dilakukan dengan cara biologi yang memanfaatkan bakteri, alga, jamur, bagian tumbuhan, dan lain sebagainya.

Green synthesis adalah sintesis nanopartikel metode biologi dengan menggunakan bahan alami yang aman dan ramah lingkungan. Bahan-bahan yang terutama digunakan sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam kimia hijau adalah ekstrak dari berbagai tanaman, alga, dan mikroorganisme (bakteri, jamur, dan ragi). Penggunaan metode ini untuk mensintesis nanopartikel telah menarik minat dalam beberapa waktu terakhir karena beberapa keunggulannya, seperti konsumsi energi yang rendah, ramah lingkungan, bebas polusi, tidak beracun, dan lebih berkelanjutan. Selain itu, nanopartikel yang dihasilkan dengan menggunakan *green synthesis* relatif lebih stabil dan lebih aman dibandingkan dengan nanopartikel yang dihasilkan dengan menggunakan metode lain (Zuhrotun dkk., 2023).

Green synthesis juga merupakan proses sederhana di mana ekstrak intraseluler dan ekstraseluler suatu organisme dicampur dengan garam logam. Laju produksi, kuantitas, dan karakteristik nanopartikel ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti konsentrasi garam logam, sifat ekstrak hidup, waktu kontak, suhu,

dan pH. Berbagai mikroorganisme seperti jamur, ragi, dan bakteri, telah dikenal kemampuannya dalam produksi nanopartikel nontoksik. Selain itu, biosintesis nanopartikel yang dimediasi oleh tanaman juga menarik banyak perhatian. Hal ini disebabkan karena potensi yang dimiliki tanaman dalam mensintesis nanopartikel tidak memerlukan bahan kimia beracun (Afreen, 2021).

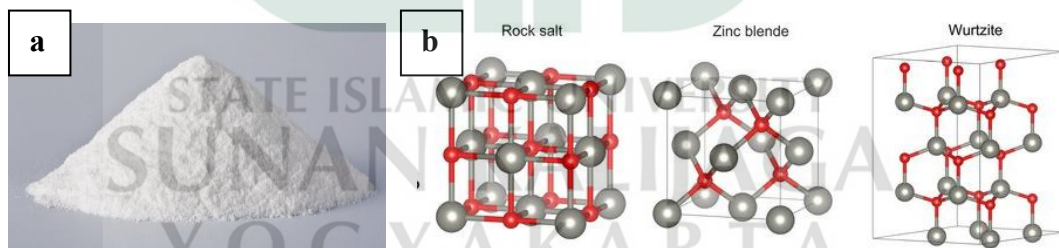
Untuk bergerak menuju proses yang lebih ramah lingkungan, para peneliti baru-baru ini berfokus pada apa yang disebut “*green synthesis*”. Senyawa yang dihasilkan oleh mikroba, hewan, dan tumbuhan dapat digunakan baik sebagai bentuk pengurangan limbah yang ekonomis maupun sebagai bahan penstabil dalam membuat bahan nano. Sintesis tersebut dapat mengarah pada fabrikasi objek nano dengan ukuran dan bentuk yang terkontrol (Benelli, 2019).

2.2.2 Nanopartikel ZnO

ZnO atau yang biasa dikenal sebagai seng oksida merupakan salah satu bahan material semikonduktor dengan jenis logam tipe-n yang terdapat pada golongan IIB-IVA. Untuk menjadikan ZnO menjadi nanopartikel, dibutuhkan langkah-langkah *bottom-up* yang telah dijelaskan pada subbab 2.2.1. Material nano ini memiliki nilai lebar pita (3,37 eV) dan besar energi ikat eksitasi (60 MeV), menjadikannya semikonduktor yang ideal untuk penggunaan dalam optoelektronik karena kemampuannya dalam menangkap panjang gelombang yang pendek (Jindkk., 2019). Dalam struktur kristal nanopartikel ZnO, diketahui bahwa material ini dapat dengan efisien memancarkan elektron pada suhu ruangan dan menunjukkan efisiensi di rentang panjang gelombang ultraviolet yang kurang dari 400 nm. Peningkatan energi dalam nanopartikel ZnO dapat dicapai dengan menggunakan

cahaya tampak, yang berkisar dari 400 nm hingga 800 nm, dan dapat dibuat lebih konduktif dengan penambahan bahan campuran seperti doping. (Isik dkk., 2019).

Nanopartikel ZnO merupakan bahan berbentuk serbuk heksagon atau amorf berwarna putih (**Gambar 2. 1a**) dalam kondisi dingin kemudian menjadi warna kuning saat panas, tidak berbau, dan pahit. Ikatan kimia pada bahan nanopartikel ZnO merupakan ikatan ion. Seng (Zn) cenderung melepaskan dua elektron untuk membentuk ion Zn^{2+} , sedangkan oksigen (O) cenderung menerima dua elektron untuk membentuk ion O^{2-} . Gaya tarik elektrostatis antara ion-ion bermuatan berlawanan ini menciptakan ikatan ionik (Borah dkk., 2016). Bahan ZnO ini memiliki tingkat kelarutan yang cukup rendah saat di dalam air $1,6 \times 10^{-6} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$ atau $2 \times 10^{-6} \frac{\text{mol}}{\text{liter}}$, bahkan tingkat kelarutannya akan berkurang jika di dalam etanol dan terurai jika dipanaskan hingga suhu 1975°C . Semikonduktor ini memiliki beberapa sifat yang menguntungkan seperti mobilitas elektronnya yang tinggi, transparansi yang baik, dan celah pita yang lebar.



Gambar 2. 1 a. serbuk ZnO (Everzinc, 2023); b. Struktur kristal nanopartikel ZnO (Han dkk., 2023)

Struktur kristal dari bahan nanopartikel ZnO terdiri dari 3 bentuk yang ditunjukkan pada **Gambar 2. 1b**, yaitu: *rocksalt*, *wurtzite*, dan *zinc blende*. Pembentukan struktur *rocksalt* terjadi pada saat kondisi dengan tekanan yang cukup tinggi. Sedangkan pembentukan struktur *wurtzite* terjadi saat tekanan normal serta

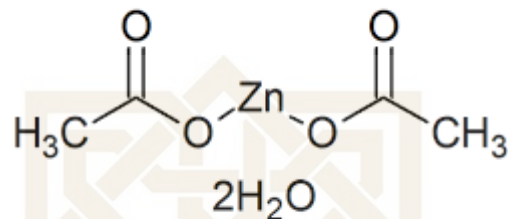
fase termodinamika yang relatif stabil, kemudian pembentukan struktur nanopartikel ZnO *zinc blende* terjadi pada substrat kubik. Bentuk yang menonjol dari struktur kristal nanopartikel ZnO adalah *wurtzite hexagonal* hal ini dikarenakan struktur *wurtzite* merupakan struktur yang cukup stabil pada tekanan dan saat berada dalam suhu ruang. Bentuk heksagonal mempunyai dua sub kisi yakni Zn^{2+} dan O^{2-} dimana kisi tersebut akan bergantian untuk membentuk bidang dasar (Handik, 2023).

2.2.3 Seng Asetat Dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Berdasarkan paparan Patel (2024), Seng asetat dibagi menjadi dua, yaitu, seng asetat anhidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$) dan seng asetat dihidrat ($\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Bentuk senyawa tersebut memiliki perbedaan mendasar pada keberadaan molekul air dalam struktur kristalnya. Seng asetat adalah bentuk anhidrat (tanpa molekul air), sedangkan seng asetat dihidrat mengandung dua molekul air ($2\text{H}_2\text{O}$) yang terikat dalam struktur kristalnya per satu unit formula seng asetat. Patel juga menjelaskan bahwa keberadaan molekul air ini memengaruhi struktur koordinasi atom seng. Pada bentuk anhidrat, seng seringkali terkoordinasi secara tetrahedral, sementara pada dihidrat, seng umumnya terhubung secara oktahedral dengan kedua gugus asetat sebagai ligan bidentat.

Struktur kimia seng asetat dihidrat ditunjukkan pada **Gambar 2. 2**. Pada bentuk anhidrat, senyawa ini merupakan salah satu golongan dari *layered basic zinc salts* (LBZSs) atau golongan material dengan struktur berlapis yang berbeda. Golongan LBZSs memiliki struktur kimia $\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{X}_2$ dengan X adalah Cl, Br, NO_3 , CH_3COOH , dll. Dicitrakan oleh strukturnya, yang terdiri dari lapisan-lapisan

yang bertumpuk. Golongan ini memiliki kemampuan untuk menggabungkan berbagai anion di antara lapisannya. Kemampuan ini membuat material ini berguna dalam berbagai aplikasi (Hashim dkk., 2023).



Gambar 2. 2 Struktur kimia seng asetat dihidrat (NCBI, 2025)

Seng Asetat dihidrat memiliki bentuk kristal heksagonal dan memiliki puncak difraksi XRD pada rentan $2\theta < 20^\circ$. Material ini memiliki sifat molekul dengan berat 219,50 g/mol, kepadatan 1,77 g/cm³, titik leleh 237°C dan dapat terurai (van Niekerk dkk., 1953). Menghirup seng asetat dihidrat dapat menyebabkan iritasi ringan pada tenggorokan dan hidung yang menyebabkan bersin dan batuk. Jika tertelan dapat menyebabkan korosi atau iritasi pada saluran pencernaan yang mengakibatkan muntah.

Beberapa manfaat seng asetat adalah untuk mengobati kekurangan mineral zinc, digunakan sebagai pembuatan polimer, untuk agen anti air, dan lain sebagainya. Kristal seng asetat yang tumbuh menghasilkan partikel yang memiliki bentuk lembaran atau plat, sehingga dapat dikategorikan material dua dimensi. Struktur seng asetat merupakan struktur yang unik karena dapat bertransformasi menjadi *zinc oxide* (ZnO) dengan mensintesis dengan metode *green synthesis*.

2.2.4 Kayu Bajakah



Gambar 2. 3 a. kayu bajakah. b. pohon kayu bajakah (Ciriciripohonid, 2023)

Kayu bajakah tampala yang dapat dilihat pada **Gambar 2. 3** yang memiliki nama latin *Spatholobus littoralis* Hassk. merupakan tanaman yang tersebar di berbagai wilayah, dan banyak ditemui di pulau Kalimantan (WFO, 2024). Tanaman ini merupakan salah satu tanaman yang memiliki potensi sebagai obat tradisional. Masyarakat suku Dayak sejak dahulu menggunakan tumbuhan akar bajakah sebagai obat untuk mengembalikan stamina saat beraktivitas di hutan dan memanfaatkan seluruh bagian tanaman sebagai penyembuh kanker secara turun temurun oleh nenek moyang suku Dayak (Hamzah dkk., 2022). Selain itu, kayu bajakah terbukti sebagai obat yang memiliki aktivitas anti bakteri (Ayuchecaria dkk., 2020).

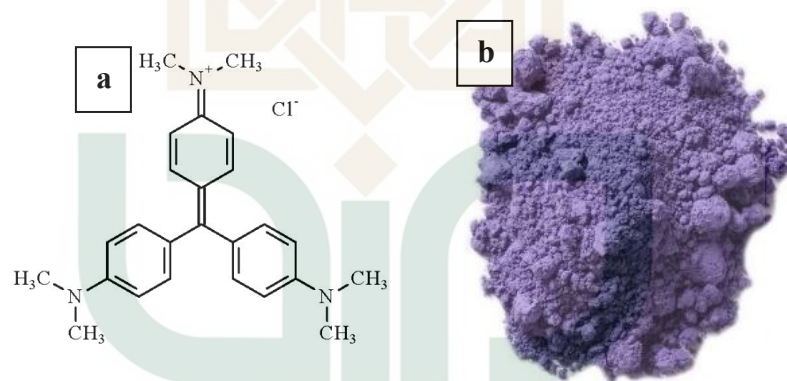
Berdasarkan *Plant of the World Online* (POWO, 2023). Kayu bajakah adalah jenis tanaman rambat yang memiliki taksonomi sebagai berikut:

Kingdom : *Plantae*
 Divisi : *Spermatophyta*
 Kelas : *Equisetopsida*
 Subclass : *Magnoliopsida*
 Ordo : *Fabales*
 Famili : *Fabaceae*
 Genus : *Spatholobus*
 Spesies : *Spatholobus Littoralis*

Berdasarkan uji pendahuluan secara kualitatif yang dilakukan oleh Hasna dkk., (2021) bajakah tampala mengandung fenolik, flavonoid, tanin dan saponin. Kandungan senyawa metabolit sekunder ini dapat mengobati berbagai penyakit degeneratif, seperti diabetes, kanker, tumor dan lain-lain.

2.2.5 Pewarna *Crystal Violet*

Crystal Violet adalah pewarna trifenilmetana kationik. Bentuk tereduksi dari *Crystal Violet* adalah leucogentian violet, yang dapat dibentuk melalui reduksi kimia atau enzimatis dari *Crystal Violet*. Memiliki rumus kimia $C_{25}H_{30}ClN_3$ dengan struktur kimia seperti **Gambar 2. 4**.



Gambar 2. 4 a. struktur kimia b. serbuk kristal violet (NCBI, 2024)

Pewarna ini banyak digunakan sebagai pewarna tekstil, pigmen untuk produk konsumen dan industri (tinta, kertas, dan pelapis) (Mani & Bharagava, 2015), sebagai pewarna biologis (pewarna Gram), dan untuk keperluan kosmetik (pewarna rambut dan tindik badan). Sifat antibakteri, antijamur, dan anthelmintik dari *Crystal Violet* menjadikannya agen penting dalam pengobatan manusia sebagai antiseptik untuk mencegah infeksi dan mempercepat penyembuhan luka, dan sebagai pengobatan topikal untuk infeksi jamur dan bakteri. *Crystal Violet* juga memiliki beberapa aplikasi kedokteran hewan untuk pengobatan penyakit jamur dan parasit

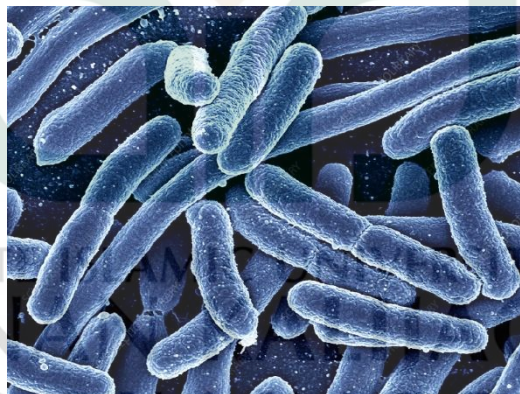
pada ikan, desinfeksi akuarium, pengobatan topikal untuk infeksi bakteri dan jamur pada ternak, dan pencegahan pertumbuhan jamur dan jamur pada pakan unggas (IARC, 2022).

Crystal Violet dapat dilepaskan ke lingkungan dari limbah yang dibuang oleh pabrik tekstil dan proses industri lainnya, dan bertahan di tanah dan spesies perairan. Secara keseluruhan, data mengenai paparan terhadap *Crystal Violet* masih sedikit. Potensi paparan terhadap *Crystal Violet* terjadi melalui kontak kulit dan penghirupan di mana senyawa tersebut diproduksi atau digunakan; namun, tidak ada data terkini mengenai populasi pekerja yang terpapar atau tingkat paparan di tempat kerja yang teridentifikasi.

Pada populasi umum, paparan dapat terjadi melalui kontak dengan tekstil, kertas, dan tinta yang mengandung *Crystal Violet*, pengobatan atau perawatan ikan hias, penggunaan kosmetik untuk pewarnaan rambut dan tindik badan, dan melalui konsumsi air minum, ikan, atau kerang yang mengandung residu *Crystal Violet*. Sebuah penelitian menunjukkan bahwa air minum mungkin merupakan jalur penting paparan *Crystal Violet*. *Crystal Violet* terdaftar oleh Badan Kimia Eropa sebagai karsinogen (Kategori 2) dan merupakan zat yang sangat memprihatinkan (IARC, 2022). *Crystal Violet* tidak diizinkan untuk digunakan sebagai obat hewan atau untuk aplikasi kosmetik di banyak negara, dan tidak ada toleransi terhadap residu *Crystal Violet* dalam makanan untuk konsumsi manusia. Berdasarkan ringkasan bahan kimia laboratorium, *Crystal Violet* bersifat korosif, menyebabkan iritasi, berbahaya bagi kesehatan maupun lingkungan (NCBI, 2024).

2.2.6 Bakteri *Escherichia coli*

Escherichia coli (Gambar 2. 5) atau banyak dikenal sebagai *E. coli*. adalah jenis bakteri yang hidup di banyak tempat di lingkungan, termasuk sistem pencernaan manusia dan hewan berdarah panas, di mana ia merupakan bagian dari mikrobiota usus. Beberapa strain *E. coli* dapat diberikan sebagai probiotik dan diketahui memiliki efek positif pada kesehatan inang. Namun, beberapa strain dapat bersifat patogen, menyebabkan infeksi usus dan ekstraintestinal pada manusia maupun hewan. *Enterotoxigenic E. coli* (ETEC), *enteropathogenic E. coli* (EPEC), *enterohemorrhagic E. coli* (EHEC), *enteroinvasive E. coli* (EIEC), *enteroaggregative E. coli* (EAEC), dan *diffusely adherent E. coli* (DAEC) adalah enam jenis *Escherichia coli* patogen penyebab diare, juga disebut sebagai *diarrheagenic E. coli* (DEC) (Rahayu dkk., 2018).



Gambar 2. 5 Bakteri *E. coli* (Pasioka, 2025)

Bakteri *E. coli* merupakan bakteri dengan berbagai jenis strain alami yang berbeda, masing-masing dengan serangkaian fiturnya sendiri. Karena kualitasnya yang unik, seperti kesederhanaan penanganan, ketersediaan seluruh urutan genom, dan kapasitas untuk tumbuh dalam kondisi aerob dan anaerob, *E. coli* juga merupakan bakteri yang populer untuk penelitian laboratorium dan bioteknologi. *E.*

coli juga dianggap sebagai mikroba yang paling banyak digunakan di bidang teknologi DNA rekombinan, dan digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan medis (Basavaraju dan Gunashree, 2022).

E. coli paling sering ditularkan ke manusia melalui konsumsi makanan yang terkontaminasi, seperti susu mentah, produk daging giling mentah atau setengah matang. Infeksi juga dapat terjadi karena kontaminasi feses pada air dan makanan lainnya, serta kontaminasi silang selama proses penyiapan makanan (dengan daging sapi dan produk daging lain yang terkontaminasi, permukaan udara, dan peralatan dapur). Makanan yang dapat menyebabkan wabah *E. coli* termasuk salami kering yang diawetkan, sari apel segar yang tidak dipasteurisasi, yogurt, dan keju yang terbuat dari susu mentah. (WHO, 2018).

Escherichia coli dapat hidup dan bertahan di dalam tubuh manusia pada tingkat keasaman yang tinggi, tetapi *E. coli* juga dapat menyebar di luar tubuh manusia melalui feses, yang merupakan habitat yang sangat berlawanan. Tempat di luar saluran pencernaan dapat sangat beragam, sangat dingin, aerobik, dan kekurangan nutrisi. Di sisi lain, saluran pencernaan manusia adalah tempat yang relatif stabil, hangat, anaerob, dan kaya nutrisi. Waktu generasi *E. coli* berkisar antara 30-70 menit, bergantung pada suhu, dan merupakan waktu yang dibutuhkan sel *E. coli* untuk membelah diri menjadi dua kali lipat. Suhu ideal untuk pertumbuhan *E. coli* adalah 37°C, dan waktu generasi terpendek adalah 30 menit.

2.2.7 Kopresipitasi

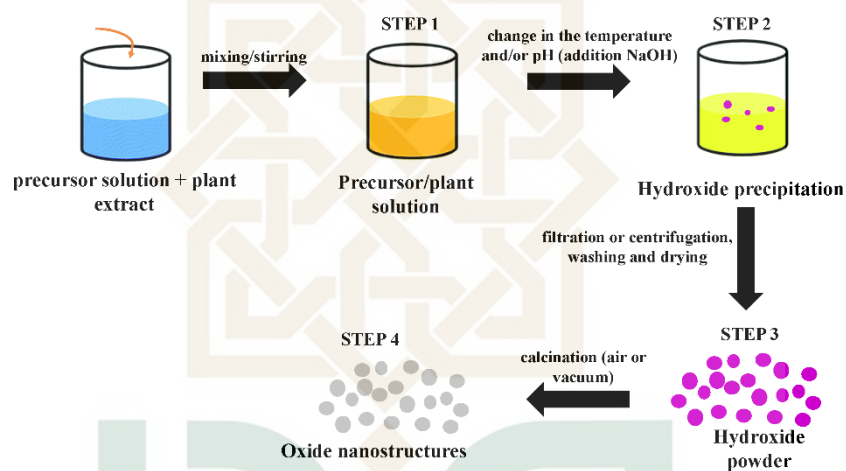
Kopresipitasi adalah proses Fisika-kimia di mana zat yang biasanya larut mengendap secara bersamaan dengan zat lain, yang sering disebut sebagai

“pembawa”, dari larutan yang sama (Ramanarayanan dkk., 2018). Hal ini dapat terjadi melalui berbagai mekanisme termasuk inklusi, di mana pengotor berintegrasi ke dalam kisi kristal pembawa; oklusi, di mana pengotor yang teradsorpsi terperangkap di dalam kristal yang sedang tumbuh; adsorpsi sederhana ke permukaan endapan; atau jebakan mekanis. Metode serbaguna ini banyak digunakan dalam mensintesis material nano, seperti oksida logam dan nanopartikel magnetik, karena kesederhanaannya, efektivitas biaya, dan kontrol atas parameter reaksi.

Secara umum, *green synthesis* struktur nano ZnO yang dihasilkan oleh metode kopresipitasi yang dimediasi oleh ekstrak tanaman mengikuti rute yang diawali dengan homogenisasi larutan prekursor dengan larutan ekstrak tanaman di bawah agitasi (pengadukan). Kemudian, perubahan suhu dan/atau pH campuran (penambahan NaOH) memulai proses pengendapan dan pembentukan hidroksida. Langkah ketiga terdiri dari pemisahan (sederhana atau dengan sentrifugasi) dari endapan, pencucian dengan air deionisasi dan / atau etanol disertai atau tidak dengan proses pengeringan pada suhu rendah. Langkah terakhir terdiri dari perlakuan termal (kalsinasi) pada suhu yang lebih tinggi untuk mengkristalkan oksida. Produk akhir juga dapat digiling dalam alu mortar kristal (Gonçalves dkk., 2021). Secara sederhana proses kopresipitasi dapat dilihat pada **Gambar 2. 6**

Selain itu, ini sangat penting dalam kimia analitik untuk memekatkan elemen-elemen jejak, memurnikan limbah yang mengandung logam, dan menyiapkan katalis padat. Karakteristik endapan yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti pH, suhu, rasio molar reaktan, jenis dan konsentrasi zat pengendap,

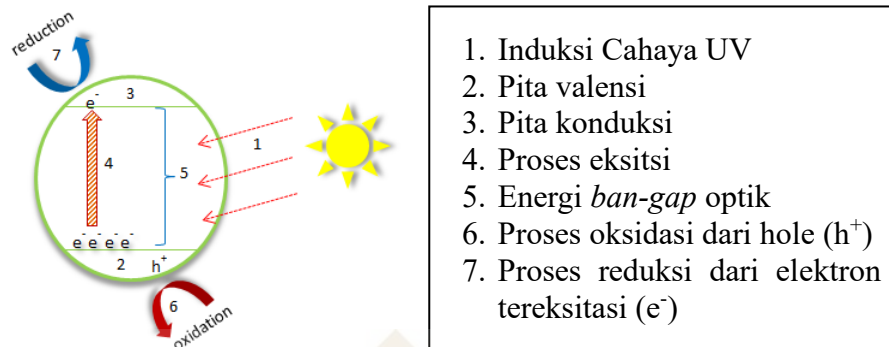
laju pengadukan, dan kecepatan pengendapan. Keunggulannya terletak pada kesederhanaan, skalabilitas, pencampuran bahan baku yang seragam, dan kontrol atas morfologi produk. Untuk, mencapai distribusi ukuran yang tepat dapat menjadi tantangan untuk beberapa sintesis nanopartikel, dan pemisahan bahan dapat terjadi karena tingkat hidrolisis yang berbeda.



Gambar 2. 6 Proses kopresipitasi (Gonçalves dkk., 2021)

2.2.8 Aktivitas Fotokatalis nanopartikel ZnO

Degradasi fotokatalitik polutan organik adalah pendekatan yang menjanjikan untuk menghilangkan pewarna dalam air limbah. Nanopartikel ZnO telah terlibat dalam aplikasi fotokatalitik karena sifat optik dan elektroniknya. Ketika nanopartikel ZnO disinari dengan sinar UV, elektron pita valensi tereksitasi ke pita konduksi, yang meninggalkan lubang di belakang. Kemudian lubang yang dihasilkan menciptakan radikal hidroksil dengan mengoksidasi H_2O dan OH^- dan elektron tereksitasi ditangkap oleh oksigen di udara. Radikal anionik yang dihasilkan sangat reaktif dan menurunkan pewarna organik menjadi karbon dioksida dan air (Isik dkk., 2019).



Gambar 2. 7 Proses fotokatalis (Febiyanto, 2017)

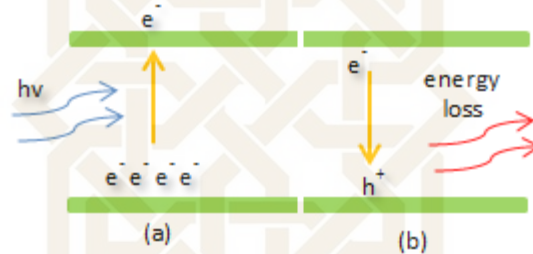
Mekanisme fotokatalisis secara sederhana diilustrasikan pada **Gambar 2. 7** sesuai dengan beberapa skema mekanisme yang sudah ada sebelumnya. Apabila semikonduktor bertipe-n (donasi elektron) dikenai sinar atau foton (1) yang sesuai atau melebihi energi celah pita material fotokatalis (5), elektron akan tereksitasi (4) dari keadaan dasar (2), atau keadaan *ground* (*valence band*/pita valensi) ke tingkat energi yang lebih tinggi (3), atau keadaan aktif (*conduction band*/pita konduksi), menghasilkan lubang (h⁺). Efek rekombinasi (**Gambar 2. 8**) terjadi ketika sebagian besar elektron dan *hole* berinteraksi kembali di permukaan atau *bulk* partikel setelah mereka terpisah. Baik elektron maupun *hole* akan direduksi (7) dan dioksidasi (6) ke substrat.

Dalam proses degradasi substrat yang bersinggungan dengan permukaan fotokatalis, mekanisme reduksi dan oksidasi, yang melibatkan pembentukan hole dan elektron, digunakan. Baik hole maupun elektron dapat menghasilkan ion reaktif, yang dapat digunakan untuk merusak kontaminan atau mikroorganisme berbahaya. Dalam kasus ini, elektron dapat berinteraksi dengan udara atau oksigen (O₂) untuk menghasilkan radikal superoksida (•O₂), dan hole dapat berinteraksi dengan molekul air (H₂O) untuk menghasilkan radikal aktif hidroksil (OH•) dan

H_2O^+ . Radikal-radikal ini dapat diproduksi terus-menerus selama material fotokatalis diinduksi oleh sinar atau foton, dan akan menguraikan senyawa organik menjadi molekul kecil seperti CO_2 , H_2O , dan asam mineral.

2.2.9 Scanning Electron Microscope

Scanning Electron Microscope (SEM) merupakan salah satu jenis mikroskop berbasis elektron yang memanfaatkan berkas elektron untuk mencitrakan bentuk



Gambar 2. 8 (a) Elektron terksitasi (b) dan rekombinasi (Febiyanto, 2017)

permukaan sebuah sampel yang dianalisis. Teknologi ini adalah teknologi pencitraan yang paling banyak digunakan, berkinerja tinggi, yang tersedia untuk berbagai aplikasi mulai dari pencitraan, fabrikasi, pembuatan pola, dan analisis kimia. SEM menghasilkan citra dengan resolusi lebih tinggi sebesar 0,1-0,2 nm daripada *optical microscope* (OM) yang hanya menghasilkan resolusi sebesar 200 nm. Hal ini dikarenakan adanya panjang gelombang de Broglie memiliki elektron lebih pendek daripada gelombang OM. Semakin kecil sebuah gelombang yang digunakan maka resolusi mikroskop akan semakin tinggi.

Prinsip dasar pemindaian mikroskop elektron adalah dengan mencitrakan permukaan material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi yang tinggi. Permukaan material yang terkena berkas sinar elektron akan memantulkan kembali berkas elektron yang biasa disebut dengan elektron sekunder ke segala

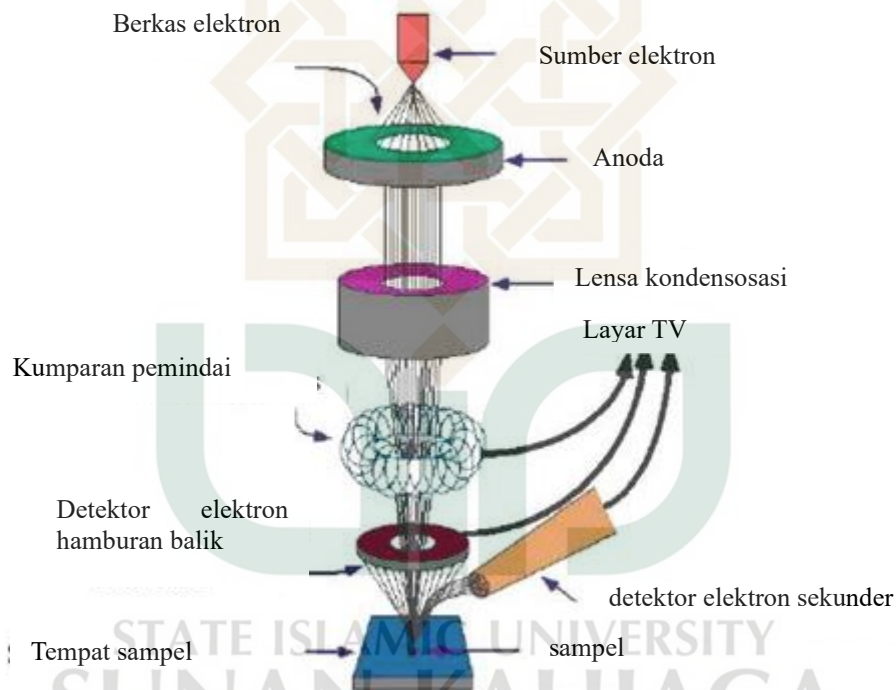
arah. Dari semua berkas elektron yang dipantulkan oleh sampel, terdapat satu berkas hasil pemantulan yang memiliki intensitas tinggi dan sebagai berkas yang akan dianalisis (Joy, 2019).

Pengamatan material dilakukan dengan material yang ditembak dengan berkas elektron dengan intensitas tinggi ke permukaan sampel. Setelah itu, berkas elektron melakukan *scanning* ke seluruh permukaan material yang diamati. Melakukan *zoom-in* atau *zoom-out* dapat membatasi lokasi yang akan diamati karena luasnya daerah pengamatan. Dengan menggunakan program pengolahan gambar yang ada di komputer, data dapat dikumpulkan dari berkas pantulan objek tersebut. **Gambar 2. 9** menunjukkan prinsip kerja pistol elektron, yang menghasilkan sinar elektron dan mempercepatnya dengan anoda. Elektron dikirim ke sampel melalui lensa magnetik. Koil pemindai mengarahkan sinar elektron yang terfokus untuk memindai sampel secara keseluruhan. Sampel mengeluarkan elektron baru ketika elektron mengenai sampel. Elektron ini diterima oleh detektor dan dikirim ke monitor (CRT).

Dalam teknik Pemindaian Mikroskop Elektron (SEM), informasi mengenai permukaan material diperoleh melalui analisis sinyal yang dihasilkan dari interaksi antara berkas elektron dan sampel. Sinyal-sinyal ini memiliki karakteristik unik dan memberikan data yang berbeda mengenai topografi dan komposisi unsur. Sinyal elektron sekunder, yang dihasilkan dari hamburan inelastis elektron primer, memiliki energi rendah dan terutama sensitif terhadap topografi permukaan sampel. Intensitas elektron sekunder yang dipancarkan bergantung pada sudut permukaan terhadap berkas elektron. Area permukaan yang lebih tinggi akan memancarkan

lebih banyak elektron sekunder, sehingga tampak lebih cerah pada citra yang dihasilkan.

Sementara itu, sinyal *backscattered electron* (BSE), yang dihasilkan dari hamburan elastis elektron primer, memiliki energi yang lebih tinggi dan lebih sensitif terhadap perbedaan komposisi atom. Intensitas hamburan balik berbanding lurus dengan nomor atom unsur. Atom dengan nomor atom yang lebih tinggi (berat

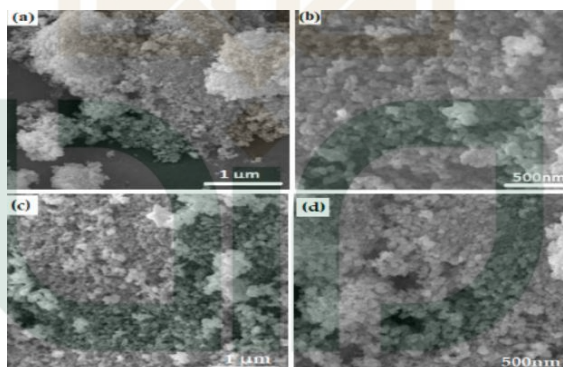


Gambar 2. 9 Bagian-bagian SEM (Temiz, 2022)

molekul lebih tinggi) akan menghasilkan hamburan balik yang lebih kuat dan tampak lebih cerah pada citra BSE. Perbedaan utama antara citra elektron sekunder dan backscattered terletak pada informasi yang diberikan. Citra elektron sekunder menonjolkan fitur topografi permukaan, sementara citra *backscattered* mengungkapkan perbedaan komposisi unsur. Kombinasi kedua jenis citra ini

memberikan pemahaman yang komprehensif tentang struktur dan komposisi material.

Gambar 2. 10 diatas merupakan hasil analisis SEM dari *green synthesis* nanopartikel ZnO menggunakan *Spirogyra hyalina* sebagai bioreduktor dengan dua variasi presekutor yaitu seng asetat dan seng nitrat berbentuk bulat, dengan beberapa agregasi tampak kasar. Hasil SEM ZnO dengan seng asetat sebagai presekutor menunjukkan ukuran berkisar antara 50 nm hingga 80 nm, dengan ukuran rata-rata 65 nm, dan ukuran ZnO dengan seng nitrat sebagai presekutor berkisar antara 20 nm hingga 60 nm, dengan ukuran rata-rata 40 nm (Hameed dkk., 2023).

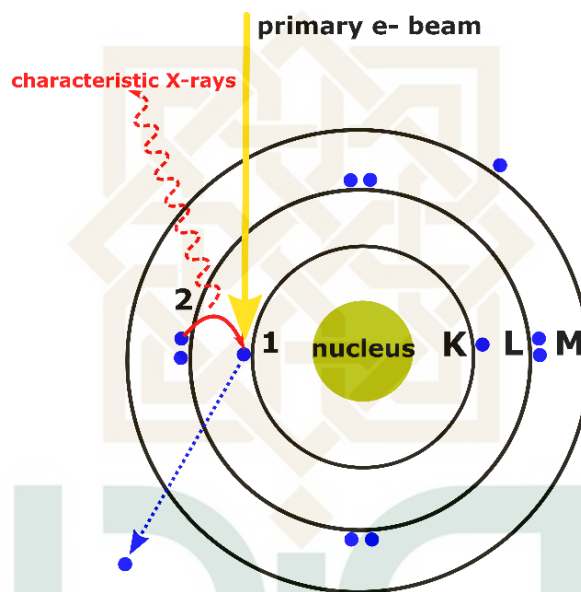


Gambar 2. 10 SEM.sintesis ZnO menggunakan alga. a) ZnO (seng asetat) resolusi tinggi b) ZnO (seng asetat) resolusi rendah c) ZnO (seng nitrat) resolusi tinggi, d) ZnO (seng nitrat) resolusi tinggi rendah (Hameed dkk., 2023).

2.2.10 Energy Dispersive X-ray (EDX)

Prinsip dasar di balik EDX adalah menembak sampel dengan sinar elektron berenergi tinggi. Ketika elektron yang datang ini berinteraksi dengan atom-atom dalam sampel, mereka dapat melumpuhkan elektron kulit dalam, sehingga menciptakan kekosongan yang tidak stabil. Pada **Gambar 2. 11** dapat dilihat bahwa untuk menstabilkan atom, elektron dari kulit luar yang berenergi lebih tinggi mengisi kekosongan ini. Transisi ini menghasilkan emisi foton sinar-X, yang

energinya khas dan unik untuk elemen asalnya. Sinar-X yang dipancarkan selama proses tersebut dikumpulkan oleh detektor penyimpangan silikon, yang mengukur sinyal dan menginterpretasikannya menggunakan perangkat lunak. (Nanakoudis, 2019).



Gambar 2. 11 diagram analisa EDX pada atom (Nanakoudis, 2019)

Sistem EDX terdiri dari detektor sinar-X yang mengukur energi dan intensitas sinar-X karakteristik yang dipancarkan. Data ini kemudian diproses dan ditampilkan sebagai spektrum, yang menunjukkan intensitas sinar X versus energi (biasanya dalam kiloelektron volt, keV). Dengan menganalisis puncak-puncak dalam spektrum ini, elemen-elemen yang ada dalam sampel dapat diidentifikasi (analisis kualitatif), dan intensitas puncak-puncak ini dapat memberikan informasi tentang konsentrasi relatifnya (analisis kuantitatif) (Sahdiah dan Kurniawan, 2023).

EDX adalah teknik non-destruktif dan menawarkan beberapa keuntungan, termasuk kemampuannya untuk menganalisis elemen dari berilium (Be) hingga californium (Cf) pada tabel periodik, memberikan hasil yang cepat, dan melakukan

analisis terlokalisasi pada area kecil. Hal ini membuatnya sangat berharga di berbagai bidang, mulai dari ilmu material dan forensik hingga geologi dan biologi, untuk aplikasi seperti pelacakan kontaminasi, analisis kegagalan, pemetaan unsur, dan karakterisasi material.

2.2.11 *X-Ray Diffraction (XRD)*

Difraksi sinar-X adalah salah satu metode yang dipakai untuk mengetahui kristalinitas pada bahan, mengukur dimensi partikel serta parameter struktur kristal. Dalam teknik ini, sinar-X yang bersifat elastis dihamburkan oleh atom-atom dalam kisi periodik, dan hamburan monokromatis ini menghasilkan interferensi konstruktif yang membentuk pola difraksi. Difraksi sinar X-Ray merupakan suatu analisa kuantitatif menggunakan bantuan sinar X-Ray. Prinsip dasarnya yaitu ketika seberkas sinar-X ditembakkan pada sampel, maka berkas sinar ini akan didifraksikan oleh bidang kristal yang disusun oleh atom-atom (ion) (Cullity, 1978).

Struktur kristal hasil difraksi sinar XRD dapat diketahui menggunakan penerapan Hukum Bragg. Pola difraksi yang dihasilkan dari interaksi sinar-X dengan kristal memberikan informasi tentang jarak antar bidang dan struktur atom dalam kristal. Dengan melakukan pengukuran pada sudut difraksi dan panjang gelombang, dapat menentukan jarak antar bidang dan mengidentifikasi struktur kristal suatu materi. Hukum Bragg dituliskan sebagai berikut.

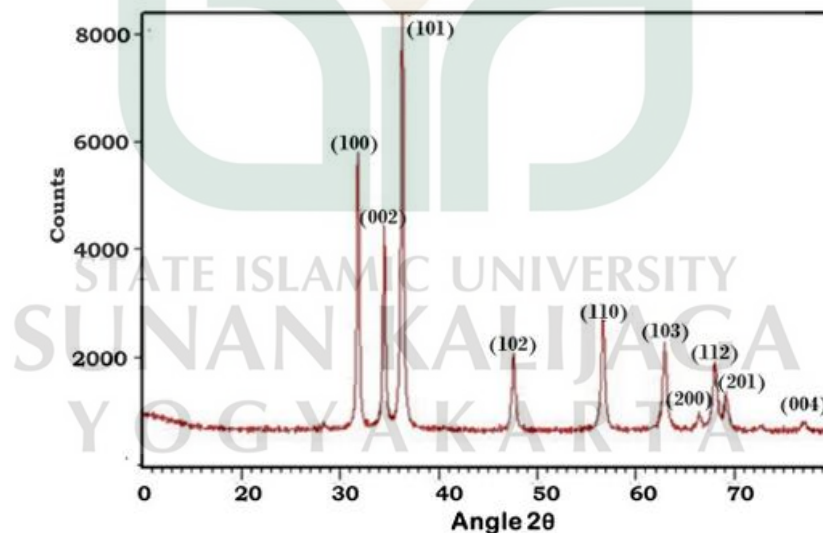
$$n\lambda = 2d_{hkl} \cdot \sin\theta \quad (2.1)$$

di mana n adalah orde difraksi, λ adalah panjang gelombang sinar-X, d adalah jarak antar bidang difraksi, dan θ adalah sudut Bragg (sudut antara sinar datang dan bidang difraksi).

Persamaan hukum Bragg menunjukkan bahwa tiap kerapatan awan elektron merefleksikan sinar-X pada sudut yang berbeda. Selama refleksi dihubungkan dengan parameter sel, posisi puncak dalam profil pola difraksi sinar-X secara langsung dapat memberikan penggunaan *space group* suatu kristal. Pola XRD dari ZnO memiliki puncak khas pada sudut 2θ 31,802; 34,447; 46,29; 47,5. Penentuan ukuran partikel dapat dihitung menggunakan persamaan *Debye Scherrer* seperti dibawah ini

$$D = \frac{k \cdot \lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2.2)$$

di mana D adalah ukuran kristal, k adalah konstanta Scherrer (biasanya 0.9), λ adalah panjang gelombang sinar-X, β adalah lebar penuh pada setengah maksimum (FWHM), dan θ adalah sudut difraksi.



Gambar 2. 12 Hasil XRD nanopartikel ZnO yang disintesis menggunakan ekstrak daun buah delima (Al-Zahrani dkk., 2023)

Contoh hasil olah data ditunjukkan pada **Gambar 2. 12**, yang merupakan hasil karakterisasi XRD ZnO hasil *green synthesis* yang dilakukan oleh (Al-Zahrani dkk., 2023) dengan cairan ekstrak daun buah delima sebagai bioreduktor dan seng nitrat

sebagai presekutor. Hasil uji tersebut memberikan informasi bahwa hasil sintesis yang dilakukan merupakan kristal dengan sembilan puncak difraksi atau refraksi pada sudut 2θ yang mencerminkan struktur heksagonal material ZnO.

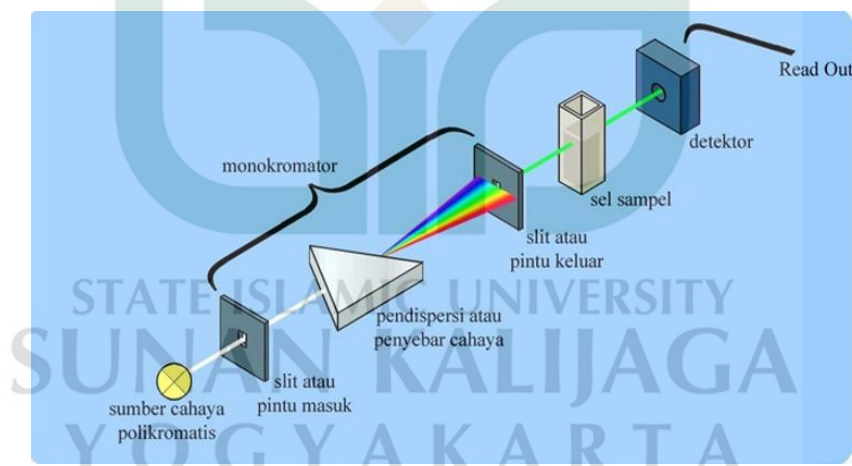
2.2.12 Spektrofotometer UV-Vis

Vogt dkk., (2023) dalam bukunya menuliskan bahwa spektrofotometer Ultraviolet-Visibel (UV-Vis) adalah metode analisis serbaguna yang memungkinkan untuk menyelidiki berbagai macam katalis baik dalam fase cair maupun padat dan antarmuka pada suhu dan tekanan tinggi. Spektrofotometer UV-Vis adalah teknik analisis yang memanfaatkan interaksi antara radiasi elektromagnetik dengan sampel dalam rentang panjang gelombang ultraviolet (UV) dan sinar tampak (Vis) untuk memperoleh informasi tentang sifat kimia dan struktur molekul sampel.

Berdasarkan Gambar 2. 13 cara kerja spektrofotometer UV-Vis diawali dengan sumber cahaya memancarkan cahaya yang mengandung berbagai panjang gelombang (polikromatis), meliputi daerah UV dan visibel. Cahaya dari sumber melewati celah (slit) atau pintu masuk untuk menghasilkan berkas cahaya yang sempit dan terfokus. Monokromator berfungsi untuk memecah cahaya polikromatis menjadi komponen-komponen panjang gelombangnya. Komponen utama monokromator adalah pendispersi cahaya, seperti prisma atau kisi difraksi, yang memisahkan cahaya berdasarkan panjang gelombang. Celah atau pintu keluar kedua hanya memungkinkan satu panjang gelombang tertentu (monokromatis) untuk melewati. Panjang gelombang ini dapat dipilih dengan memutar prisma atau kisi difraksi. Cahaya monokromatis yang keluar dari monokromator diarahkan ke

sel sampel. Sel sampel biasanya terbuat dari kuarsa atau kaca khusus yang transparan terhadap cahaya UV dan visibel. Sampel yang akan dianalisis ditempatkan dalam sel ini. Detektor mengukur intensitas cahaya yang ditransmisikan melalui sampel. Jumlah cahaya yang diserap oleh sampel dihitung dengan membandingkan intensitas cahaya yang masuk dan keluar dari sampel. Sinyal dari detektor diolah dan ditampilkan sebagai data, biasanya dalam bentuk grafik spektrum yang menunjukkan hubungan antara absorbansi atau transmitansi dengan panjang gelombang.

Dalam dua dekade terakhir, spektrofotometer UV-Vis semakin banyak digunakan dalam kondisi *in situ* dan *operando* untuk menjelaskan/memperoleh wawasan tentang prinsip-prinsip kerja katalis heterogen, katalis homogen,

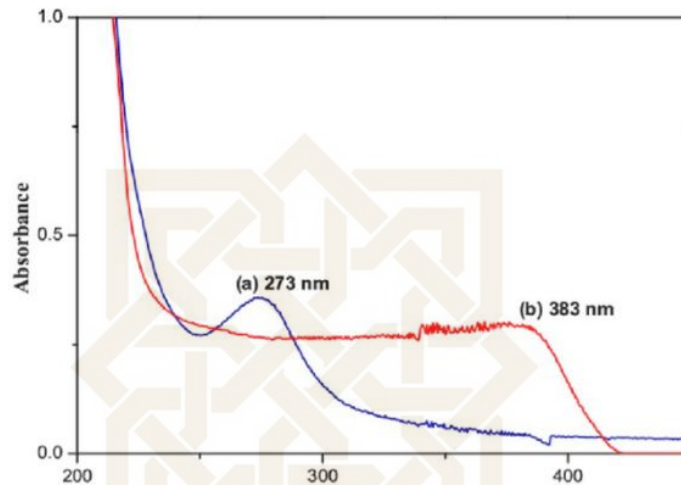


Gambar 2. 13 cara kerja spektrofotometri UV-Vis (Wiryawan, 2008)

elektrokatalis, dan juga fotokatalis. Salah satu keuntungan dari metode ini adalah bahwa metode ini dapat secara bersamaan dalam mengukur, misalnya, transisi elektronik molekul dan transisi oksida atau ion transisi logam.

Hasil dari aplikasi absorpsi spektrum UV-Vis dapat dilihat pada **Gambar 2. 14**, Dimana pembentukan nanopartikel ZnO diamati dengan spektrofotometer UV-Vis

dengan resonansi plasmon permukaan (SPR) 383 nm, sedangkan ekstrak akar *S. persica* menunjukkan pita absorpsi pada 273 nm (Verma dkk., 2020).



Gambar 2. 14 Hasil Absorpsi menggunakan UV-Vis (Verma dkk., 2020)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini telah dilakukan selama 7 bulan, yaitu dari bulan Agustus 2024 hingga bulan Maret 2025. Sintesis nanopartikel ZnO dilakukan di laboratorium Material, UIN Sunan Kalijaga. Karakterisasi SEM-EDX dan XRD dilakukan di LPPT UGM, Yogyakarta. Uji UV-Vis di Lab. Kimia dan uji antibakteri di Lab Biologi, Laboratorium Terpadu UIN Sunan Kalijaga.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam sintesis nanopartikel ZnO, uji bakteri, uji fotokatalis, dan uji bakteri ditunjukkan pada **Tabel 3. 1** dan **Tabel 3. 2**.

Tabel 3. 1 Alat-alat penelitian

Alat	jumlah
Neraca analitik	1
<i>Magnetic stirrer</i>	2
<i>Hotplate</i>	1
Kertas alumunium	1
<i>Centrifuge</i>	1
Gelas kimia	2
Gelas ukur	2
Corong kaca	1
Spatula	1
Termometer digital	1
Pipet tetes	1
Pipet ukur	1
Batang pengaduk	1
Kertas saring Whatman	2
Oven	1
Indikator asam basa	5
Refrigerator	1
<i>Cotton swap</i>	3
Kertas cakram	2
pinset	1
Cawan petri	1

Alat	jumlah
Penggaris	1
Cawan penguapan	3
SEM	1
XRD	1
spektrofotometer UV-Vis	1

Tabel 3. 2 Bahan Penelitian

Bahan	Jumlah	Satuan
Bubuk kayu bajakah	5	gram
$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,1	M
Etanol	70	ml
NaOH	1	M
Natrium agar	5	gram
Akuades	100	ml
<i>E. coli</i>	-	-
<i>Crystal Violet</i>	0.1	gram

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Ekstraksi Kayu Bajakah

Kayu bajakah yang digunakan dalam sintesis nanopartikel ZnO merupakan kayu bajakah jenis tampala yang tumbuh di Kalimantan Barat dan dibeli melalui toko online dengan nama toko “BAJAKAH INDONESIA”. Kayu bajakah tampala dibeli dalam bentuk serbuk halus dan kering. Mengikuti penelitian yang dilakukan oleh (Anggriani dkk., 2024), ekstrak dibuat dengan 5 gram serbuk kayu bajakah ditambahkan dengan 100 ml etanol 70% (Norouzi Jobie dkk., 2021). Larutan direndam selama 3x24 jam dan diaduk sesekali dalam suhu ruang. Selanjutnya dilakukan pemisahan maserat dari pulp dengan melakukan penyaringan menggunakan kertas Whatman no. 40 dilanjutkan dengan sentrifugasi pada kecepatan 6000 rpm selama 10 menit. Hasil ekstraksi kayu bajakah merupakan cairan yang ditandai dengan warna coklat dan pekat. Berikut merupakan proses ekstraksi dalam bentuk diagram alir (**Gambar 3. 1**).

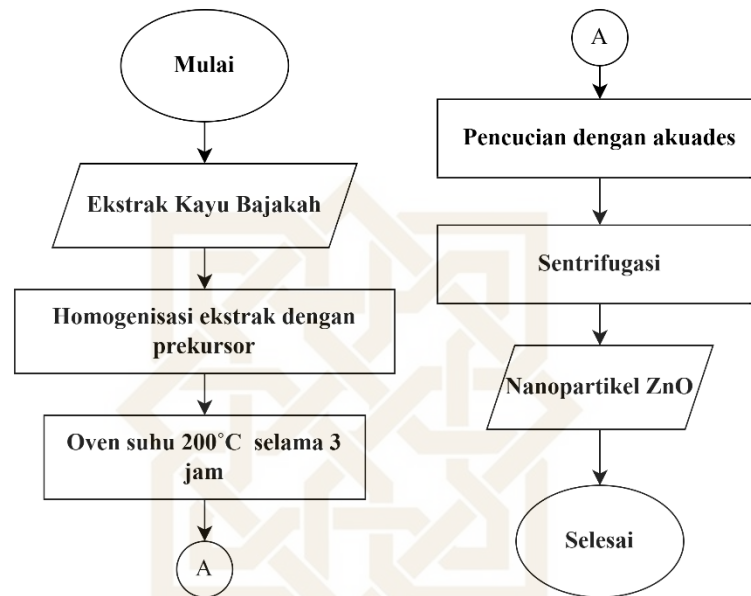


Gambar 3. 1 Diagram alir ekstraksi kayu bakajah

3.3.2 Green Synthesis Nanopartikel ZnO

Sebanyak 38 ml larutan seng asetat dihidrat (0,1 M) dihomogenkan Ekstrak kayu bajakah sebanyak 12 ml, secara perlahan menggunakan pengaduk magnetik selama 30 menit. Tetesan 1 M NaOH ditambahkan ke dalam campuran, dan kemudian diaduk pada suhu 40°C selama satu jam hingga tingkat pH menjadi 8,0 (Fouda dkk., 2023). Campuran disentrifugasi pada kecepatan 6000 rpm selama 30 menit. Sampel berwarna merah muda pucat dicuci tiga kali untuk menghilangkan kotoran yang tidak diinginkan kemudian dikeringkan pada suhu 200°C dalam oven

vakum selama 3 jam. Proses *green synthesis* dapat dilihat secara menggunakan diagram alir pada **Gambar 3. 2**.



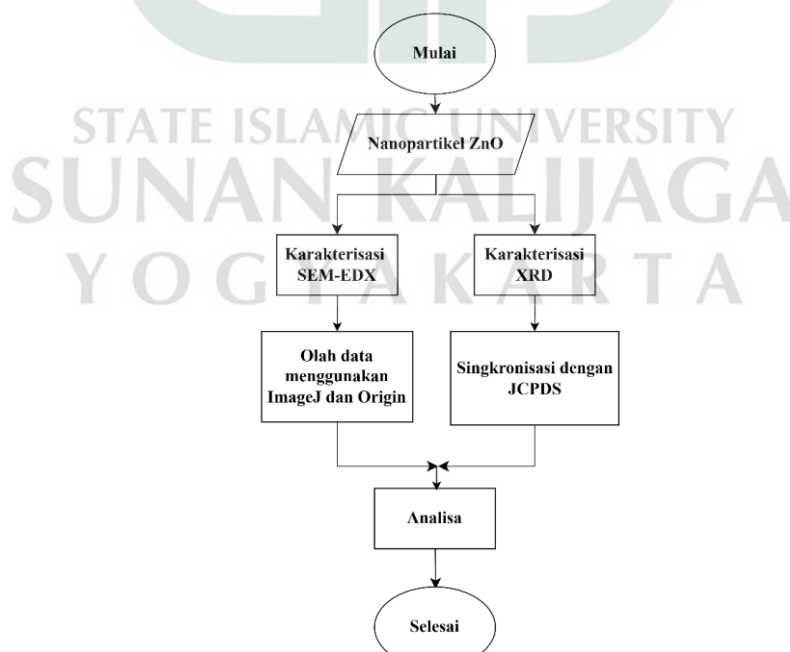
Gambar 3. 2 Diagram alir sintesis nanopartikel ZnO

3.3.3 Karakterisasi Sampel

Serbuk nanopartikel ZnO yang telah dihasilkan dilanjutkan karakterisasi menggunakan SEM-EDX dan XRD yang secara sederhana ditunjukkan pada **Gambar 3. 3**. Hasil karakterisasi yang dilakukan akan memberikan informasi tentang morfologi dan kristalinitas sampel. Kemudian sampel diaplikasikan untuk fotokatalis dan antibakteri. Karakterisasi menggunakan SEM-EDX memiliki tujuan untuk mengetahui morfologi nanostruktur permukaan sampel nanopartikel ZnO serta komposisi sampel. Teknik SEM-EDX merupakan pemeriksaan dan analisis permukaan atau lapisan dengan ketebalan 20×10^{-6} m dari permukaan. Sampel nanopartikel ZnO diambil dan diletakkan pada plat SEM untuk dikarakterisasi. Selain itu dilakukan analisis EDX bersamaan dengan analisis SEM. Data SEM berupa gambar dari struktur sampel yang didapatkan diolah dengan menggunakan

software ImageJ dan Origin. Sedangkan hasil EDX ditampilkan dalam spektrum yang puncaknya sesuai dengan unsur kimia yang diidentifikasi. Unsur yang dianalisis juga dapat diukur secara kuantitatif.

Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui komposisi kimia produk ZnO. Karakterisasi ini dilakukan pada sampel yang telah berbentuk serbuk, sampel diletakkan pada tempat berbentuk balok, selanjutnya sampel dimasukkan pada alat karakterisasi. Hasil karakterisasi dari sampel tersaji dalam bentuk grafik spektrum dan tabel. Grafik yang didapatkan hasil karakterisasi diklarifikasi indeks millernya dengan merujuk pada *Joint Committee on Powder Diffraction Standards* (JCPDS) 361451. Pola difraksi berupa spektrum hasil karakterisasi XRD memberikan informasi mengenai sudut terjadinya difraksi atom bahan pada sumbu horizontal dan besar intensitas yang dihasilkan pada sumbu vertikal. Tabel hasil karakterisasi memberikan informasi data mengenai difraksi atom bahan dan intensitas yang berupa angka.



Gambar 3. 3 Diagram alir karakterisasi sampel

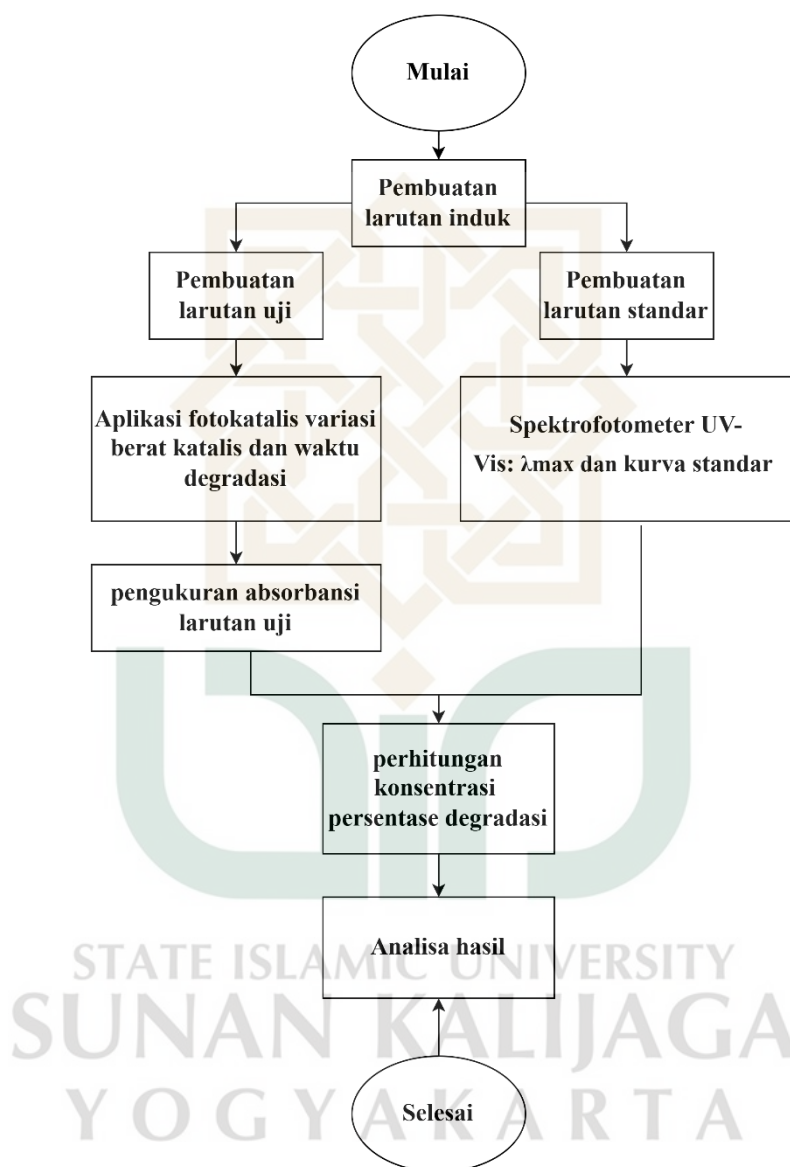
3.3.4 Pengujian Fotokatalis

Uji fotokatalis memiliki tujuan yaitu untuk mengetahui persentase efektivitas nanopartikel ZnO hasil *green synthesis* kayu bajakah tampala untuk degradasi *Crystal Violet*. Pengujian fotokatalis terdiri dari tiga tahapan, yaitu, penentuan panjang gelombang maksimum *Crystal Violet*, pembuatan kurva kalibrasi, dan proses degradasi warna.

Penentuan panjang gelombang (λ -max) bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengkarakterisasi senyawa berdasarkan hasil spektrum serapan suatu zat dan penetapan konsentrasi secara kuantitatif menggunakan Hukum Lambert-Beer (Rahmayani dkk., 2020). Pengukuran pada λ max penting karena memberikan sensitivitas dan selektivitas pengukuran yang optimal, meminimalkan galat, dan memungkinkan deteksi analit pada konsentrasi rendah. Sedangkan pembuatan kurva kalibrasi dilakukan untuk menentukan konsentrasi *Crystal Violet* yang dapat diukur menggunakan persamaan regresi ($y = ax + b$). Setiap konsentrasi larutan standar diukur pada panjang gelombang maksimum.

Dalam proses ini diawali dengan pembuatan larutan induk *Crystal Violet* sebanyak 0,001 gram dilarutkan pada 100 ml akuades (10 ppm). Untuk menentukan panjang gelombang maksimum, larutan induk diambil sebanyak 5 ml dan dilarutkan dengan akuades menggunakan labu ukur 25 ml (2 ppm) dan diukur menggunakan spektrofotometri UV-Vis. Dengan cara yang sama, dilakukan pembuatan larutan standar sebanyak 1 ppm (2,5 ml larutan induk), 2 ppm (5 ml larutan induk), 3 ppm (7,5 larutan induk), 4 ppm (10 ml larutan induk), dan 5 ppm(12 ml larutan induk)

pada labu ukur 25 ml dan ditambahkan akuades hingga ambang batas untuk pembuatan kurva standar.



Gambar 3. 4 Diagram alir roses uji fotokatalis

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Thattil dan Leema Rose (2020), Uji fotokatalis menggunakan *Crystal Violet* sebagai sampel limbah zat pewarna. Prosedur fotodegradasi *Crystal Violet* dilakukan dengan menambahkan 0,05 g dan 0,1 g nanopartikel ZnO ke dalam 4 ppm larutan *Crystal Violet*. Selama 30 menit

pertama, larutan diaduk dalam kondisi gelap untuk menghomogenkan larutan. selanjutnya, larutan diambil dan diujikan. Larutan yang masih tersisa dilanjutkan dengan penyinaran menggunakan 3 lampu UV masing-masing memiliki daya sebesar 10 W sebagai sumber cahaya dan diaduk dengan kecepatan 150 rpm. Saat proses degradasi, beberapa ml larutan diambil setiap 30 menit sebanyak dua kali dan disentrifugasi pada kecepatan 4000 rpm selama 10 menit. Konsentrasi larutan dianalisis menggunakan spektrofotometer UV-Vis dengan serapan cahaya sinar pada 590 nm. Setelah pengujian selesai, hasil spektrofotometer data diolah menggunakan Microsoft Excel. Secara sederhana, proses fotokatalis dapat dilihat pada **Gambar 3. 4**.

3.3.5 Uji Antibakteri

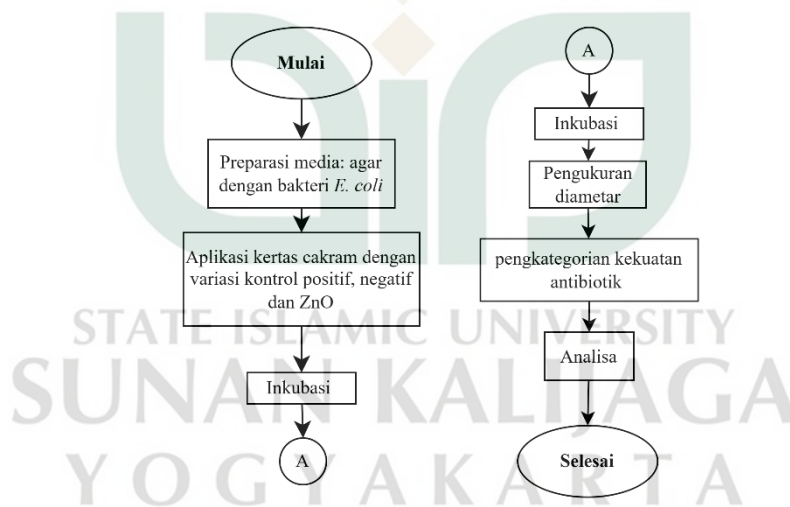
Uji bakteri dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan nanopartikel ZnO sebagai antibakteri. Bakteri *E. coli* yang merupakan bakteri uji diharapkan dapat mengurangi koloni di tempat bakteri tersebut tumbuh agar tidak mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan manusia.

Mengikuti penelitian yang dilakukan oleh Rhamdiah & Maharani (2022), uji aktivitas antibakteri dari nanopartikel ZnO terhadap bakteri *E.coli* dilakukan dengan menggunakan metode difusi cakram Kirby-Bauer. Metode difusi cakram Kirby-Bauer adalah uji mikrobiologi yang menggunakan cakram yang diresapi antibiotik yang diletakkan di atas permukaan bakteri yang ditumbuhkan di atas lempeng agar Mueller-Hinton. Zona penghambatan yang dihasilkan (area jernih di sekitar cakram di mana pertumbuhan bakteri dihambat) diukur dan

diinterpretasikan untuk menentukan apakah bakteri tersebut rentan, menengah, atau resisten terhadap antibiotik yang diuji (Hudzicki, 2012).

Kertas cakram yang sudah dicelupkan dalam aquades (sebagai kontrol negatif), larutan tetrasiklin 0.9g/mL (sebagai kontrol positif), dan larutan nanopartikel ZnO 0,2 mg diletakkan pada permukaan cawan petri yang berisi nutrisi agar dan diinokulasi dengan suspensi bakteri uji. Kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Setelah itu dilakukan pengukuran diameter zona bening menggunakan penggaris atau jangka sorong. Data yang didapat dianalisis dan dirujuk pada kategori respon pertumbuhan bakteri berdasarkan diameter zona hambat yang dikategorikan oleh Susanto & Ruga (2012) pada tabel **Tabel 3**.

3. Proses pengujian antibakteri dapat dilihat pada **Gambar 3. 5**

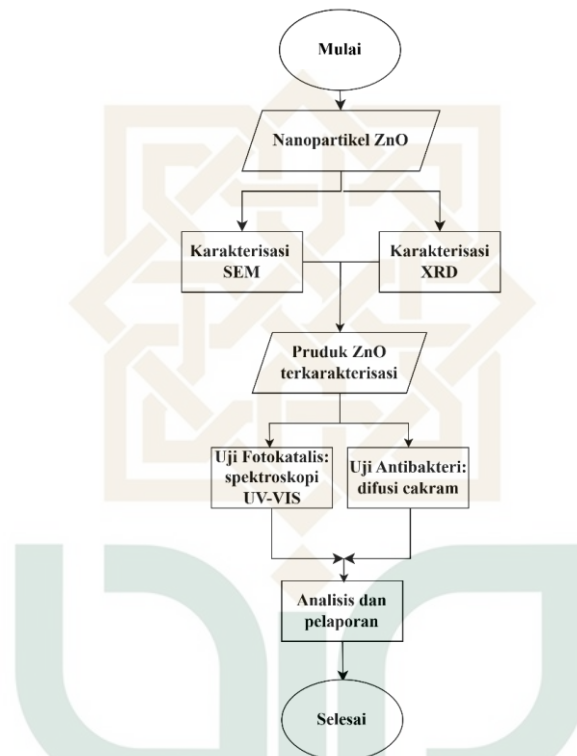


Gambar 3. 5 Diagram alir uji antibakteri

Tabel 3. 3 Kategori kekuatan antibiotik

Kategori	Rentang
Sangat kuat	>20 mm
Kuat	11-20 mm
Sedang	6-10 mm
Rendah	<5 mm

Secara sederhana, nanopartikel yang dihasilkan dikarakterisasi menggunakan SEM dan XRD. Selanjutnya produk ZnO yang terkarakterisasi dilakukan pengaplikasian sebagai fotokatalis dan anti bakteri. Proses karaterisasi dan pengujian ini dirangkum pada diagram alir pada gambar **Gambar 3. 6**.



Gambar 3. 6 Diagram alir aplikasi produk

3.4 Metode Analisis Data

3.4.1 Uji Fotokatalis

Karakterisasi UV-Vis digunakan untuk mengukur nilai absorbansi dan menganalisis persentase degradasi *Crystal Violet* untuk aplikasi fotokatalis. Uji ini memberikan informasi terkait panjang gelombang absorbansi maksimum *Crystal Violet*, kurva kalibrasi dan konsentrasi pewarna sisa degradasi. Panjang gelombang maksimum digambarkan dengan grafik perbandingan antara panjang gelombang dan nilai absorbansi. Sedangkan kurva kalibrasi digambarkan dengan grafik

perbandingan antara konsentrasi pewarna dan nilai absorbansi. Grafik ini ditunjukkan pada gambar **Error! Reference source not found.**

Persentase degradasi dari proses fotokatalis dapat dihitung menggunakan persamaan (3.1).

$$\%D = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) \times 100\% \quad (3.1)$$

dimana %D adalah persentase degradasi, C_0 adalah absorbansi awal (sebelum disinari), dan C_t adalah absorbansi setelah proses fotokatalis.

3.4.2 Uji Antibakteri

Uji aktivitas antibakteri dengan kertas cakram menggunakan metode difusi agar. Dalam metode ini, kertas cakram digunakan sebagai media untuk menyerap bahan antimikroba dan kemudian diletakkan pada permukaan media agar yang telah diinokulasi dengan bakteri. Setelah itu, kertas cakram diinkubasi dan diamati zona hambat yang terbentuk di sekitar kertas cakram. Zona hambat ini merupakan petunjuk kepekaan bakteri terhadap bahan antibakteri yang digunakan. Semakin besar zona hambat, maka semakin besar pula kemampuan bahan antibakteri untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Zona hambat dapat diukur dengan menggunakan jangka sorong, dengan mengukur dari zona terluar kertas cakram sampai pada batas terluar zona hambat (Magvirah dkk., 2020).

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Sintesis Nanopartikel ZnO

Proses sintesis nanopartikel ZnO dilakukan dengan metode kopresipitasi atau pengendapan. **Gambar 4. 1** merupakan merupakan hasil sintesis nanopartikel ZnO dengan bio reduktor kayu bajakah. Pada **Gambar 4. 1a**, campuran kayu bajakah dan seng asetat berhasil diendapkan. Dilanjutkan dengan proses pencucian dan dipanaskan pada suhu 200°C selama 3 jam sehingga membentuk serbuk ZnO seperti **Gambar 4. 1b**.



Gambar 4. 1 Hasil Sintesis Nanopartikel ZnO. a) proses pengendapan. b) serbuk ZnO

Proses sintesis diawali dengan mengekstrak kayu bajakah. Hasil yang diperoleh dari proses ini adalah cairan ekstrak kayu bajakah yang berwarna coklat kemerah-merahan. Dalam proses sintesis, warna pada ekstrak mempengaruhi warna nanopartikel yang terbentuk. Sampel yang dihasilkan berwarna merah muda karena ekstrak kayu bajakah yang belum sepenuhnya dihilangkan. Doan Thi dkk., (2020) menuliskan bahwa sampel yang dipanaskan pada suhu tinggi akan memiliki warna

yang lebih terang karena dekomposisi zat organik. Semakin tinggi suhu anil, semakin terang warna bubuknya

4.2 Karakterisasi Sampel

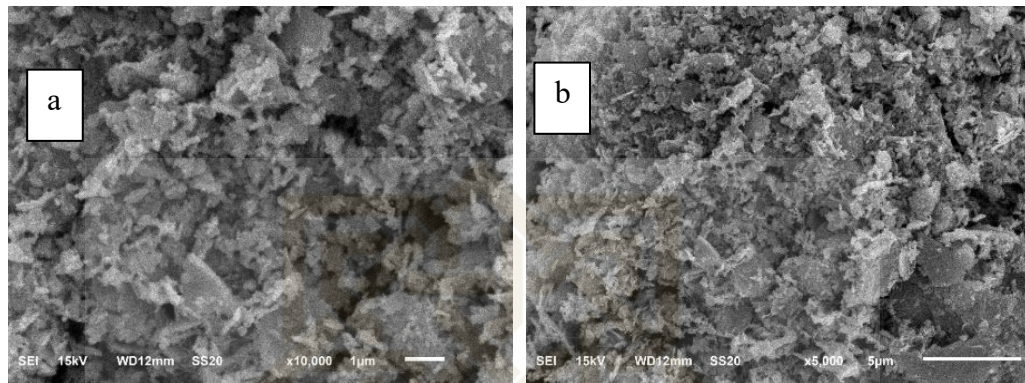
4.2.1 Karakterisasi SEM-EDX

Dengan melihat dan menganalisis setiap fitur topografi sampel menggunakan *Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-Ray* (SEM-EDX) dengan instrument JSM-6510, bentuk partikel dapat dilihat dan ukuran partikel dapat diketahui. Ukuran partikel dan bentuk nanopartikel ZnO hasil sintesis diukur dengan bantuan aplikasi ImageJ dan diolah menggunakan OriginPro.

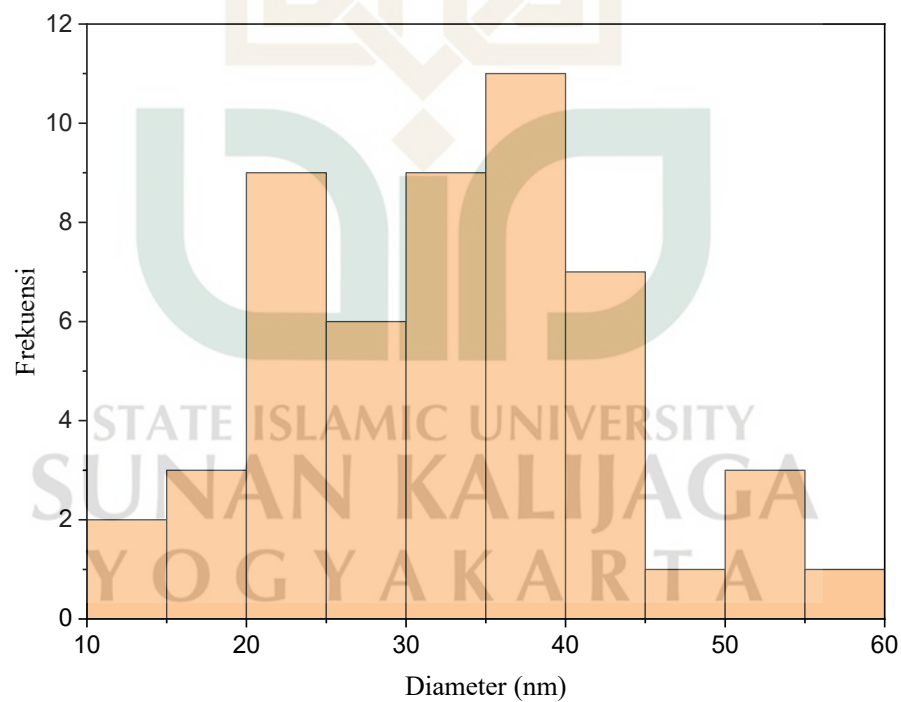
Gambar 4. 2 menampilkan gambar SEM dari nanopartikel ZnO yang disintesis melalui *green synthesis*. Gambar ini menunjukkan bahwa partikel tersebut mengalami aglomerasi yang mungkin disebabkan oleh pemberian tetesan NaOH dalam kecepatan yang konstan selama proses kopresipitasi. Nanopartikel yang dihasilkan juga mengandung *bulk* yang disebabkan dari ekstrak tumbuhan yang digunakan. Hal ini sangat umum karena ekstrak tumbuhan memiliki banyak pengotor. Berdasarkan kajian yang dilakukan oleh Zeghoud dkk., (2022), ZnO memiliki berbagai jenis morfologi, seperti *spherical*, *triangular*, *flower-shaped*, *spot-like shaped*, *cauliflower-shaped*, *hexagonal*, *flakes*. Dalam penelitian ini, ekstrak kayu bajakah tampala efektif dalam mereduksi seng asetat untuk membentuk struktur nanopartikel ZnO berjenis *flakes*.

Pengolahan ImageJ menghasilkan frekuensi ukuran diameter partikel yang tersebar. Sebanyak 50 cacahan data diambil dan dilakukan perhitungan diameter

rata-rata. Partikel dengan diameter 35-40 nm muncul sebanyak 11 kali dan menunjukkan frekuensi tertinggi.



Gambar 4. 2 Gambar hasil karakterisasi SEM a) 1 mikrometer dan b) 5 mikrometer

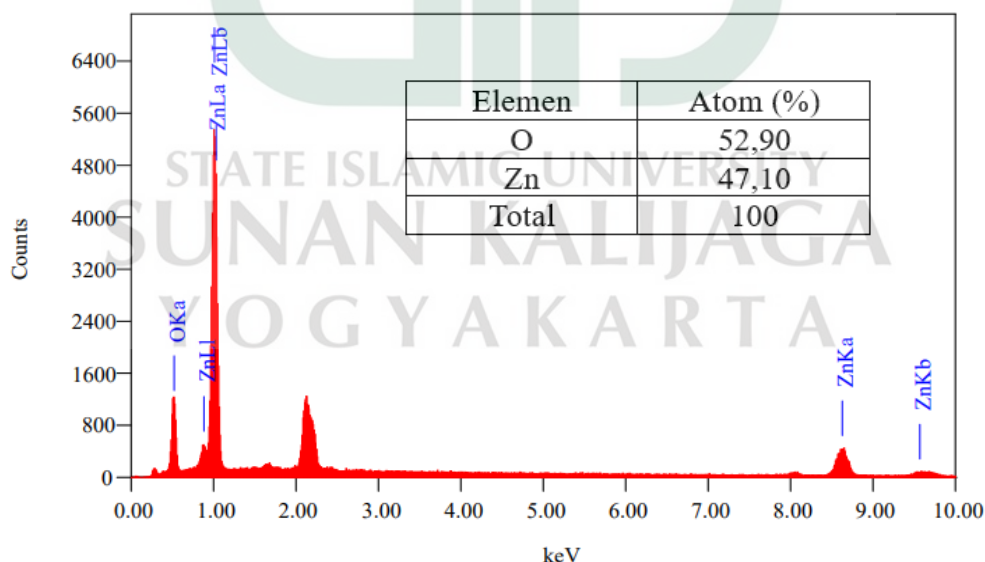


Gambar 4. 3 Hasil pengukuran partikel menggunakan ImageJ dan OriginPro

Selain itu, gambar SEM dengan perbesaran 10.000 kali dengan panjang garis skala 1 mikrometer memberikan informasi bahwa ukuran yang diperoleh nanopartikel ZnO yang memiliki ukuran partikel rata-rata 33,5 nm dengan R

square=0,95 (**Gambar 4. 3**). Hasil ini memberikan informasi bahwa sampel yang dihasilkan sudah bersifat nanometer.

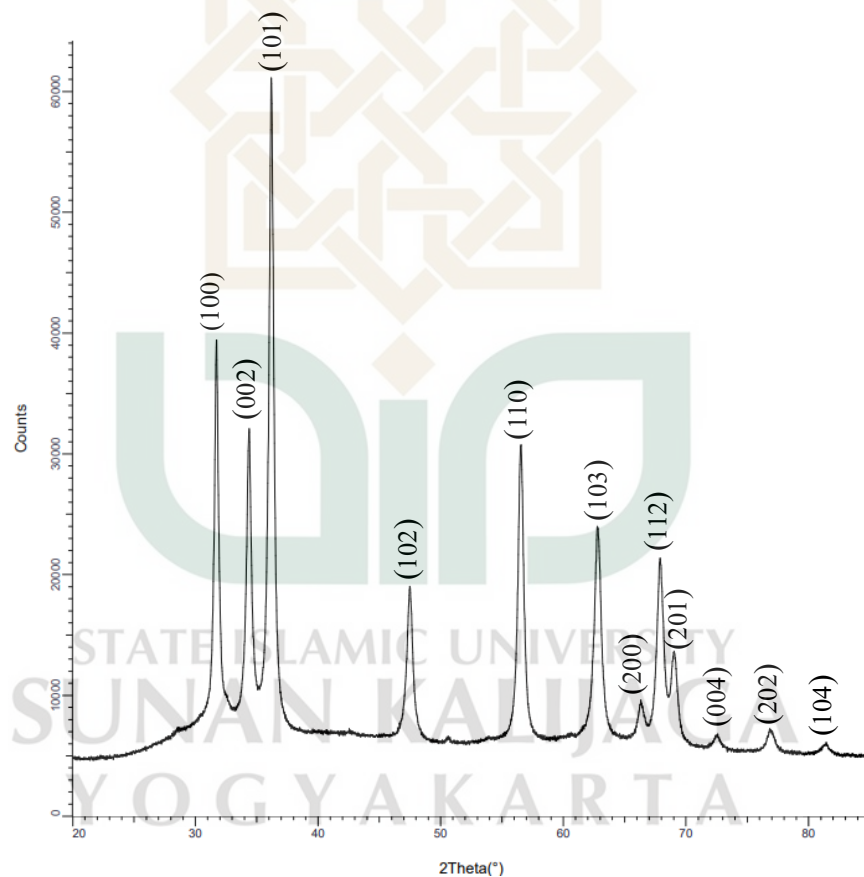
Gambar 4. 4 menunjukkan spektrum hasil pengukuran EDX yang menunjukkan bahwa dua atom dominan pada kedua material: Zn dan O, masing-masing dengan persentase atom 52,90% dan 47,10% dengan total 100%. Persentase tersebut dapat menyatakan bahwa ikatan karbonil yang ada pada prekursor sepenuhnya hilang karena adanya pengaruh reduksi dari ekstrak kayu bajakah. Secara stoikiometri, perbandingan persentase jumlah atom Zn dan O pada material ZnO adalah 1:1, dan hasil pengukuran EDX menunjukkan bahwa perbandingan persentase jumlah atom kedua material adalah 1:1,12 sehingga dapat dikatakan bahwa hasil tersebut mendekati dengan perbandingan stoikiometri. Kelebihan atom O pada kedua bahan ini mungkin disebabkan oleh oksigen interstisial atau kelebihan oksigen yang terbentuk sebagai hasil akhir sintesis.



Gambar 4. 4 Hasil EDX

4.2.2 Karakterisasi XRD

Gambar 4. 5 merupakan hasil karakterisasi XRD pada nanopartikel ZnO yang terbentuk. Hasil karakterisasi sampel menggunakan XRD tipe Bruker AXS D8 Advance Eco. Sumbu X menunjukkan nilai dari 2θ , dan sumbu Y menunjukkan intensitas puncak. Sampel diamati dari sudut 2θ antara 20° dan 85°



Gambar 4. 5 Difraktogram XRD

Karakterisasi XRD bertujuan untuk mengetahui fasa sampel yang terbentuk. Pola difraksi sinar-X diperoleh dari berkas sinar-X oleh bidang hkl kristal. Orientasi bidang kristal berbeda, yang menyebabkan pola dengan puncak berbeda pada sudut difraksi tertentu. Hukum *Bragg* dapat digunakan untuk memprediksi difraksi kristal

atomik. Pola difraksi sinar-X sampel dicocokkan dengan standar *Joint Committee on Powder Diffraction* (JCPDS) 361451 dengan radiasi $\text{CuK}\alpha$ ($\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$) pada 2θ antara 30° dan 85° .

Secara umum posisi puncak-puncak XRD yang terdeteksi pada sampel memiliki sudut difraksi yang besar. Hal ini membuktikan bahwa sintesis nanopartikel ZnO mempunyai kemurnian yang tinggi. Difraktogram hasil XRD mengkonfirmasi bahwa secara umum sampel menunjukkan orientasi pertumbuhan ZnO dengan puncak tertinggi terdapat pada sudut difraksi 2θ kisaran 36° bidang hkl [1 0 1] dan diikuti dengan puncak 2θ kisaran 31° serta 34° yang mencerminkan struktur heksagonal partikel ZnO. Sepanjang sudut 2θ ditemukan *peak-peak* dengan rincian pada **Tabel 4. 1**. Perhitungan hasil XRD berdasarkan metode *Debye-Scherrer* dihasilkan ukuran rata-rata kristal nanopartikel ZnO yaitu 29 nm.

Tabel 4. 1 Hasil karakterisasi XRD

2θ ($^\circ$)	FWHM (rad)	Diameter (nm)	hkl
31,73	0,226	33,81	100
34,37	0,264	28,75	002
36,21	0,251	30,08	101
47,50	0,295	24,65	102
56,54	0,272	40,81	110
62,81	0,315	21,53	103
66,34	0,313	21,26	200
67,90	0,31	21,26	112
69,04	0,343	19,08	201
72,57	0,263	24,35	004
76,91	0,1	62,21	202
81,45	0,275	21,89	104

4.3 Uji Fotokatalis

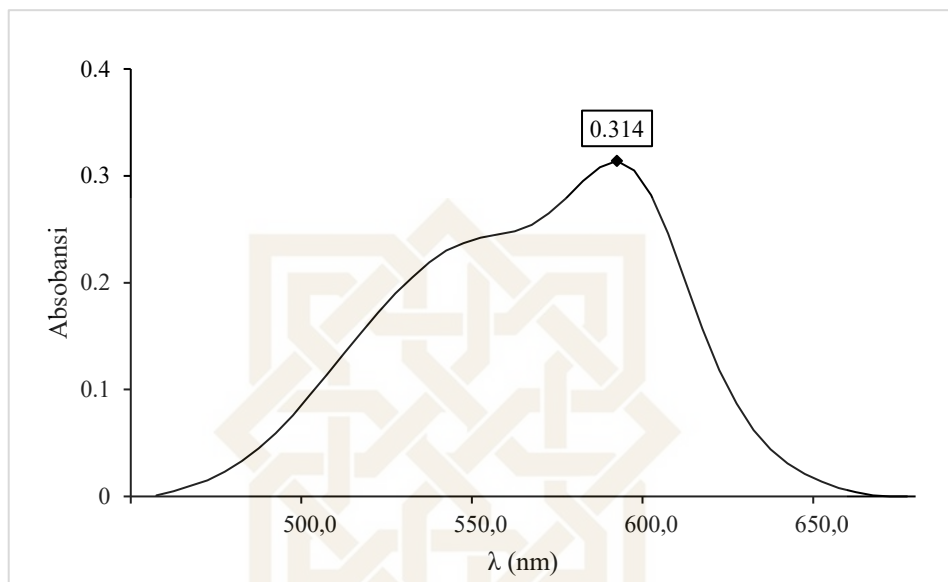
Proses fotokatalis adalah proses kombinasi reaksi fotokimia yang memerlukan unsur cahaya dan katalis untuk mempercepat terjadinya transformasi kimia. Untuk mendegradasi *Crystal Violet*, dilakukan percobaan dengan 2 variasi katalis, yaitu penggunaan katalis nanopartikel ZnO sebanyak 0,05 gram dan 0,1 gram. Penambahan NaCl sebanyak 0,1 M dilakukan untuk menetralkan Ph larutan uji. Selanjutnya dilakukan variasi penyinaran dengan 30 menit pertama dalam kondisi gelap/tanpa cahaya, dilanjutkan penyinaran sampel dengan lampu UV dalam waktu 30 dan 60 menit.

4.3.1 Panjang Gelombang Maksimum *Crystal Violet*

Panjang gelombang maksimum mengacu pada panjang gelombang di mana suatu senyawa menunjukkan tingkat penyerapan tertinggi. Penentuan panjang gelombang maksimum dari *Crystal Violet* bertujuan untuk memperoleh nilai serapan yang memberikan tingkat sensitivitas pengukuran yang optimal serta meminimalkan kesalahan saat membaca tingkat penyerapan. Pada panjang gelombang maksimum, akan diperoleh hasil yang cukup stabil. Panjang gelombang maksimum untuk larutan *Crystal Violet* ditetapkan di dalam rentang penyerapannya antara 400 hingga 700 nm.

Dalam eksperimen ini, digunakan larutan *Crystal Violet* dengan konsentrasi 2 ppm serta rentang panjang gelombang (λ) yang berkisar antara 400 hingga 700 nm. Hasil dari pengujian menunjukkan data λ (nm) di sumbu X dan tingkat absorbansi di sumbu Y. Data tersebut diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menghasilkan kurva absorbansi *Crystal Violet*, di mana λ maksimum teridentifikasi pada 590 nm dengan tingkat absorbansi mencapai 0,314. Nilai λ maksimum yang

ditunjukkan pada gambar **Gambar 4. 6** selanjutnya diaplikasikan untuk menguji larutan standar dan larutan eksperimen *Crystal Violet*.



Gambar 4. 6 Panjang gelombang maksimum

4.3.2 Kurva Kalibrasi

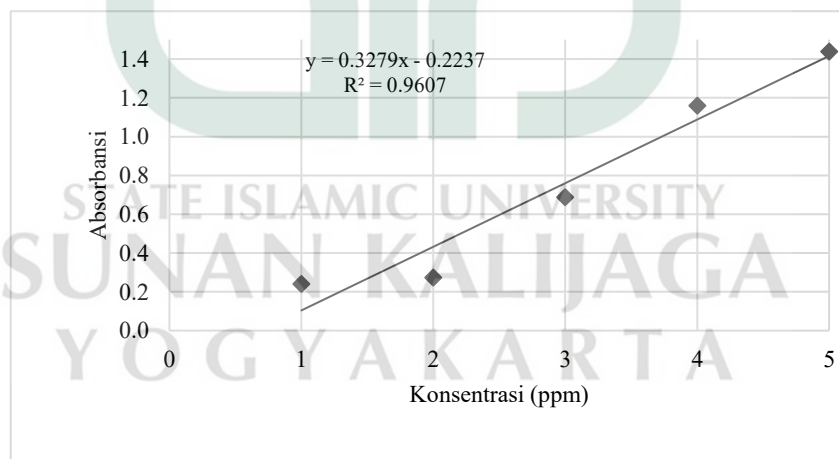
Pembuatan kurva standar didasarkan pada prinsip hukum Beer-Lambert, yang menyatakan bahwa jumlah cahaya yang diserap atau ditransmisikan oleh suatu larutan sebanding dengan konsentrasi larutan. Untuk membuat kurva *Crystal Violet* standar, perlu dibuat grafik yang menunjukkan konsentrasi *Crystal Violet*, yang dapat diukur menggunakan persamaan regresi ($y = ax+b$). Larutan kurva standar disiapkan menggunakan beberapa konsentrasi: 1, 2, 3, 4, dan 5 mg/l. Setiap konsentrasi diukur pada λ maksimum, yaitu 590 nm.

Hasil uji UV-Vis dicatat sebagai data penyerapan pada **Tabel 4. 2** dan kemudian diolah menjadi kurva seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4. 7**. Menurut hukum Beer-Lambert, semakin tinggi konsentrasi maka semakin tinggi pula nilai serapannya. Kurva standar menjadi persamaan regresi linier: $y = 0,3279x$

– 0,2237, $R^2 = 0,96$. Dalam persamaan ini, y adalah nilai serapan dan x adalah konsentrasi *Crystal Violet* yang diukur dengan instrumen UV-Vis. Nilai R^2 koefisien regresi mendekati 1 menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi dan serapan bersifat linier dan sesuai dengan hukum Lambert-Beer. Dimana hukum ini menyatakan bahwa semakin tinggi konsentrasi suatu zat dalam larutan atau semakin panjang lintasan cahaya yang melalui larutan, maka semakin besar cahaya yang diserap oleh larutan tersebut (Rahmayani dll., 2020).

Tabel 4. 2 Absorbansi kurva standar

No	Konsentrasi (ppm)	absorbansi
1	1	0,24
2	2	0,31
3	3	0,67
4	4	1,16
5	5	1,43

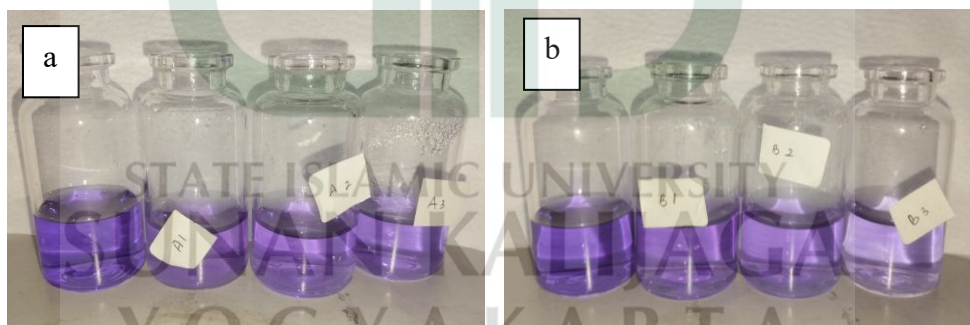


Gambar 4. 7 Kurva standar *crystal violet*

4.3.3 Uji Degradasi *Crystal Violet*

Fotodegradasi merujuk pada proses di mana suatu senyawa, umumnya senyawa organik, diuraikan menjadi bentuk yang lebih sederhana dengan menggunakan energi dari foton atau cahaya. Prosedur ini seringkali melibatkan

fotokatalis, yaitu substansi yang mempercepat reaksi tanpa mengalami perubahan kimiawi. Pada prinsipnya, fotokatalis menyerap energi dari foton, yang mengakibatkan eksitasi elektron ke level energi yang lebih tinggi. Energi yang terkandung dalam foton tersebut perlu cukup besar untuk dapat memindahkan elektron dari pita valensi menuju pita konduksi dalam semikonduktor. Eksitasi yang terjadi pada elektron meninggalkan sebuah "lubang" bermuatan positif di posisi asalnya. Pasangan elektron dan lubang tersebut selanjutnya bisa berinteraksi dengan molekul-molekul lain. Elektron yang terstimulasi dapat bereaksi dengan oksigen yang terlarut, sehingga menghasilkan radikal bebas superoksida (O_2^-). Di sisi lain, lubang tersebut dapat bereaksi dengan molekul air dan menghasilkan radikal hidroksil ($\cdot OH$). Radikal bebas superoksida serta radikal hidroksil merupakan spesies yang memiliki tingkat reaktivitas yang sangat tinggi. Radikal tersebut mampu menyerang dan mengoksidasi molekul-molekul organik, yang



Gambar 4. 8 Aplikasi fotokatalis ZnO a) katalis ZnO 0,05 gram b) katalis ZnO 0,1 gram selama 0, 30, 60 menit

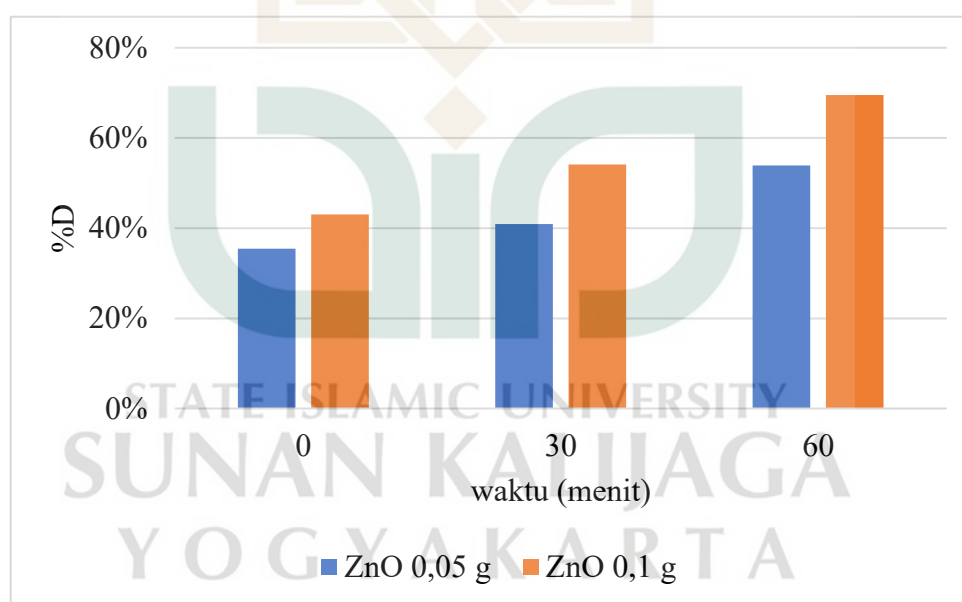
kemudian memecahnya menjadi senyawa-senyawa yang lebih kecil dan aman.

Penelitian mengenai efektivitas nanopartikel ZnO sebagai fotokatalis dalam mendegradasi larutan *Crystal Violet* dilakukan dalam kondisi gelap selama 30 menit atau sebelum terpapar sinar UV, serta dalam keadaan terpapar sinar UV selama 30 menit dan 60 menit. Dalam eksperimen ini, digunakan larutan *Crystal Violet* dengan

konsentrasi sebesar 4 ppm, dan nanopartikel ZnO digunakan sebagai zat katalis dalam dua variasi, yaitu 0,05 gram dan 0,1 gram. Karena larutan bersifat asam, penetralan pH dilakukan dengan menambahkan NaCl 0,1 M untuk mencapai kondisi pH yang normal untuk stabilisasi zat.

Tabel 4. 3 Nilai absorbansi, konsentrasi akhir, dan persentase degradasi *Crystal Violet*

No	ZnO (g)	Waktu (menit)	Absorbansi	Konsentrasi awal (ppm)	Konsentrasi akhir (ppm)	Persentase (%)
1	0,05	0	0,623	4	2,58	35,45%
2		30	0,551	4	2,36	40,93%
3		60	0,380	4	1,84	53,87%
4	0,1	0	0,523	4	2,28	43,07%
5		30	0,378	4	1,84	54,12%
6		60	0,176	4	1,22	69,53%



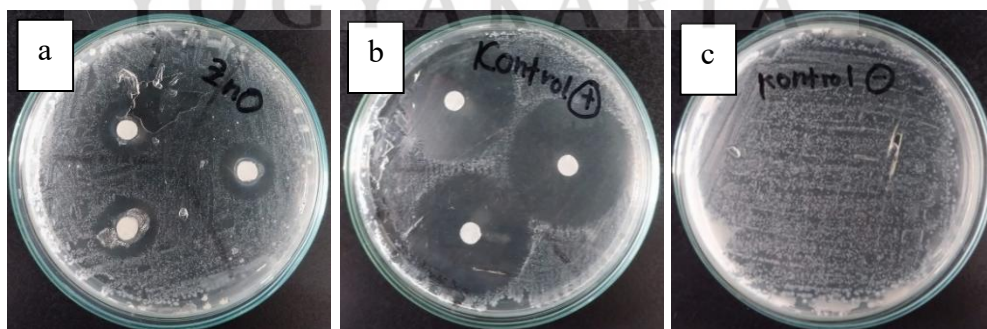
Gambar 4. 9 Grafik pengaruh konsentrasi katalis dan waktu penyinaran dengan persentase degradasi pewarna

Berdasarkan **Tabel 4. 3** terlihat bahwa nilai absorbansi, dan persentase degradasi (%D) meningkat seiring bertambahnya waktu kontak antara katalis dan larutan warna. Penambahan nanopartikel ZnO juga mempengaruhi degradasi, semakin banyak katalis yang digunakan, semakin besar nilai persentase degradasi.

Pemberian perlakuan pengadukan dalam ruang gelap saat proses homogenisasi memberikan informasi bahwa proses degradasi dapat berjalan tanpa bantuan cahaya, namun dengan memberikan cahaya, persentase degradasi menjadi semakin meningkat. Persentase degradasi tertinggi ditunjukkan pada sampel nanopartikel ZnO sebanyak 0,1 gram dan lama waktu penyinaran sebanyak 60 menit yaitu sebesar 69,53% dengan nilai konsentrasi akhir sebesar 1,22 ppm.

4.4 Uji Antibakteri

Nanopartikel ZnO dapat digunakan sebagai antibakteri dengan pengujian antimikroba metode difusi cakram. Pengujian ini dilakukan dengan menyiapkan media agar untuk pertumbuhan bakteri. Agar yang sudah memadat, dioleskan bakteri uji yaitu *E. coli* di seluruh permukaan agar. Terdapat 4 media agar yang akan difungsikan sebagai kontrol positif, kontrol negatif, dan sampel uji. Kontrol positif adalah media dengan bakteri dengan kertas cakram yang dicampurkan dengan antibiotik pasaran. Kontrol negatif adalah media tanpa diberi perlakuan. Agar diletakkan pada cawan petri steril yang sudah dibagi menjadi 3 bagian. Hal ini dimaksudkan sebagai pengulangan sampel. selanjutnya memasukkan kertas cakram dengan diameter 0,6 mm yang sudah dicampuri larutan ZnO 0,2 mg ke dalam media.



Gambar 4. 10 Aplikasi antibakteri a) nanopartikel ZnO, b) kontrol positif, dan c) kontrol negatif terhadap bakteri *E. coli*

Tabel 4. 4 Hasil uji antibakteri nanopartikel ZnO terhadap *E. coli*

No	Sampel	Diameter hambatan (mm)			Rata-rata (mm)
		1	2	3	
1	Kontrol positif	36	36	36	36
2	Zno	20	20	20	20
3	Kontrol negatif	-	-	-	-

Perlakuan pemberian nanopartikel ZnO menunjukkan aktivitas antibakteri yang baik terhadap bakteri *E. coli*, seperti yang ditunjukkan oleh diameter zona hambatan sebesar 20 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa nanopartikel ZnO mampu menghambat sel bakteri. Dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fouda dkk., (2023), nanopartikel ZnO sebesar 0,2 mg yang dihasilkan menggunakan ekstrak buah delima memberikan hasil aktivitas antibakteri *E. coli* sekitar 19,3 mm sama kuatnya dengan nanopartikel ZnO yang dihasilkan dalam penelitian ini.

Nanopartikel ZnO dapat menjadi antibakteri karena kemampuannya dalam merusak dinding sel bakteri dengan cara menghasilkan ion Zn^{2+} di dalam sel mikroba dan juga menghasilkan jenis oksigen reaktif tingkat tinggi. Hal ini menyebabkan disfungsi membran, hancurnya aktivitas seluler, dan gangguan permeabilitas mikroba. Daya tarik nanopartikel ZnO terhadap sel bakteri dapat dikaitkan dengan gaya elektrostatis antara bakteri bermuatan negatif dan nanopartikel bermuatan positif.

Karakteristik nanopartikel yang dihasilkan seperti konsentrasi, porositas, morfologi, ukuran, dan pengaruh kondisi lingkungan memiliki pengaruh dalam pelepasan ion Zn^{2+} . Ukuran partikel yang dihasilkan merupakan salah satu faktor yang menentukan efektivitas antibakteri. Meskipun ukuran partikel yang dihasilkan

masih berbentuk mikro, namun telah menunjukkan nilai yang tinggi sebagai antibakteri.

4.5 Integrasi-Interkoneksi

Kemajuan zaman yang tidak diimbangi oleh kesadaran individu terhadap lingkungan dapat menyebabkan dampak negatif baik kerusakan alam maupun makhluk hidup. Seperti pembuangan limbah industri secara ilegal tanpa pengolahan yang baik dapat merusak ekosistem perairan dan menyebabkan banyak patogen berkembang tak terkendali. Kerusakan yang terjadi di muka bumi telah tertuang pada Al-Quran Surah Ar-Rum ayat 41

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾

Artinya: Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar).

Dalam ayat ini diterangkan bahwa telah terjadi *al-fasād* di daratan dan lautan. *Al-Fasād* adalah segala bentuk pelanggaran atas sistem atau hukum yang dibuat Allah, yang diterjemahkan dengan “perusakan”. Perusakan itu bisa berupa pencemaran alam sehingga tidak layak lagi didiami, atau bahkan penghancuran alam sehingga tidak bisa lagi dimanfaatkan (Shihab, 2002).

Menjaga keseimbangan alam dan keberlanjutannya dengan mewujudkan lingkungan yang aman dan lestari, adalah tugas mulia yang harus ditunaikan oleh setiap individu yang beriman. Individu yang beriman harus memahami bahwa manusia diciptakan untuk mengemban Amanah sebagai *khalifah fil ardh* yang memiliki arti pengelola, pengatur, atau penjaga bumi. Pada dasarnya, semua pemanfaatan sumber daya alam bertujuan untuk kemakmuran, kesejahteraan,

keamanan dan perdamaian masyarakat. Pada Al-Quran Surah Al-A'raf, ayat 73 telah memberikan informasi tentang Allah yang menjadikan manusia sebagai khalifah dan larangan berbuat kerusakan.

وَإِذْ جَعَلْنَا خُلَفَاءَ مِنْ بَعْدِ عَادٍ وَبَوَّأْنَا فِي الْأَرْضِ تُتَّخِذُونَ مِنْ سُهُولِهَا قُصُورًا وَتَنْحِتُونَ الْجِبَالَ بُيُوتًا فَادْكُرُوا
الْآءَ اللَّهُ وَلَا تَعْتُوا فِي الْأَرْضِ مُفْسِدِينَ ﴿٧٤﴾

Artinya: Ingatlah ketika (Allah) menjadikan kamu pengganti-pengganti (yang berkuasa) sesudah 'Ad dan memberikan tempat bagimu di bumi. Kamu membuat pada dataran rendahnya bangunan-bangunan besar dan kamu pahat gunung-gunungnya menjadi rumah. Maka, ingatlah nikmat-nikmat Allah dan janganlah kamu melakukan kejahatan di bumi dengan berbuat kerusakan.

Islam adalah agama yang tidak hanya membahas aspek spiritual, tetapi juga mendorong umatnya untuk berpikir, meneliti, dan memanfaatkan alam untuk kemaslahatan. Dalam konteks modern, hal ini tercermin dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang ramah lingkungan, seperti penelitian tentang *green synthesis* nanopartikel. Penelitian ini menunjukkan bagaimana sains dan Islam bisa berjalan beriringan dalam menjaga lingkungan dan kesehatan masyarakat.

Metode *green synthesis* dalam memproduksi nanopartikel ZnO adalah bentuk penerapan ajaran Islam dalam menjaga kelestarian alam dan mencegah pencemaran dari bahan kimia sintetis. Penggunaan kayu batak sebagai agen bio-reduktor dapat dikatakan sebagai bentuk ikhtiar untuk menggali potensi pengobatan dan perlindungan kesehatan dari alam. Penelitian ini merupakan bentuk nyata dari ijtihad ilmiah dalam menjawab tantangan zaman, yakni pencemaran lingkungan dan resistensi patogen, dengan tetap berlandaskan etika dan nilai-nilai Islam.