

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂

Nanokomposit adalah komposit yang salah satu fasanya mempunyai morfologi skala nano seperti nanopartikel, tabung nano, atau struktur nano pipih, yang memiliki dimensi dalam kisaran 10-100 nm (Sen, 2019).

Nanokomposit juga merupakan material yang mempunyai struktur padat yang jarak antar fasanya diperkecil terbentuk dari suatu dimensi berukuran skala nano. Kualitas antarmuka antara nanopartikel memainkan peran penting, yang dapat ditingkatkan secara signifikan dengan memodifikasi nanofiller mineral. Banyak nanopartikel dapat digunakan untuk digunakan dalam struktur nanofilter mineral. Yang dapat disebutkan antara lain oksida logam, logam murni, zeolit, karbon, dan bahan mineral lainnya (Rahimi & Mosleh, 2022).

International Organization for Standardization (ISO) mendefinisikan nanopartikel sebagai benda nano yang seluruh dimensi luarnya berada dalam skala nano, dimana panjang sumbu terpanjang dan terpendek benda nano tersebut tidak berbeda secara signifikan (Joudeh & Linke., 2022). Nanopartikel adalah material kecil yang memiliki ukuran berkisar antara 1 hingga 100 nm (Khan dkk., 2019).

Salah satu fenomena nanopartikel yang bergantung pada ukuran yang menarik adalah superparamagnetisme. Ketika ukuran nanopartikel berkurang, energi anisotropi magnetik per nanopartikel berkurang. Energi anisotropi magnet adalah energi yang menjaga momen magnet pada orientasi tertentu. Pada ukuran karakteristik untuk setiap jenis nanopartikel, energi anisotropi menjadi sama dengan energi panas, yang memungkinkan terjadinya pembalikan momen magnet secara acak, dalam hal ini, nanopartikel didefinisikan sebagai superparamagnetik. Nanopartikel superparamagnetik menampilkan magnetisasi tinggi hanya dengan adanya medan magnet, dan setelah dihilangkan, magnetisasi tersebut tidak mempertahankan magnetisasi apa pun. Superparamagnetisme telah lama diyakini hanya terbentuk pada nanopartikel ferromagnetik atau ferrimagnetik kecil, namun yang menarik, bahan paramagnetik lainnya juga menunjukkan magnetisme dalam skala nano (Joudeh & Linke, 2022).

2.1.1 Magnetit (Fe_3O_4)

Nanopartikel magnetit adalah bahan nano yang menarik di bidang ilmu material, kimia, dan fisika karena sifatnya yang berharga, seperti feromagnetisme lunak, setengah logam, dan biokompatibilitas. Biokompatibilitas nanopartikel oksida besi adalah kekuatan pendorong utama dari upaya penelitian besar untuk mengkomersialkan nanopartikel ini untuk aplikasi teknologi medis canggih. Meskipun banyak oksida besi yang diketahui, istilah “oksida besi” biasanya mengacu pada tiga jenis: Fe_3O_4 (magnetit), $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (hematit), dan $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (maghemit). Di antara semua oksida besi, Fe_3O_4 lebih menarik perhatian karena sifat magnetiknya yang unggul. Dijelaskan dalam Al-qur'an Allah SWT berfirman pada surah Al-Hadid yaitu pada ayat ke 25 yang menjelaskan tentang besi yaitu :

لَقَدْ آرْسَلْنَا رُسُلًا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنْزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيُقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ وَأَنْزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعٌ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَنْ يَنْصُرُهُ وَرُسُلُهُ بِالْغَيْبِ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ (٢٥)

Artinya : Dan sesungguhnya Kami telah mengutus rasul-rasul Kami dengan membawa keterangan yang jelas dan menurunkan bersama mereka kitab dan timbangan, agar manusia dapat melakukan keadilan. Dan Kami turunkan besi, yang padanya terdapat kekuatan yang hebat dan manfaat bagi manusia, agar Allah mengetahui siapa yang menolong-Nya dan rasul-rasul-Nya, walaupun mereka belum melihat Kami. Dan Allah Maha Kuasa lagi Maha Perkasa.

Dari ayat diatas menjelaskan tentang beberapa poin yang salah satunya adalah tentang spesifik diturunkannya besi dari langit. Material ini tidak hanya merupakan komponen fisik bumi tetapi juga mempunyai manfaat yang signifikan bagi umat manusia. Ayat tersebut menunjukkan sifat ganda besi-kekuatannya sebagai material dan berbagai keunggulan yang dibawanya. Maka dari itu besi mempunyai sifat magnetit yang sangat bagus untuk dijadikan nanopartikel.

Sifat magnetik dapat dijelaskan oleh struktur kristalnya. Magnetit memiliki struktur kristal spinel terbalik kubik yang terdiri dari kation Fe^{2+} yang menempati 25% situs interstisial oktahedral dan kation Fe^{3+} menempati 25% situs oktahedral dan 12,5% situs tetrahedral, dan 32 anion O^{2-} dalam sel satuannya. Momen magnet

kation Fe^{3+} dan Fe^{2+} dalam lubang oktahedral digabungkan secara feromagnetik. Namun, ion Fe^{3+} pada situs tetrahedral memiliki dipol magnet yang berlawanan arah dengan ion Fe^{3+} pada situs oktahedral. Oleh karena itu, Fe_3O_4 adalah bahan ferrimagnetik dengan magnetisasi saturasi tinggi dan koersivitas rendah karena kation Fe^{3+} yang digabungkan secara antiferromagnetik di situs tetrahedral dan oktahedral struktur kristalnya (Nguyen dkk., 2021).

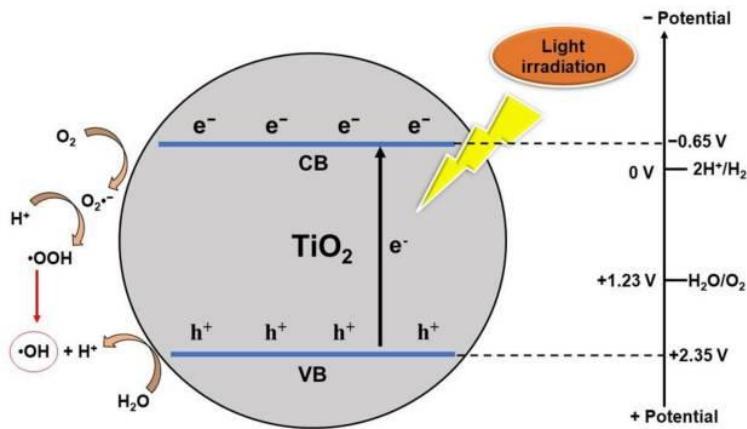
2.1.2 Titanium Dioksida (TiO_2)

Titanium Dioksida merupakan fotokatalis yang sangat baik, telah mendapat perhatian luas karena murah dan mampu mendegradasi polutan secara fotokatalitik dengan cara yang ramah lingkungan. TiO_2 memiliki banyak keunggulan, antara lain stabilitas kimia yang tinggi, toksisitas rendah, biaya pengoperasian rendah, dan ramah lingkungan. TiO_2 merupakan material semikonduktor orde N dengan bandgap 3,2 eV. Hanya jika panjang gelombang sinar ultraviolet kurang dari atau sama dengan 387,5 nm, elektron pita valensi dapat memperoleh energi foton dan melewati pita konduksi membentuk fotoelektron, sedangkan pita valensi membentuk lubang fotogenerasi (Yang dkk., 2022).

TiO_2 termasuk dalam keluarga oksida logam transisi. TiO_2 memiliki tiga bentuk polimorfik utama di alam yaitu anatase, rutile dan brookite. Diantaranya, fase TiO_2 , anatase dan rutil merupakan polimorf penting karena indeks biasnya yang tinggi dan sifat fotokatalitik yang baik. Transformasi fase TiO_2 biasanya terjadi pada suhu 600-700°C dari meta-stabil anatase menjadi rutil (Balamurugan dkk., 2022).

Secara umum mekanisme fotokatalisis menggunakan TiO_2 diilustrasikan pada Gambar 2.1. Ketika material TiO_2 dikenai iradiasi foton yang memiliki energi lebih besar dari celah pita TiO_2 , maka elektron di pita valensi akan terangkat ke pita konduksi, sehingga menciptakan lubang di pita valensi. Proses fotoeksitasi pasangan elektron (e^-) dan hole (h^+) akan ikut serta dalam reaksi redoks dengan spesies teradsorpsi yang masing-masing akan membentuk anion radikal superoksida ($\bullet\text{O}_2^-$) dan radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$), yang akan menghasilkan berperan dalam degradasi polutan organik dalam air. Hanya foton dengan energi lebih besar

dari energi celah pita yang dapat mengeksitasi elektron dan mendorong terjadinya reaksi (Eddy dkk., 2023).



Gambar 2.1 Diagram Skema Prinsip Fotokatalitik TiO₂

2.2 Degradasi Metilen Biru

Degradasi adalah penurunan suatu reaksi atau perubahan kimia pada perurain suatu senyawa atau molekul menjadi senyawa yang lebih sederhana.

Metilen biru merupakan bahan yang sangat umum digunakan dalam industri tekstil karena harganya yang cukup terjangkau. Namun meski harganya ekonomis, dampaknya terhadap lingkungan sekitar sangat serius. Senyawa metilen biru hanya sekitar 5% yang digunakan dalam industri tekstil, sedangkan 95% sisanya menjadi limbah B3 yang dibuang (Fauzi, 2023).

Setelah membuang limbah cair yang mengandung metilen biru ke sumber daya air bahkan dalam jumlah kecil, kehidupan akuatik dan jaring makanan dapat terpengaruh. Dosis rendah 7,5 - 1 ppm metilen biru berbahaya bagi manusia. Mata terbakar, kesulitan bernapas, detak jantung lebih cepat, mual, penyakit kuning, muntah, syok, keringat berlebih, kebingungan mental, dermatitis alergi, iritasi kulit, methemoglobinemia, kanker, kejang, sianosis, mutagenisitas, kebutaan semuanya dapat disebabkan oleh metilen biru.

Kelarutannya yang tinggi dalam air menyebabkan pembuangannya ke badan air alami melalui air limbah, sehingga menimbulkan masalah lingkungan yang signifikan. Ketahanan metilen biru terhadap kerusakan aerobik, panas, cahaya, dan zat pengoksidasi tertentu disebabkan oleh komposisi kimianya yang rumit dan

aromatik. Oleh karena itu, salah satu persyaratan utama selama pengolahan air limbah adalah penghilangan atau degradasi metilen biru (Tumbelaka dkk., 2022).

2.3 Daun Kelor (*Moringa oleifera*)

Daun kelor merupakan anggota famili *Moringaceae*, yaitu salah satu tanaman dengan pertumbuhan tercepat dan ditemukan di daerah tropis dan subtropis. Tanaman ini mengandung antioksidan konsentrasi tinggi, yang dimana terdapat sifat-sifat yang terkandung dalam daun kelor ini sendiri yaitu seperti polifenol, isothiocyanates, glukosinolat, flavonoid, dan asam fenolik, yang dapat membantu sintesis Nanopartikel (Tumbelaka dkk., 2022).

Tabel 2.1 Kandungan Sifat Daun Kelor

Unsur Sifat Daun Kelor	Kandungan Pada Daun Kelor (%)
Polifenol	50
Isothiocyanates	50
Glukosinolat	60
Flavonoid	70
asam fenolik	70

Adapun sifat yang paling maksimal yang terdapat dari dalam daun kelor yang berfungsi untuk *green synthesized* sendiri yaitu sifat flavonoid dan sifat fenolik. Sifat flavonoid adalah memiliki sifat sebagai agen antioksidan yang dapat memperkuat pertahanan tubuh terhadap radikal bebas. Aktivitas antioksidan yang dimiliki oleh senyawa flavonoid terbukti efektif dalam mencegah penumpukan zat kimia tertentu. Di sisi lain, senyawa fenolik adalah zat yang dihasilkan oleh tanaman sebagai reaksi terhadap tekanan lingkungan (Hanin & Pratiwi, 2017).

Daun kelor, yang kaya akan senyawa fitokimia seperti flavonoid dan asam fenolik, memiliki peran penting sebagai agen pelindung selama proses sintesis (Lolieta, 2023).

Daun kelor sering digunakan dalam proses *green synthesized* untuk pembuatan logam, seperti perak (Ag), tembaga (Cu), dan Fe₃O₄ nanopartikel dan kaya akan flavonoid dan asam fenolik, yang membantu dalam reduksi/oksidasi

garam mineral selama sintesis. Selanjutnya, senyawa bioaktif dalam daun kelor bertindak sebagai agen pengkelat dan penstabil. Daun kelor memiliki sifat koagulan yang, karena adanya protein kationik, dapat membersihkan permukaan air dan mengendapkan partikel organik dan mineral dari suatu larutan. Daun kelor dibedakan dari ekstrak tumbuhan lain berdasarkan sifat antimikroba dan antibakterinya, yang memainkan peran penting dalam pengolahan air limbah (Tumbelaka dkk., 2022).



Gambar 2.2 Daun Kelor
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
SUMATERA UTARA MEDAN

2.4 *Green Synthesized*

Green synthesized terdiri dari kata "green" dan "synthesized." Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia, sintesis didefinisikan sebagai reaksi kimia yang melibatkan dua atau lebih zat untuk menghasilkan zat material baru. Sedangkan *green* adalah kata dalam bahasa Inggris yang berarti hijau atau berkaitan dengan konsep ramah lingkungan.

Green synthesized adalah metode ramah lingkungan yang menghadirkan cara berpikir berbeda dalam bidang kimia yang tujuannya adalah untuk menghilangkan limbah beracun, mengurangi penggunaan energi, dan

menggunakan pelarut yang aman bagi lingkungan seperti air, etanol, atau etil asetat (Bedloovicova, 2022).

Terdapat beberapa penelitian sebelumnya yang menggunakan metode konvesional. Metode konvensional adalah pembuatan nanopartikel menggunakan metode sintesis kimia basah dengan prekursor kimia yang beracun dan tidak ramah lingkungan penggunaan bahan kimia tersebut setidaknya harus diminimalkan untuk mengurangi terbentuknya limbah baru hasil sintesis nanopartikel. Dibandingkan dengan sintesis ramah lingkungan, metode konvensional memiliki beberapa kelemahan, seperti penggunaan bahan kimia beracun dan mahal, jalur proses sintesis yang sulit dan menghasilkan produksi produk sampingan berbahaya.

Green synthesized lebih menguntungkan dalam hal biokompatibilitas, ramah lingkungan, tidak beracun, dan efektivitas biaya. Selain itu, fitokimia dalam ekstrak tumbuhan mempunyai potensi tinggi sebagai agen pereduksi dan pembatasan yang dapat menstabilkan nanopartikel selama proses sintesis. Ini dapat digunakan untuk mengontrol ukuran dan bentuk nanopartikel untuk berbagai aplikasi (Tumbelaka dkk., 2022).

Saat ini, *green synthesized* terutama menggunakan mikroorganisme (jamur, bakteri, dan alga) atau ekstrak dari daun, bunga, akar, kulit, buah-buahan, dan benih dari berbagai tanaman. Bahan ramah lingkungan mengandung polifenol dan protein yang dapat mengantikan reagen kimia sebagai zat pereduksi untuk mereduksi ion logam ke keadaan valensi yang lebih rendah. Dengan adanya bahan ramah lingkungan dan dalam kondisi yang sesuai (suhu, konsentrasi, udara sekitar, dan lain-lain), nanopartikel logam dapat disintesis.

Green synthesized memiliki banyak keunggulan dibandingkan metode kimia dan fisika yaitu:

1. Bebas dari zat berbahaya.
2. Mendukung kelestarian lingkungan tanpa mencemari.
3. Hemat biaya serta lebih ramah lingkungan.

Adapun kelemahan dalam ekstraksi bahan mentah, waktu reaksi, dan kualitas produk akhir yaitu:

1. Bahan bakunya tidak banyak tersedia.
2. Waktu sintesis yang lama.

3. Ukuran partikel produk yang sangat homogeny.

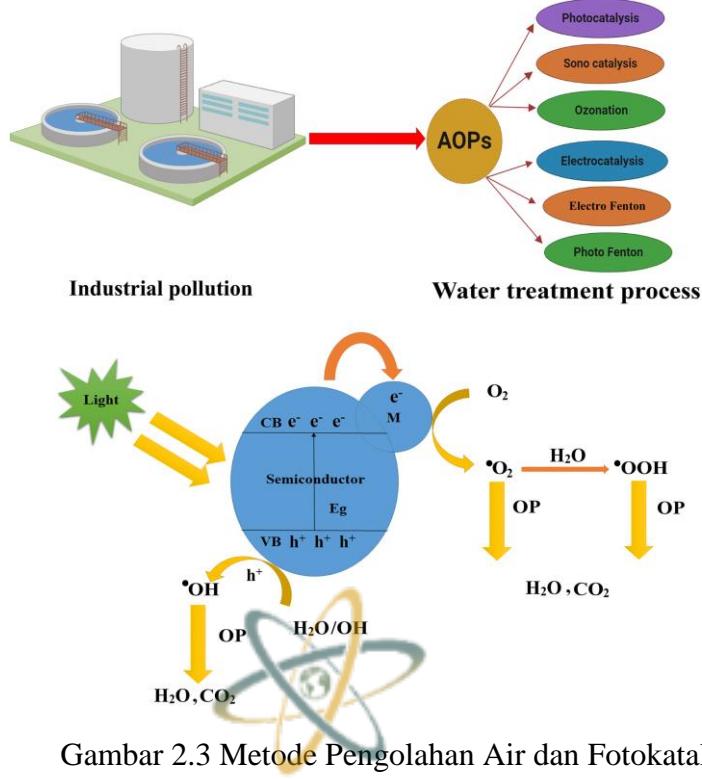
Dalam ulasan ini, proses yang terlibat dalam *green synthesized* bahan nano dirangkum, dan keterbatasan yang relevan dievaluasi. Tinjauan ini diharapkan dapat menunjukkan permasalahan dan tantangan utama dalam sintesis ramah lingkungan nanopartikel logam berskala nano, dan mengedepankan prospek arah penelitian di masa depan (Ying dkk., 2022).

2.5 Fotokatalis

Fotokatalis terdiri dari dua istilah: "foto," yang mengacu pada foton, dan "katalis," yang mempengaruhi laju reaksi. Secara keseluruhan, fotokatalis adalah zat yang mengubah laju reaksi ketika terpapar sinar UV/tampak. Proses ini dikenal sebagai fotokatalisis (Singh dkk., 2022).

Reaksi fotokatalitik mengacu pada proses di mana fotokatalis itu sendiri tidak berubah ketika disinari dengan cahaya; sebaliknya, ia mengubah energi cahaya menjadi energi kimia untuk mendorong produksi atau penguraian senyawa (Yang dkk., 2022).

Fotokatalis menyerap foton dari sumber cahaya, biasanya ultraviolet (UV) atau cahaya tampak. Elektron di pita valensi memperoleh energi yang cukup untuk transisi ke pita konduksi, meninggalkan lubang bermuatan positif di pita valensi dan menghasilkan pasangan elektron-lubang (e^-/h^+). Elektron dan lubang yang terfotogenerasi berpartisipasi dalam reaksi redoks dengan spesies yang teradsorpsi pada permukaan fotokatalis atau di lingkungan sekitarnya, dan lubang memiliki daya oksidasi yang kuat dan dapat langsung bereaksi dengan senyawa organik, sedangkan elektron dapat mereduksi oksidan atau spesies lain. Radikal hidroksil ini sangat reaktif dan dapat memulai degradasi polutan organik. Senyawa organik dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana dengan tingkat toksitas yang lebih rendah, seperti air, karbon dioksida, dan produk sampingan lainnya. Elektron dari pita konduksi bergabung kembali dengan lubang dari pita valensi, memulihkan keadaan awal katalis dan memungkinkan terjadinya proses fotokatalitik. Kelemahan fotokatalisis adalah rekombinasi cepat elektron/lubang yang terfotogenerasi (e^-/h^+) mengurangi efisiensi katalitik katalis dan pembentukan radikal ($\bullet\text{OH}$) (Nabeel dkk., 2023).



Gambar 2.3 Metode Pengolahan Air dan Fotokatalisis

Fotokatalis yang paling banyak dipelajari dan diterapkan adalah yang berbasis semikonduktor. Semikonduktor merupakan material yang mempunyai konduktivitas di antara konduktor dan isolator. Tingkat energi terendah yang ditempati oleh elektron valensi dalam struktur pita energi elektronik semikonduktor disebut sebagai “pita valensi”, dan tingkat energi kosong terendah disebut sebagai “pita konduksi”. Daerah celah energi yang terletak antara pita konduksi dan pita valensi disebut sebagai “pita terlarang”, yaitu daerah terputus-putus yang lebarnya bergantung pada struktur kristal dan hubungan antar atom dan merupakan parameter karakteristik bahan semikonduktor (Yang dkk., 2022).

2.6 Metode Kopresipitasi

Kopresipitasi adalah pengendapan lebih dari satu senyawa secara simultan dari suatu larutan. Ini adalah teknik murah yang paling nyaman untuk persiapan Nanopartikel. Dalam metode ini, logam diendapkan dalam bentuk hidroksida dari prekursor garam dengan adanya basa dalam pelarut (Misra & R.D.K., 2022).

Metode kopresipitasi biasanya dilakukan dengan menggabungkan seluruh bahan reaksi ke dalam suatu larutan kemudian meninggalkan sistem reaksi pada suhu tertentu hingga diperoleh endapan yang diinginkan. Metode ini sederhana,

berbiaya rendah, dan dapat diulang, sehingga cocok untuk sintesis fotokatalis ekstensif. Dalam keadaan tertentu, larutan yang mengandung prekursor dihidrolisis membentuk oksida, hidroksida, dan garam tidak larut, yang kemudian mengendap. Anion asli dalam larutan terbawa, yang diikuti dengan dehidrasi atau dekomposisi panas untuk memperoleh endapan yang diperlukan. Dalam pengoperasiannya, ini adalah metode sintesis sederhana dengan sedikit kebutuhan peralatan (Elsalam, 2020).

Tujuan kopresipitasi adalah untuk menyiapkan bahan multikomponen melalui pembentukan endapan antara, biasanya oksida hidro atau oksalat, sehingga campuran komponen terbentuk selama pengendapan dan homogenitas kimia dipertahankan pada kalsinasi. Dalam proses kopresipitasi yang khas, garam logam berair dicampur pada suhu yang cukup dengan basa, yang bertindak sebagai zat pengendap. Keuntungan metode kopresipitasi adalah memberikan ukuran kristal dalam kisaran yang kecil dibandingkan dengan proses sintesis lainnya bergantung pada zat pengendap yang dipilih selama reaksi. Selain itu, ukuran kristalit dan morfologi bahan yang dibuat menggunakan metode ini dapat dikontrol melalui penggunaan bahan penutup. Namun, pencucian, pengeringan, dan kalsinasi terus menerus untuk mencapai fase fosfor murni merupakan kelemahan utama metode kopresipitasi (Bajaj & Joshi, 2021).

2.7 Karakteristik Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂

2.7.1 X-Ray Diffractometer (XRD)

XRD merupakan metode analitik non-destruktif yang serbaguna untuk mengenali serta mengukur secara kuantitatif berbagai jenis kristal dalam senyawa yang terdapat pada sampel berbentuk serbuk maupun padat. Difraksi terjadi ketika gelombang dibelokkan atau dibiaskan saat melewati hambatan, seperti kisi kristal (Muttaqin., dkk 2023).

XRD merupakan metode yang baik untuk mempelajari nanomaterial (bahan dengan setidaknya satu fitur struktural dimensi dalam kisaran 1-100 nm). Panjang gelombang sinar-X menyala skala atom, jadi difraksi sinar-X (XRD) adalah alat utamanya menyelidiki struktur bahan nano. Difraktogram sinar-X dari bahan nano

memberikan banyak informasi - mulai dari komposisi fase hingga ukuran kristalit, dari kisi regangan ke orientasi kristalografi (Sharma dkk., 2019).

Prinsip kerja XRD didasarkan pada fakta bahwa setiap senyawa tersusun atas atom-atom yang membentuk bidang-bidang tertentu. Ketika bidang tersebut terkena paparan foton dari sudut tertentu, akan terbentuk pola khas berupa pantulan atau pembiasan, yang dikenal sebagai difraksi. Sinar X dibiasakan kemudian terdeteksi oleh detektor yang akan diterjemahkan dalam bentuk puncak difraksi. Puncak-puncak yang didapat melalui proses analisis XRD tersebut selanjutkan dapat dicocokkan dengan data standar. Pola difraksi ditentukan oleh sudut-sudut yang dihasilkan dari proses difraksi cahaya oleh kristal dalam suatu material. Besaran sudut tersebut dinyatakan dalam 2θ , di mana θ merepresentasikan sudut datang cahaya. Sementara itu, 2θ menunjukkan gabungan antara sudut datang dan sudut difraksi yang diukur oleh detektor (Nandiyanto dkk., 2017).

Jarak antar atom (d) dapat dihitung menggunakan persamaan Hukum Bragg sebagai berikut:

Keterangan :

d = Jarak antar atom (Å)

$$\theta = \text{Sudut } (\circ)$$

n = Bilangan bulat (1,2,3...)

λ = Panjang gelombang sinar X (1,54 Å)

Ukuran kristal sampel dapat dihitung menggunakan persamaan *Scherrer* berikut:

$$D = \frac{\kappa\lambda}{\beta \cos \theta} \dots \quad 2.2$$

Keterangan :

D = Ukuran kristal (\AA)

K = Konstanta kristal (0.94)

λ = Panjang gelombang (1,54 Å)

$$\beta = \text{FWHM}$$

θ = Sudut puncak ($^{\circ}$)

2.7.2 *Scanning Electron Microscope (SEM)*

SEM berfungsi untuk mempelajari morfologi permukaan dan menganalisis kandungan unsur pada beragam jenis sampel padat berdasarkan prinsip penembakan elektron. Dengan kelebihan berupa kemampuan observasi pada perbesaran tinggi serta mendeteksi unsur mulai dari organik hingga anorganik, metode ini memiliki aplikasi yang sangat luas, termasuk dalam analisis berbagai sampel (Haider dkk., 2023).

Prinsip kerja SEM beroperasi dengan memfokuskan berkas elektron berenergi tinggi ke permukaan sampel. Maka dari itu, permukaan sampel harus bersifat konduktif. Pada material yang non-konduktif, permukaanya harus terlebih dahulu dilapisi dengan lapisan dengan bahan konduktif. Ketika berkas elektron berinteraksi dengan permukaan sampel, sebagian elektron akan dipantulkan atau menghasilkan elektron sekunder yang tersebar ke berbagai arah. Namun, hanya ada satu arah di mana intensitas pantulan paling kuat. Detektor pada SEM menangkap elektron yang dipantulkan dan mengidentifikasi lokasi dengan intensitas pantulan tertinggi (Didik, 2020).

2.7.3 *Fourier Transform Infra-R (FTIR) Spectroscope*

Karakterisasi FTIR digunakan untuk mengetahui gugus fungsi dari sampel. Pengukuran dilakukan pada rentang bilangan gelombang $400\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ dengan suhu ruang. Hasil dari karakterisasi ini berupa profil absorbansi yang mampu menjelaskan gugus fungsi dari sampel yang dikarakterisasi. Puncak spektrum absorbansi yang didapatkan dicocokan dengan data-data standar yang telah ada ataupun hasil dari penelitian-penelitian sebelumnya sebagai acuan untuk menentukan gugus fungsi dari sampel (Fauzi, 2023).

Cara kerja FTIR berfungsi untuk menentukan senyawa, mengidentifikasi gugus fungsi, dan menganalisis campuran atau sampel yang diteliti. Alat ini terutama dimanfaatkan sebagai pendekripsi senyawa organik baik dalam analisis kuantitatif maupun kualitatif dalam penelitian kualitatif, FTIR digunakan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat dalam suatu senyawa yang terdapat pada sampel (Kombongkila dkk., 2024).

2.7.4 Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spektrofotometer

Spektrometer UV-vis merupakan teknik analisis yang menggunakan sumber radiasi elektromagnetik ultraviolet dekat dan cahaya tampak pada instrument spektrometer (Bakir, 2011).

Prinisp kerja dari spektrofotometer UV-Vis, dengan menggunakan sumber cahaya, seperti lampu Tungsten, Deuterium, atau Wolfram, kolimator untuk memfokuskan cahaya, dan prisma atau kisi untuk memilih spektrum cahaya yang diinginkan. Sampel ditempatkan dalam cuvette, dengan sampel blanko digunakan sebagai pembanding, dan fotometer mendeteksi cahaya yang ditransmisikan. Cahaya yang dipilih, yang melewati prisma atau kisi, melewati sampel dan blanko, dan fotometer mengukur intensitasnya. Monokromator memastikan bahwa hanya panjang gelombang cahaya yang spesifik untuk sampel yang digunakan. Detektor kemudian menangkap radiasi yang dipancarkan oleh sampel. Kemudian menangkap sumber radiasi melewati monokromator, memastikan panjang gelombang yang diarahkan ke sampel menjadi spesifik. Detektor kemudian menyerap radiasi yang dipancarkan oleh sampel (Zahra, 2023).

Konsentrasi zat warna dianalisis dengan spektrofotometer UV-Vis. Persentase (%) degradasi MB dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Degradasi (\%)} = \left(\frac{c_0 - c_t}{c_0} \right) \times 100 \% \quad \dots \dots \dots (2.3)$$

Di mana C_0 adalah konsentrasi awal dan C_t adalah konsentrasi setelah penyinaran (Raganata, dkk., 2019).

2.8 Penelitian Relevan

Tumbelaka dkk., (2022) meneliti tentang mensintesis nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ menggunakan metode *green synthesized* yang disintesis menggunakan ekstrak daun kelor dengan sintesis metode kopresipitasi untuk degradasi metilen biru. Hasil penelitian menunjukkan bahwa energi celah pita meningkat bersamaan dengan bertambahnya konsentrasi TiO_2 , yang pada gilirannya meningkatkan efektivitas degradasi limbah pewarna metilen biru. Parameter yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi konsentrasi dan massa katalis, sementara pengujian

degradasi metilen biru dijaga pada nilai konstan. Efisiensi degradasi metilen biru optimal untuk $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ pada konsentrasi 1:7 mencapai degradasi 99,9% selama dua jam untuk serapan setiap 20 menit. Karena potensi magnetik dari nanopartikel yang disintesis, mereka dapat didaur ulang hingga empat kali tanpa pengurangan aktivitas yang signifikan.

Fauzi, (2023) yang berhasil mensintesis nanopartikel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang disintesis menggunakan ekstrak daun kelor. Efisiensi degradasi metilen biru optimal untuk $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ pada konsentrasi 1:3. Penelitian ini fokus pada pemeriksaan struktur kristal, karakteristik optik, dan aktivitas fotokatalitik dari nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan variasi massa 0,02 gram, 0,04 gram, 0,06 gram, 0,08 gram, dan 0,1 gram. Selama 20 menit pertama, aktivitas degradasi fotokatalitik menunjukkan nilai yang cukup signifikan. Pada rentang waktu ini diketahui bahwa variasi massa nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dapat mempengaruhi persentase degradasi. Semakin besar massanya maka semakin tinggi persentase degradasinya. Setelah 20 menit persentase degradasinya cenderung konstan dan sedikit menurun. Sampel 0,06 gram mencapai persentase degradasi tertinggi setelah 60 menit penyinaran, dengan degradasi metilen biru mencapai 98,4%.

2.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesis penelitian ini adalah terdapat pengaruh variasi massa *green synthesized* nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ menggunakan ekstark daun kelor (*Moringa oleifera*) pada degradasi metilen biru.