

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada zaman modern ini sektor industri cukup berkembang dengan pesat. Hasil riset memperlihatkan bahwa industri adalah salah satu sektor yang dapat menopang perekonomian wilayah. Dengan adanya industri di suatu wilayah tentunya bisa membantu menaikkan perekonomian masyarakat disana (Widiyanto dkk., 2015). Akan tetapi, perkembangan industri yang berimbas kepada meningkatnya produk industri sering kali tidak dibersamai dengan adanya pengolahan limbah yang baik. Akibatnya pencemaran terhadap tanah, udara, dan air bisa terjadi jika limbah industri dibuang secara tidak terkontrol ke lingkungan (Novianti, 2022). Sebagaimana yang tertulis dalam Al-Qur'an surah Ar-Rum (30) ayat 41. Allah SWT berfirman:

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 karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)” (QS. Ar-Rum: 41). Dalam kitab Tafsîr al-Marâgî menjelaskan bahwa surah ar-rum ayat 41 merupakan tanda bahwa telah banyak terjadi kerusakan di dunia akibat perbuatan manusia yang merusak lingkungan karena tidak timbul kesadaran di dalam dirinya dan agama tidak dapat berfungsi untuk mengekang keinginan untuk melakukan tindakan yang tercela (Putri, 2017). Jika kita terjemahkan secara bebas maka dalam ayat tersebut terdapat kalimat yang menjelaskan bahwa telah terjadi kerusakan di laut. Laut disini bisa memiliki makna yang sangat luas dan salah satunya bisa merujuk terhadap air. Artinya kita bisa mengasumsikan bahwa laut tersebut adalah air dan adapun kaitanya dengan kerusakan disini adalah telah terjadi pencemaran terhadap air di muka bumi ini salah satunya karena limbah.

Dalam kehidupan, air merupakan elemen paling penting, manusia dan lingkungan sekitar sangat membutuhkan air untuk memenuhi kebutuhan dan melangsungkan kehidupan sehari-hari (Ghernaout dkk., 2019). Sumber utama pencemaran air bisa berasal dari industri-industri seperti percetakan, textile, kertas, kosmetik, makanan, minyak dan gas, otomotif, farmasi dan industri pewarna lainnya. Menurut perkiraan, sekitar 105 ton dengan lebih dari 100.000 zat pewarna di produksi setiap tahunnya (Ramirez dkk., 2021). Dengan adanya limbah zat pewarna di dalam perairan, sinar matahari tidak akan mampu menembus wilayah akuatik karena terhalangi limbah pewarna tersebut sehingga proses biologis akan terganggu dan bahkan dapat mengancam kelangsungan hidup organisme didalamnya (Novianti, 2022). Selain itu dengan adanya zat pewarna sangat berdampak pada lingkungan dikarenakan pengaruh toksiknya yang tinggi dapat menyebabkan alergi dan iritasi kulit, dan juga dapat mengakibatkan perubahan gen serta bersifat karsinogenik (Salazar dkk., 2017). Salah satu zat pewarna yang sering digunakan pada produk industri adalah zat warna metilen biru (Parlayici, 2019).

Metilen biru (MB) adalah salah satu zat pewarna dasar yang mempunyai struktur senyawa kimia aromatik heteroristik. biasanya dipakai sebagai pewarna sutra, kulit, plastik, dan juga pembuatan cat atau tinta ukiran. (Phatania dkk., 2017). MB juga bisa bersumber dari industri kertas dan kosmetik (Salazar dkk., 2017). Senyawa ini sangat larut di dalam air dan mudah mengkontaminasi perairan seperti di sungai, danau, dan juga tempat perairan lainnya yang ada di alam. Selain itu, senyawa ini juga mempunyai sifat tahan akan disintegrasi aerobik, panas, cahaya, dan beberapa reagen pengoksidasi. hal tersebut dikarenakan senyawa ini mempunyai komposisi kimia yang cukup kompleks (Blazeka dkk., 2020).

Hal paling mendasar yang bisa dilakukan untuk mengatasi masalah limbah yang terkontaminasi zat pewarna MB hasil industri ini adalah dengan cara menghapus atau mendegradasinya. Berbagai cara telah dilakukan untuk mendegradasi MB ini yaitu salah satunya adalah dengan cara adsorpsi namun sayangnya metode ini masih banyak mempunyai kelemahan salah satunya yaitu masih sulit untuk diterapkan (Lestari dkk., 2015). Kelemahan lainnya adalah

metode adsorpsi bisa dikatakan kurang efektif untuk penanganan limbah karena nantinya akan menghasilkan sebuah polutan yang juga berbahaya (Jadhav dkk., 2016). *Advance oxidation process* (AOP) adalah sebuah proses yang bisa mengubah air limbah berbahaya menjadi molekul yang dapat diterima oleh lingkungan (Bethi dkk., 2016). AOP memanfaatkan oksidasi lanjut menggunakan paduan beberapa proses seperti sinar *ultra violet* (UV), ozonasi, hidrogen peroksida, karbon aktif, katalis, dan beberapa proses lain yang mampu menghasilkan radikal hidroksil (Firdaus dkk., 2020). Teknik umum yang biasa dipakai adalah fotokatalitik, proses ini menggunakan cahaya sebagai energi luar untuk generasi *electron-hole*. Peristiwa ini menyebabkan reaksi redoks terhadap air dan membuat senyawa oksidatif seperti radikal hidroksil ($\bullet\text{OH}$) mendegradasi makromolekul dan memutus rantai kimia zat warna. Reaksi ini terjadi ketika zat pengoksidasi bergabung dengan sinar UV atau cahaya tampak dan katalis seperti ion logam atau semikonduktor (Guidolin dkk., 2021).

Ada beberapa bahan semikonduktor dalam proses fotokatalitik seperti TiO_2 , CuO , WO_3 , CdO , ZnO , SnO_2 dan NiO yang seluruhnya memiliki optimalisasi tinggi dalam mendegradasi zat warna organik (Ghanbarnezhad dkk., 2017). Dikenal sebagai bahan semikonduktor yang sangat baik untuk aktivitas fotokatalitik, titanium dioksida (TiO_2) memiliki potensi besar untuk aplikasi seperti pemurnian air, dekomposisi karbon dioksida, dan pembangkitan gas hidrogen (Nakata dan Fujishima, 2012; Higashimoto, 2019). Kinerja dari material TiO_2 sangat dipengaruhi oleh ukuran partikelnya sehingga dibutuhkan proses pembuatan yang tepat. celah pita yang dimiliki oleh TiO_2 cukup kecil yaitu 3,2 eV untuk jenis anatasanya sedangkan untuk jenis rutil memiliki energi celah pita sebesar 3,4 eV. TiO_2 hanya tereksitasi oleh sinar UV pada panjang gelombang kurang dari 387 nm (Maulidiyah dkk., 2017; Wang dkk., 2017). Ini membuat material TiO_2 sangat menjanjikan untuk dipakai dalam aplikasi fotokatalitik dan pemurnian limbah (Pang dkk., 2020). Akan tetapi, meskipun mempunyai kemampuan fotokatalitik yang baik, namun pada realitanya TiO_2 konvensional sangat sulit untuk dipisahkan ketika proses pemurnian air terjadi karena memiliki ukuran nano dan juga dibutuhkan biaya untuk pengolahan lebih lanjut (Xuan dkk., 2009).

Nanopartikel magnetik yang digabungkan dengan bahan semikonduktor untuk membantu mendegradasi zat limbah pewarna berbahaya dalam air dengan bantuan cahaya, saat ini tengah banyak dikembangkan (Beketova dkk., 2020). Material magnetik seperti halnya magnetit (Fe_3O_4), hematit ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), dan maghemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) dapat diterapkan untuk menciptakan fotokatalis multikomponen magnetik yang praktis (Marsooli dkk., 2019). Reaksi antara oksida besi (II) dan besi (III) dapat menghasilkan material magnetit yang punya sifat magnetik kuat dan bisa digunakan di bermacam-macam aplikasi seperti pemisahan material, penyimpanan data, targeting obat, material pengontras, dan *magnetic resonance imaging* (MRI) (Sari, 2017). Material ini memiliki sifat unik seperti bersifat superparamagnetik (ketika berukuran nano), biodegradabilitas, dan toksisitas rendah. Fe_3O_4 juga memiliki luas permukaan yang tinggi dan dapat digunakan kembali sehingga dapat diaplikasikan sebagai adsorben untuk membantu proses pengolahan air limbah (Stan dkk., 2017). Nanopartikel magnetik bertindak sebagai katalis heterogen sehingga dapat dengan mudah memisahkan katalis dari air dengan bantuan medan eksternal. Jika dibandingkan dengan semikonduktor nanopartikel ini mempunyai energi bandgap yang lebih kecil, akan tetapi kemampuannya dalam mendegradasi limbah masih sangat rendah (Tumbelaka, 2022).

Solusi yang efektif untuk memecahkan masalah di atas adalah dengan menggabungkan nanopartikel magnetik ke dalam fotokatalis berbasis nanopartikel TiO_2 . Sifat yang dimiliki nanopartikel magnetik dapat memfasilitasi pemisahan TiO_2 dari air. Nanopartikel magnetik dan TiO_2 memiliki struktur *heterojunction* sehingga dapat mengakibatkan peningkatan reaktivitas permukaan sampel dan laju fotodegradasi dapat mencapai kurang lebih 96% (Istiqomah dkk., 2020). Kemungkinan yang terjadi ketika semikonduktor dan nanopartikel dikombinasikan adalah fotokatalis yang dihasilkan dapat teraglomerasi dan teroksidasi dalam larutan, hal tersebut juga dapat meningkatkan daya tahan katalis sehingga mempunyai kerja yang efisien dan efektif (Atrak dkk., 2019; Lin dkk., 2019). Akan tetapi nanopartikel Fe_3O_4 ini memiliki sifat yang sedikit lebih sensitif jika dibandingkan dengan TiO_2 khususnya dalam kondisi asam (Tumbelaka, 2022). Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan sebuah metode

sintesis yang tepat salah satu metode yang bisa dipakai adalah metode kopresipitasi. Pada tahun (2014) Xin dkk berhasil mensintesis nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ menggunakan metode kopresipitasi, dimana diketahui bahwa TiO_2 fotoaktif mampu melapisi material magnetik. Komposit ini mempunyai pemisahan magnetik serta aktivitas fotokatalitik yang cepat. Selain itu, material komposit ini juga mempunyai aktivitas fotokatalik yang baik untuk mendegrasi larutan *Rhodamine Blue*.

Sintesis nanopartikel magnetik sebagian besar masih memakai metode konvensional yang mana masih melibatkan bahan kimia yang mahal dan juga beracun. selain itu, metode konvensional juga memiliki sintesis yang rumit dan menghasilkan produk sampingan yang berbahaya (Tumbelaka, 2022). Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah metode yang lebih baik dan sedikit ramah lingkungan, salah satu metode yang bisa dipakai adalah *green synthesis*. Menurut Khatami dkk (2018) jika dibandingkan dengan metode konvensional maka *green synthesis* lebih menguntungkan karena mempunyai sifat biokompatibilitas, ramah lingkungan, hemat biaya dan tidak beracun. *Green synthesis* adalah metode yang dapat menghasilkan nanopartikel menggunakan ekstrak tanaman dan mikroorganisme (Singh dkk., 2020). Jika dibandingkan dengan mikroorganisme penggunaan ekstrak tumbuhan selalu lebih unggul karena proses sintesisnya tidak memerlukan waktu yang lama. Ini membuat ekstrak tanaman menjadi agen pereduksi logam yang sangat efektif dan dapat menstabilkan partikel nano selama sintesis untuk menggantikan bahan kimia berbahaya (Tumbelaka, 2022). Banyak tumbuhan yang telah digunakan dalam sintesis nanopartikel Fe_3O_4 seperti teh hijau (*Camellia sinensis*) (Karade dkk., 2018), andaliman (*Zanthoxylum armatum DC*) (Ramesh dkk., 2018), alga (Yew dkk., 2016), daun raspberry Andean (Kumar dkk., 2016), dan daun kelor (*Moringa oleifera*) (Santos dkk., 2016).

Moringa oleifera (MO) merupakan pohon yang kaya akan nutrisi dan sering disebut *miracle tree*. Hal ini karena seluruh bagian dari pohon MO sangat bermanfaat untuk kehidupan manusia. Nutrisi yang terkandungnya tersebar di seluruh bagian pohon MO, mulai dari akar, buah, kulit batang, bungan dan daun (Jusnita dan Syurya., 2019). Selain kaya akan nutrisi, kegunaan lain dari MO adalah bisa digunakan dalam proses *green synthesis* untuk mensintesis

nanopartikel seperti Cu, Ag, Fe₃O₄ dan nanopartikel logam lain (Bindhu dkk., 2020; Das dkk., 2020). Menurut uji fitokimia, MO mengandung tannin, steroid, flavonoid, alkaloid, antarquinon, dan saponin, dimana semuanya adalah antioksidan (Kasolo dkk., 2010).

Pada penelitian sebelumnya, Tumbelaka (2022) telah berhasil membuat nanopartikel *core-shell* Fe₃O₄/TiO₂ menggunakan ekstrak MO lewat jalur *green synthesis* dengan metode kopresipitasi. Hasil penelitian tersebut menyatakan bahwa nilai energi celah pita meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi dari TiO₂ dan berimbas kepada efektivitas degradasi limbah pewarna MB. Parameter yang dipakai dalam penelitian tersebut adalah parameter konsentrasi dari katalis dan massa katalis saat pengujian degradasi MB dibuat konstan. Adapun menurut Putri (2017) massa yang dimiliki oleh katalis dapat mempengaruhi tingkat degradasi zat pewarna. Sehingga diperlukan sebuah penelitian lanjutan penggunaan Fe₃O₄/TiO₂ sebagai fotokatalis untuk mempengaruhi massa katalis terhadap efektivitas degradasi zat pewarna, salah satunya adalah zat pewarna MB.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini dibuatlah *green-synthesized* Fe₃O₄/TiO₂ nanokomposit menggunakan ekstrak MO untuk fotodegradasi MB. Dimana penelitian ini difokuskan untuk menganalisis struktur kristal, sifat optik, dan aktivitas fotokatalitik dari nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ menggunakan ekstrak daun MO dengan variasi massa yaitu 0,02 gram, 0,04 gram, 0,06 gram, 0,08 gram, dan 0,1 gram. Variasi massa ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari massa katalis terhadap efektivitas fotodegradasi MB. Dalam penelitian ini material magnetik (Fe₃O₄) bertindak sebagai bahan pembantu pemisah katalis dari limbah cair dengan bantuan magnet eksternal sehingga katalis nantinya dapat digunakan kembali untuk degradasi selanjutnya. Uji aktivitas fotokatalitik memakai polutan MB sebagai limbah dan dipaparkan dengan cahaya lampu UV untuk meninjau efisiensinya.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini terdapat tiga fokus permasalahan yang akan dianalisis, fokus yang pertama adalah pabrikan material fotokatalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan tambahan ekstrak MO untuk mendegradasi limbah MB. Fokus kedua adalah menganalisis struktur kristal dan sifat optik dari material nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ hasil *green synthesis*. Serta fokus ketiga yaitu menganalisis pengaruh massa katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ terhadap persentase degradasi MB.

1.3 Batasan Penelitian

1. Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ hasil *green synthesis* menggunakan ekstrak MO dibuat dengan konsentrasi antara $\text{Fe}_3\text{O}_4:\text{TiO}_2$ yaitu sebesar 1:3, dan variasi massa katalis pengujianya yaitu 0,02 gram, 0,04 gram, 0,06 gram, 0,08 gram, dan 0,1 gram.
2. Uji aktivitas fotokatalik $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ hanya dilakukan di dalam laboratorium menggunakan spektrum UV-Vis, serta jenis limbah yang digunakan adalah limbah pewarna MB.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempabrikan material green sintesis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan ekstrak MO
2. Mengetahui struktur kristal dan sifat optik dari material fotokatalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$.
3. Mengetahui pengaruh massa katalis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ terhadap persentase degradasi MB.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mampu membuat material fotokatalis yang ramah lingkungan serta efektif dalam mendegradasi limbah pewarna organik MB.
2. Dapat memberikan informasi mengenai struktur kristal, sifat optik, dan kajian tentang aktivitas fotokatalitik nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$.
3. Penelitian ini dapat menjadi sebuah referensi ataupun acuan bagi penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan fotokatalis ataupun pendegradasian limbah pewarna.

1.6 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan melakukan eksperimen secara langsung dan pengambilan data dari hasil eksperimen tersebut. Adapun teknik penelitian yang digunakan diantaranya pengumpulan data hasil eksperimen, serta pengumpulan data dari sumber lainnya seperti jurnal, buku penelitian, konsultasi bimbingan, dan sumber manapun yang dapat menunjang serta mempunyai kaitan dengan masalah yang akan diteliti sebagai salah satu upaya untuk melakukan pengembangan atau inovasi pada penelitian yang sedang dilakukan.

1.7 Sistematika Penulisan

Secara menyeluruh gambaran mengenai penulisan skripsi ini dibagi menjadi lima bab ditambah dengan daftar pustaka dan juga lampiran.

Bab I merupakan pendahuluan, dimana didalamnya mengurai mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metode pelaksanaan, serta sistematika penulisan.

Bab II tinjauan pustaka, didalamnya membahas mengenai teori yang berkaitan dengan penelitian ini seperti nanopartikel magnetit (Fe_3O_4), nanopartikel titanium dioksida (TiO_2), senyawa metilen biru, *moringa oleifera*, *green synthesis*, teknik fotokatalis, sifat kemagnetan material, metode kopresipitasi, karakterisasi *x-ray diffraction (XRD)*, karakterisasi *fourier-transform infrared (FTIR)*, serta spektrofotometer UV-Vis.

Bab III metodologi penelitian, membahas mengenai tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan, skema penelitian, langkah kerja, dan pengambilan data.

Bab IV hasil dan pembahasan, didalamnya mengurai perihal hasil penelitian yang dilengkapi data pengujian serta analisis data yang didapatkan.

Bab V penutup, ialah bab terakhir yang didalamnya penulis menyimpulkan mengenai keseluruhan penelitian yang telah dilakukan serta penulis juga memberi saran untuk peneliti selanjutnya berdasarkan hasil pembahasan yang telah dianalisa.