



## Pengaruh Variasi Massa pada Green Synthesized Material Adsorpsi Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Dengan Metode Kopresipitasi Terhadap Nilai Bandgap Menggunakan UV-Vis

Ella Arnydhinata\*, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia  
Ridwan Yusuf Lubis, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia  
Miftahul Husnah, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia  
Dinda Agelia Br Situmorang, Universitas Islam Negeri Sumatera Utara, Indonesia

### ABSTRACT

Photocatalytic materials are materials used to accelerate the degradation of pollutants in water by absorbing photons that can accelerate chemical reactions. The photocatalytic process can be accelerated if the bandgap value of the material is smaller by mixing Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> and TiO<sub>2</sub>. The mixing process uses the coprecipitation method. The mass ratios used for Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> (FT) are 2:1 (FT 1), 1:1 (FT 2), and 1:2 (FT 3). The FT samples were then tested using XRD and UV-Vis to assess degradation results and bandgap reduction. XRD analysis results showed a decrease in crystal size from 30.71 to 28.59 nm. UV-Vis testing showed a decrease in bandgap value of 2.38 eV and a degradation percentage of 99.55%. Increasing the mass ratio of TiO<sub>2</sub> to Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> affects the size and bandgap value of the photocatalytic material. The most optimal methylene blue degradation results were obtained in the FT 3 sample with a 1:2 mixture ratio.

### ARTICLE HISTORY

Submitted 25/08/2025  
Revised 30/10/2025  
Accepted 18/11/2025

### KEYWORDS

Fotokatalis; Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; TiO<sub>2</sub>; Band Gap; UV-Vis

### \*CORRESPONDENCE AUTHOR

✉ [ellaarnydhinata19@gmail.com](mailto:ellaarnydhinata19@gmail.com)

DOI: <https://doi.org/10.30743/cheds.v7i1.11961>

## 1. PENDAHULUAN

Majunya peradaban manusia dan peningkatan perkembangan teknologi dan jumlah penduduk memberikan dampak meningkatnya masalah pencemaran yang memberikan ancaman pada kehidupan penduduk bumi. Terjadi peningkatan polutan di berbagai sumber seperti tanah, air dan udara (Nadimi et al., 2019). Kehidupan setiap makhluk hidup bergantung pada air. Sektor industri meningkatkan pencemaran lingkungan karena pelepasan zat berbahaya (Lendzion-Bieluń et al., 2020). Air limbah telah menjadi masalah besar di seluruh dunia, terutama disebabkan oleh industri seperti tekstil, percetakan, dan manufaktur, yang masing-masing menyumbang jumlah besar limbah. Khususnya, air limbah yang berasal dari industri tekstil mengandung pewarna organik rumit seperti *methylene blue* (Sari, 2018).

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan satu alternatif yang dapat digunakan dalam pengolahan air limbah, yaitu dengan proses fotokatalis menggunakan material semikonduktor Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> sebagai basis dengan tambahan TiO<sub>2</sub>. Fotokatalis menjadi salah satu pengolahan air limbah yang populer, dikarenakan efektivitas biaya, teknik yang mudah, khususnya dalam menghilangkan metilen biru dari air limbah (Tumbelaka, Istiqomah, et al., 2022). Terlepas dari kenyataan bahwa kemajuan signifikan telah dicapai dalam pengembangan nanokomposit berbasis nano-TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis (Xiang dkk., 2014). Reaksi fotokatalitik yang menggunakan katalis nano semikonduktor telah terbukti berpotensi berguna dalam pengolahan air limbah salah satunya yaitu Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) (Afzal et al., 2019). Belum banyak penelitian yang menunjukkan bagaimana pengaruh perbandingan material Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> - TiO<sub>2</sub> dengan *metode green synthesized* terhadap nilai *bandgap* yang dihasilkan sehingga dalam artikel ini akan dibahas pengaruh penambahan konsentrasi kedua material tersebut.

Titanium Dioksida (TiO<sub>2</sub>) dikenal sebagai salah satu fotokatalis utama dalam pemurnian air yang terkontaminasi dan pemanenan energi matahari, karena stabilitas jangka panjang, daya oksidasi yang kuat, biaya rendah, dan relatif tidak beracun (Shabani et al., 2016). Khususnya, TiO<sub>2</sub> memiliki energi celah pita yang sempit (anatase = 3,2 eV dan rutil = 3,4 eV (Sadia et al., 2021).

*Methylene blue* (MB) adalah pewarna organik yang umum digunakan untuk mewarnai tekstil, kayu, kertas, plastik, dan benda lain. Namun, meskipun tergolong sebagai pewarna organik, penggunaan berlebihan *methylene blue* dapat merusak kulit dan mata manusia (Tumbelaka, Imani, et al., 2022). Salah satu solusi untuk proses daur ulang yang sederhana adalah bahan magnetik (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), yang membuat TiO<sub>2</sub> lebih mudah terpisah dari larutan. Penggabungan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> juga dapat mengubah sifat kemagnetan TiO<sub>2</sub> dan sekaligus mempersempit energi celah pita TiO<sub>2</sub> (Novia & Astuti, 2019).



Berdasarkan penjelasan diatas, maka dengan penggunaan campuran  $Fe_3O_4 - TiO_2$  diharapkan akan memberikan keunggulan dalam sifat magnetik dan kemampuan foto degradasi yang lebih baik dibandingkan dengan  $TiO_2$  Murni dikarenakan penurunan nilai *bandgap*.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berdasarkan hasil pengujian dari alat XRD dan UV-Vis

### 2.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Bulan Agustus – Oktober 2024. Proses pembuatan *green synthesized* nanokomposit  $Fe_3O_4/TiO_2$  dilakukan di Laboratorium Ilmu Dasar (LIDA) USU Medan. Beralamat di Jalan Dr. T. Mansur No.9, Padang Bulan, Kecamatan Medan Baru, Kota Medan, Sumatera Utara.

### 2.3 Target/Subjek Penelitian

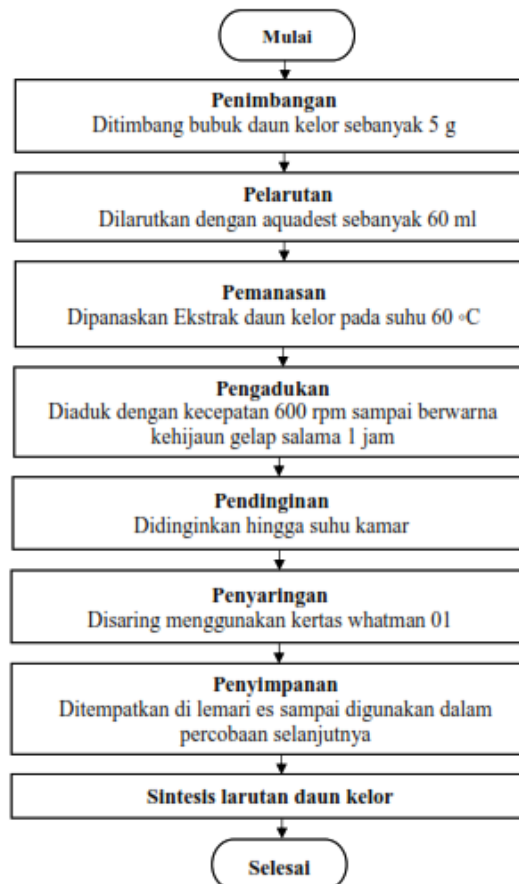
Sampel penelitian merupakan material fotokatalis nanokomposit  $Fe_3O_4/TiO_2$  yang disintesis dengan metode *green synthesized* dan penambahan ekstrak daun kelor. Bahan yang digunakan adalah serbuk  $Fe_3O_4$ , TTIP, ekstrak daun kelor, etanol dan akuades.

### 2.4 Prosedur

Sampel Fotokatalis yang digunakan terbuat dari nanokomposit  $Fe_3O_4/TiO_2$ . Tahap pertama pada proses penelitian ini adalah pembuatan ekstrak daun kelor seperti pada Gambar 1.

#### 2.4.1. Pembuatan Ekstrak Daun Kelor

Ekstrak daun kelor diperoleh dari bubuk daun kelor komersil yang kemudian dicampurkan dengan akuades agar terbentuk larutan ekstrak daun kelor. Tahapan pembuatannya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Pembuatan Ekstrak Daun Kelor

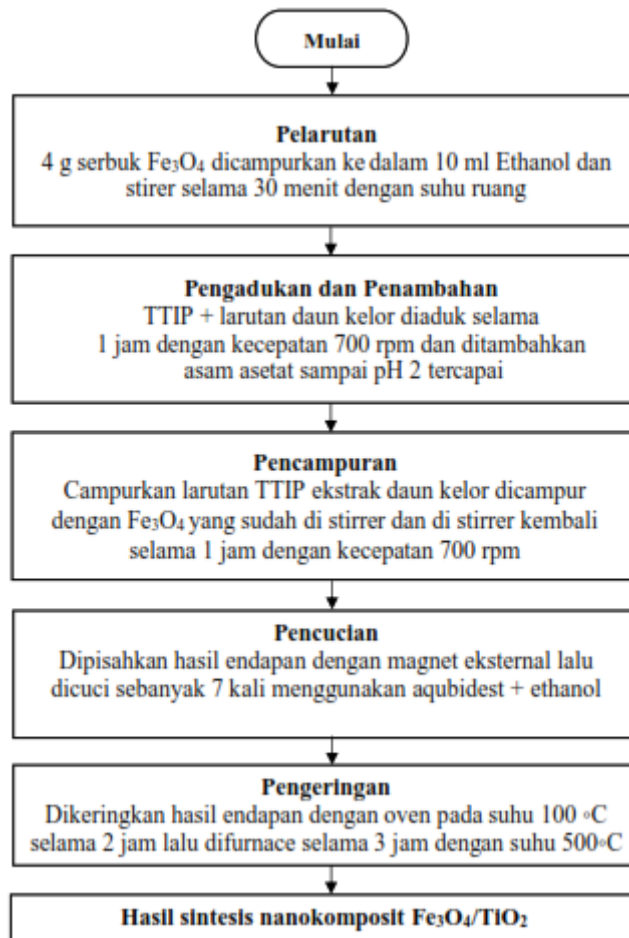
### 2.4.2. *Green Synthesized* Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dengan ekstrak daun kelor

Tahap selanjutnya melakukan pencampuran Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dengan metode kopresipitasi dengan cara *green synthesized* menggunakan ekstrak daun kelor yang sudah dibuat sebelumnya. Pada pencampuran ini digunakan perbandingan variasi massa antara Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan TiO<sub>2</sub> seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 1: Variasi perbandingan massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan TiO<sub>2</sub>

Sampel	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	TiO <sub>2</sub>
FT 1	2	1
FT 2	1	1
FT 3	1	2

Proses pencampuran Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dengan metode kopresipitasi dapat dilihat pada Gambar 2. diagram alir proses *green synthesized* berikut ini :



Gambar 2: Proses *green synthesized* Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>

Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> yang diperoleh kemudian dilakukan pengujian XRD dan UV-Vis untuk melihat ukuran kristal dan perubahan nilai *bandgap* serta kemampuan degradasi *metyhlene blue*.

### 2.4.3. Pengujian XRD

Pengujian XRD bertujuan untuk mengetahui struktur kristal dan fase dari senyawa yang terbentuk setelah proses sintesis material fotokatalis nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>. Material fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> disiapkan dalam keadaan serbuk yang sudah kering pada plat logam 2 x 2 cm yang terdapat pada alat uji. Sampel kemudian dimasukkan kedalam alat difraktograf untuk mengetahui hasil difraksi sinar-x yang dihasilkan dari pengujian sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> pada komputer menggunakan aplikasi *Match*. Hasil data difraksi sinar-x kemudian dianalisis menggunakan persamaan *Scherrer* untuk melihat perubahan ukuran kristalnya. Persamaan *Scherrer* yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

- D : Ukuran Kristal (nm)
- K : Konstanta Kristal (0,94)
- $\lambda$  : Panjang Gelombang Cu K $\alpha$  (1,53 Å)
- $\beta$  : Nilai FWHM
- $\theta$  : Nilai Sudut Puncak (°)



Gambar 3: Alat Pengujian XRD

#### 2.4.4. Pengujian UV-Vis

Pengujian UV-Vis digunakan untuk menghitung celah pita energi berdasarkan besarnya nilai penyerapan cahaya berdasarkan panjang gelombang sinar ultraviolet. Material fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> sebanyak 2 gram di campurkan kedalam larutan standar *methylene blue* dengan konsentrasi 10 ppm. Sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> yang sudah dicampurkan kedalam larutan standar kemudian didiamkan selama 24 jam sebelum dilakukan pengujian UV-Vis. Perubahan puncak pada nilai serapan ultraviolet kemudian dikonversi menjadi energi dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut ini :

$$E = \frac{hc}{\lambda} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- E : energi foton (Joule atau eV)
- h : konstanta *Planck* = 6.626×10<sup>-34</sup> J·s
- c : kecepatan cahaya = 3.0×10<sup>8</sup> m/s
- $\lambda$  : panjang gelombang cahaya (m)

Jika menggunakan satuan eV dan nm, rumusnya lebih praktis:

$$E = \frac{1240}{\lambda} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

- E : energi foton (*Joule* atau eV)
- $\lambda$  : panjang gelombang cahaya (nm)

Hasil perhitungan dari persamaan (2) dan (3) merupakan nilai dari *bandgap* berdasarkan hasil pengujian UV-Vis menggunakan larutan standar *methylene blue*.



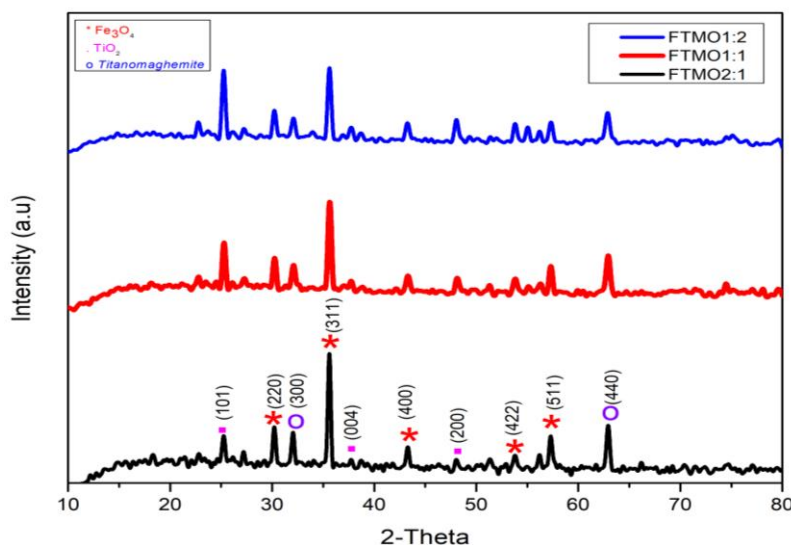
Gambar 4 : Alat pengujian UV-Vis

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian material fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> yang di sintesis secara *green synthesized* menggunakan ekstrak daun kelor dengan metode kopresipitasi kemudian dikarakterisasi menggunakan XRD untuk melihat ukuran kristal dan UV-Vis untuk menganalisis perubahan nilai bandgap serta kemampuan degradasi methylene blue-nya. Berdasarkan hasil pengujian, maka diperoleh hasil karakterisasi sampel sebagai berikut :

#### 3.1 Analisa Hasil Pengujian XRD

Hasil pengujian XRD terhadap sampel material fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dengan menggunakan sinar-x Cu K $\alpha$  dengan nilai panjang gelombang  $\lambda = 1,53 \text{ \AA}$  dianalisis menggunakan *software Match 3.0* diperoleh data seperti pada Tabel 2.



Gambar 5: Grafik gabungan XRD

Hasil karakterisasi XRD terhadap material fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> yang disintesis menggunakan metode *green synthesized* menunjukkan munculnya tiga fasa utama, yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>, dan *Titanomaghemite*. Ketiga fasa ini mengindikasikan bahwa proses sintesis dengan ekstrak daun kelor dan metode kopresipitasi tidak menimbulkan fasa baru, melainkan mempertahankan struktur kristal aslinya.

Tabel 2: Hasil analisa XRD

Senyawa	d <sub>hkl</sub> (Å)	a (Å)	h	k	l
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	2,51	8.34	3	1	1
TiO <sub>2</sub>	3,51	3.78	1	0	1
<i>Titanomaghemite</i>	2,78	8.34	3	0	0

Terdapat beberapa senyawa yang muncul pada pengujian XRD yaitu  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$  dan *Titanomaghemite*. Berdasarkan Tabel. 3.1 dapat disimpulkan bahwa hasil sintesis dengan metode kopresipitasi menggunakan ekstrak daun kelor dan perlakuan sintering tidak menimbulkan fasa dan senyawa baru (Zahra, 2023). Selanjutnya, menggunakan persamaan (1) dapat diperoleh nilai ukuran kristal dari sampel material fotokatalis  $Fe_3O_4/TiO_2$  dengan variasi massa (FT 1, FT 2 dan FT 3) pada Tabel 3.

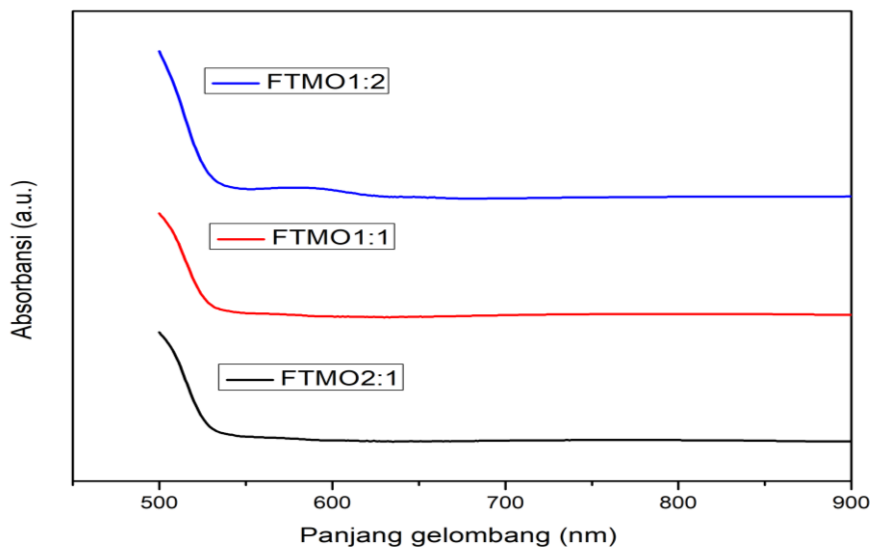
Tabel 3: Ukuran kristal  $Fe_3O_4/TiO_2$

Sampel	D (nm)
FTMO 1:2	30,71
FTMO 1:1	28,38
FTMO 2:1	28,59

Berdasarkan Tabel 3 hasil perhitungan menggunakan persamaan *Scherrer*, diperoleh ukuran kristal rata-rata masing-masing sampel sebagai berikut: FTMO 1:2 (30,71 nm), FTMO 1:1 (28,38 nm), dan FT 2:1 (28,59 nm). Terlihat bahwa ukuran kristal menurun seiring meningkatnya massa  $TiO_2$  dalam komposit. Penurunan ini terjadi karena atom Ti berukuran lebih kecil dibandingkan Fe, sehingga ketika proporsi  $TiO_2$  meningkat, atom-atom dalam kisi menjadi lebih rapat dan menyebabkan cacat kristal berkurang serta keteraturan atom meningkat. Dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan ukuran kristal sebanding dengan bertambahnya massa dari  $TiO_2$  yang dicampurkan. Hal ini dikarenakan atom-atom cenderung lebih teratur dan cacat kristal mengalami penurunan disebabkan sifat dari  $TiO_2$  yang memiliki atom lebih kecil (Ilmi, 2020).

### 3.2 Analisa Hasil Pengujian UV-Vis

Pengujian UV-Vis dilakukan dengan bantuan larutan standar *methylene blue* 10 ppm dengan panjang gelombang 663 nm yang dilarutkan kedalam aquades kemudian dicampurkan dengan sampel material fotokatalis  $Fe_3O_4/TiO_2$  dan didiamkan selama 24 jam pada suhu ruang. Data pengujian menggunakan UV-Vis yang dianalisa menggunakan panjang gelombang pada rentang 500 sampai 900 nm. Hasil dari spektrum puncak serapan sinar ultraviolet kemudian dianalisis menggunakan persamaan (3) sehingga diperoleh nilai energi *bandgap* pada setiap sampel seperti pada Tabel 4.



Gambar 6: Hasil Pengujian UV-Vis

Tabel 4. Nilai Energi *bandgap*  $Fe_3O_4/TiO_2$

Sampel	Energi Gap (eV)
FT 1	2,36
FT 2	2,37
FT 3	2,38

Berdasarkan Tabel 4 hasil pengujian menggunakan spektrofotometer UV-Vis menunjukkan bahwa nilai energi celah pita (*band gap*) untuk masing-masing sampel adalah FT 1 = 2,36 eV, FT 2 = 2,37 eV, dan FT 3 = 2,38 eV. Terjadi kenaikan kecil pada nilai band gap seiring dengan meningkatnya massa  $TiO_2$ . Kenaikan kecil ini menunjukkan bahwa ukuran partikel yang lebih kecil memberikan kontribusi terhadap kenaikan energi transisi elektron akibat efek kuantum.

Nilai *bandgap* mengalami peningkatan seiring dari FT 1 sampai FT 3 yang mengindikasikan bahwa peningkatan terjadi apabila massa TiO<sub>2</sub> yang dicampurkan memiliki konsentrasi yang lebih banyak. Hasil ini selaras dengan penelitian Tumbaleka dkk (2022) yang mengindikasikan nilai energi *bandgap* sesuai dengan penurunan ukuran kristalnya meskipun tidak mengalami peningkatan yang signifikan.

### 3.3 Hasil Pengujian Kemampuan Degradasi *Methylene Blue*

Kemampuan sampel material fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dalam mendegradasi *methylene blue* berbanding lurus dengan nilai *bandgap* yang diperoleh pada pengujian UV-Vis. Berdasarkan perbandingan antara absorbansi UV-Vis *methylene blue* pada panjang gelombang 663 nm dengan larutan yang sudah dicampurkan dengan material fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> selama 24 jam dapat diperoleh persentase degradasi (%) seperti pada Tabel 5.

Tabel 5: Persentase degradasi sampel fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>

Sampel	Degradasi (%)
FT1	99,38
FT2	99,43
FT3	99,55

Berdasarkan Tabel 3.4 Uji foto degradasi dilakukan dengan mencampurkan masing-masing sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> ke dalam larutan *methylene blue* 10 ppm selama 24 jam. Persentase degradasi yang dihasilkan adalah FT 1 = 99,38%, FT 2 = 99,43%, dan FT3 = 99,55%. Hasil ini menunjukkan bahwa aktivitas degradasi meningkat seiring bertambahnya fraksi TiO<sub>2</sub>, dengan sampel FT 3 (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>:TiO<sub>2</sub> = 1:2) sebagai komposisi paling optimal. Kinerja unggul FT 3 tidak hanya berasal dari nilai celah energi, tetapi juga terkait dengan ukuran kristal yang lebih kecil dan efisiensi pemisahan muatan yang lebih baik. TiO<sub>2</sub> yang lebih dominan menyediakan lebih banyak tempat aktif di permukaan untuk penyerapan molekul *methylene blue*, sementara Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> membantu meningkatkan pemindahan elektron berkat sifat konduktivitasnya yang tinggi. Ukuran partikel yang semakin kecil akan mengakibatkan pita valensi dan pita konduksi bergeser saling menjauhi sehingga celah antar pita valensi dengan pita konduksi material semakin besar (Syafrian & Sanjaya, 2024).

Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat antara ketiga parameter utama, yaitu ukuran kristal, nilai gap energi, dan kemampuan fotokatalitik. Penurunan ukuran kristal menyebabkan sedikit peningkatan pada gap energi akibat efek *quantum confinement* (Ilmi, 2020; Sadia et al., 2021). Namun, aktivitas degradasi tetap tidak berkurang karena Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berfungsi untuk mempercepat pemisahan muatan dan menjadi penjebak elektron, sehingga rekombinasi *electron-hole* dapat diminimalkan (Lendzion-Bieluń et al., 2020; Tumbelaka, Istiqomah, et al., 2022). Elektron yang terangkat dari pita valensi TiO<sub>2</sub> ke pita konduksi segera berpindah ke Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, menghasilkan lebih banyak radikal hidroksil (•OH) yang berperan penting dalam proses degradasi zat warna (Xiang et al., 2015). Dengan demikian, meskipun nilai gap energi sedikit meningkat, aktivitas degradasi tetap meningkat secara signifikan.

## 4. SIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Simpulan

Hasil riset menunjukkan adanya keterkaitan yang kuat antara ukuran kristal, nilai band gap, dan performa fotokatalitik dari material Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> yang dibuat melalui metode sintesis ramah lingkungan menggunakan ekstrak daun kelor. Peningkatan proporsi TiO<sub>2</sub> menyebabkan ukuran kristal menurun dan sedikit menaikkan nilai band gap, namun tidak mengurangi kapasitas fotokatalitik. Ini disebabkan oleh peran Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang mempercepat pemisahan muatan serta menghindari rekombinasi *electron-holes*, sehingga jumlah radikal hidroksil (•OH) yang dihasilkan semakin banyak dan mempercepat proses degradasi.

Pendekatan sintesis hijau menggunakan ekstrak daun kelor terbukti efisien dalam menghasilkan fotokatalis yang ramah lingkungan, karena senyawa fitokimia di dalamnya bertindak sebagai agen pereduksi dan penstabil alami yang menggantikan bahan kimia buatan. Pentingnya temuan dari penelitian ini terlihat pada sampel FT3 (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>:TiO<sub>2</sub> = 1:2) yang menjadi kondisi paling ideal, di mana proporsi TiO<sub>2</sub> yang lebih tinggi menghasilkan luas permukaan aktif yang lebih besar serta struktur *heterojunction* yang stabil. Kombinasi ini menjadikan FT3 memiliki performa fotokatalitik terbaik dengan efisiensi degradasi *methylene blue* mencapai 99,55%, serta potensi besar untuk digunakan dalam pengolahan air limbah industri tekstil dengan cara yang efisien dan berkelanjutan.

### 4.2 Saran

Penelitian berikutnya diharapkan untuk melakukan pengujian VSM agar dapat memahami sifat magnetik dari material Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub>, sebab kemagnetan yang tinggi mempermudah proses pemisahan fotokatalis dari larutan dan

memungkinkan penggunaan ulang dengan lebih efisien. Selain itu, penambahan unsur logam transisi seperti Cu, Co, atau Ni dapat dipertimbangkan untuk memperkecil band gap dan memperbesar penyerapan cahaya tampak, sehingga meningkatkan kinerja fotokatalitik menjadi lebih baik.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Afzal, S., Julkapli, N. M., & Mun, L. K. (2019). Response Surface Approach for Visible Light Assisted Photocatalytic Degradation of Ortho Nitrophenol by Magnetically Separable TiO<sub>2</sub>/CS Nanocomposite. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 99, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2019.04.022>
- Ilmi, D. R. (2020). *Fotodegradasi Zat Warna Metil Hingga Menggunakan Fotokatalis TiO<sub>2</sub>-N/Zelolit yang Disintesis dengan Metode Sonikasi*. Doctoral Disertasi, tidak dipublikasikan. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Lendzion-Bieluń, Z., Wojciechowska, A., Grzechulska-Damszel, J., Narkiewicz, U., Śniadecki, Z., & Idzikowski, B. (2020). Effective Processes of Phenol Degradation on Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub> Nanostructured Magnetic Photocatalyst. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 136, 109178. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2019.109178>
- Nadimi, M., Saravani, A. Z., Aroon, M. A., & Pirbazari, A. E. (2019). Photodegradation of Methylene Blue by a Ternary Magnetic TiO<sub>2</sub>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Graphene Oxide Nanocomposite Under Visible Light. *Materials Chemistry and Physics*, 225, 464–474. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2018.11.029>
- Novia, B., & Astuti. (2019). Pengaruh Temperatur Sintering Terhadap Struktur dan Sifat Magnetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-TiO<sub>2</sub> Sebagai Penyerap Gelombang Mikro. *Jurnal Fisika Unand*, 8(4), 368–372. <https://doi.org/10.25077/jfu.8.4.368-372.2019>
- Sadia, M., Naz, R., Khan, J., Zahoor, M., Ullah, R., Khan, R., Naz, S., Almoallim, H. S., & Alharbi, S. A. (2021). Metal Doped Titania Nanoparticles as Efficient Photocatalyst for Dyes Degradation. *Journal of King Saud University-Science*, 33(2), 101312. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2020.101312>
- Sari, N. H. (2018). *Material Teknik*. Yogyakarta: Deepublish.
- Shabani, A., Nabiyouni, G., Saffari, J., & Ghanbari, D. (2016). Photo-catalyst Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites: Green Synthesis and Investigation of Magnetic Nanoparticles Coated on Cotton. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 27(8), 8661–8669. <https://doi.org/10.1007/s10854-016-4887-5>
- Syafrian, S., & Sanjaya, H. (2024). Pengaruh Perbedaan Suhu Kalsinasi terhadap Band Gap dan Konduktivitas Listrik Lapisan Tipis CuSnO<sub>3</sub>. *Masaliq*, 4(2), 508–515. <https://doi.org/10.58578/masaliq.v4i2.2751>
- Tumbelaka, R. M., Imani, N. I., Mabarroh, N., & Suharyadi, E. (2022). Green Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Nanoparticles Using Extracts of Moringa oleifera: Microstructural and Optical Properties. *Solid State Phenomena*, 332, 91–99. <https://doi.org/10.4028/p-oi81sf>
- Tumbelaka, R. M., Istiqomah, N. I., Kato, T., Oshima, D., & Suharyadi, E. (2022). High Reusability of Green-Synthesized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Photocatalyst Nanoparticles for Efficient Degradation of Methylene Blue Dye. *Materials Today Communications*, 23, 104450. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2022.104450>
- Xiang, Y., Wang, H., He, Y., & Song, G. (2015). Efficient Degradation of Methylene Blue by Magnetically Separable Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/Chitosan/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites. *Desalination and Water Treatment*, 55(4), 1018–1025. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.922441>
- Zahra, Y. H. (2023). *Green-Synthesis CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> Nanokomposit Menggunakan Ekstrak Daun Moringa Oleifera untuk Fotodegradasi Limbah Methylene Blue*. Skripsi, tidak dipublikasikan. UIN Sunan Gunung Djati Bandung.