

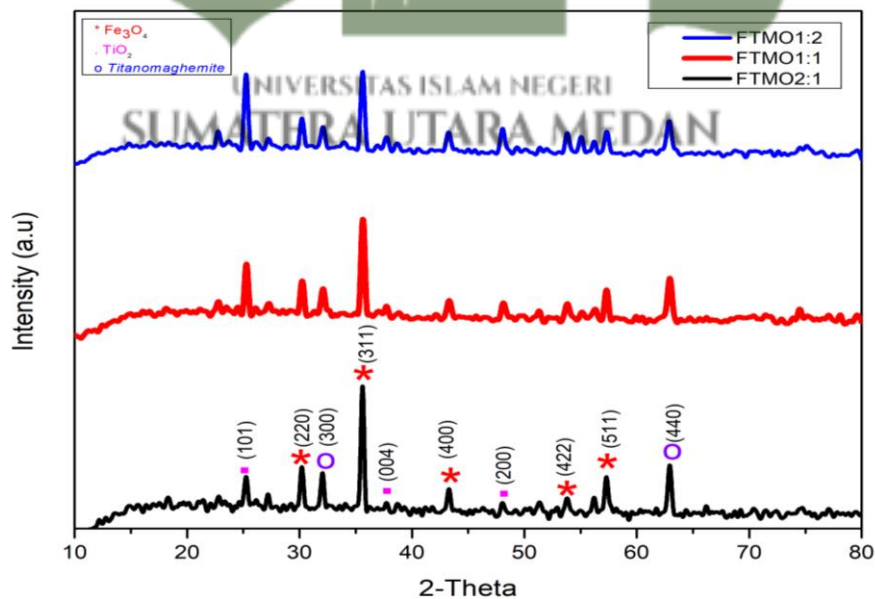
BAB IV

PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan proses *green synthesized* material fotokatalis dengan menggunakan bahan $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ menggunakan metode kopresipitasi, adapun sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah perbandingan komposisi variasi massa yaitu FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2. Sampel yang sudah dicampur kemudian dikalsinasi dengan suhu 500°C selama 3 jam. Sampel yang sudah jadi selanjutnya dilakukan uji menggunakan XRD (*X-Ray Diffractometer*), SEM (*Scanning Electron Microscope*), FTIR (*Fourier Transform Infra-R Spectroscopy*), dan UV-Vis (*Ultraviolet-Visible Spectrofotometer*). Hasil pengujian selanjutnya dianalisis.

4.1 X-Ray Diffractometer (XRD)

Pengujian karakteristik menggunakan XRD bertujuan untuk mengetahui struktur, dan fasa yang terdapat pada sampel yang dilakukan menggunakan mesin Shimadzu XRD-7000. Karakterisasi ini dilakukan sebanyak 3 sampel yaitu FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2. Berdasarkan hasil data pengujian XRD, diperoleh grafik seperti pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Gabungan XRD

Berdasarkan Gambar 4.1 diperoleh data puncak diffraktogram menggunakan *software match crystal impact* dengan tinjauan sudut difraksi (2θ) pada rentang $10^\circ - 80^\circ$. Hasil XRD menunjukkan nanopartikel mengkristal baik dengan puncak-puncak difraksi yang menunjukkan struktur spinel invers kubik menurut kartu JCPDS No.10–11032 dari Fe_3O_4 yang menunjukkan struktur spinel teramati pada rentang $2\theta : 30,1^\circ; 35,7^\circ; 43,1^\circ; 53,7^\circ$; dan $57,2^\circ$ terpantau sangat jelas puncak-puncak difraksi terletak pada nilai dengan bidang (hkl): (220), (311), (400), (422), dan (511). Adapun untuk nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ mempunyai nilai (hkl) relatif sama dengan yang dimiliki oleh Fe_3O_4 , yang membedakannya disini adalah munculnya puncak difraksi baru pada bidang (101), (004), dan (200) yang menandakan adanya keberadaan kristal TiO_2 fasa anatase sesuai dengan kartu JCPDS no.21–1272 (Tumbaleka dkk., 2021). Beberapa sudut puncak 2θ juga menunjukkan adanya kehadiran senyawa $\text{Fe}_2\text{O}_4\text{TiO}_2$ dengan fasa *Titanomaghemit* yang memiliki struktur kubik berdasarkan analisa *software match crystal impact*.

Hasil analisa lanjutan terhadap sampel FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2 memiliki struktur dan fasa yang sama dikarenakan tidak adanya perubahan pada puncak diffraktogramnya, hal ini mengindikasikan bahwa penambahan TiO_2 dengan peningkatan variasi massa dari FTMO2:1 ke FTMO1:2 belum memberikan pengaruh pada fasa sampel, dan tidak terjadi perubahan pada struktur kristal disebabkan adanya penambahan material TiO_2 (Zahra, 2023)

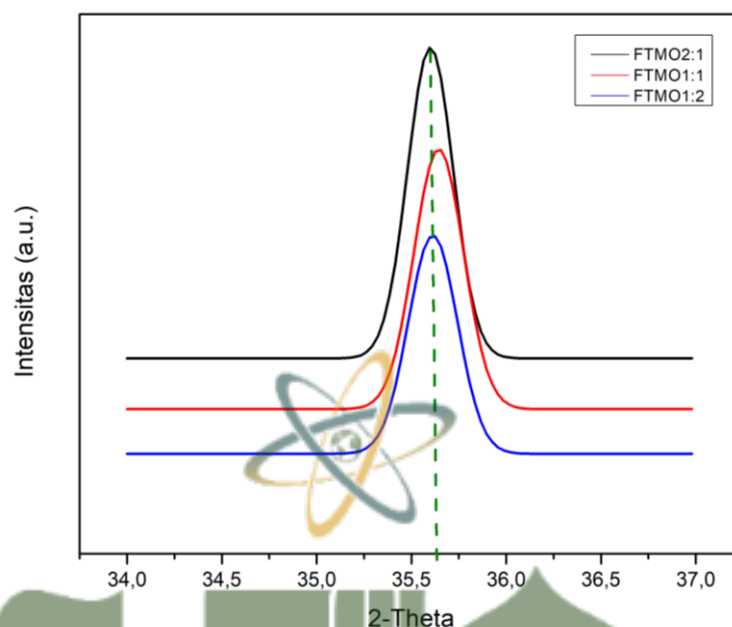
Kehadiran beberapa senyawa yang terdeteksi pada puncak diffraktogram XRD memiliki nilai d_{hkl} yang berbeda seperti pada Tabel 4.1 hal ini mengindikasikan bahwa senyawa Fe_3O_4 memiliki nilai d_{hkl} yang paling kecil sebagai senyawa paling sedikit pada sampel.

Tabel 4.1 Nilai d_{hkl} Senyawa Fe_3O_4 , TiO_2 dan *Titanomaghemit*

Senyawa	d_{hkl} (Å)	a (Å)	h	k	l
Fe_3O_4	2,51	8.34	3	1	1
TiO_2	3,51	3.78	1	0	1
<i>Titanomaghemit</i>	2,78	8.34	3	0	0

Semakin kecil nilai d_{hkl} maka semakin rapat atom-atom dari senyawa tersebut, tetapi berbeda dengan jumlah persentase berat yang terdapat pada sampel. Hal ini sesuai dengan analisa pada *software match crystal impact* yang

menunjukkan persentase dari Fe_3O_4 26,8%, TiO_2 40,7% dan *Titanomaghemite* 32,5%. Analisa lebih lanjut dilakukan dengan menganalisa puncak diffraktogram pada sudut $35,7^\circ$ dengan analisa indeks miller (311), yang dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Pergeseran Puncak Sudut $35,7^\circ$

Berdasarkan dari Gambar 4.2 yang menampilkan grafik hasil pergeseran sudut puncak menuju sudut yang lebih rendah, mengindikasikan bahwa sintesis Fe_3O_4 dan TiO_2 yang disintesis dengan ekstrak daun kelor (*moringa oliefera*) berhasil dilakukan, karena puncak difraksi yang paling tinggi terletak pada bidang (311) dengan nilai 2θ : $35,7^\circ$ untuk sampel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$. Pada bidang ini terjadi kenaikan intensitas pada sampel $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ yang menunjukkan adanya peningkatan kualitas kristal setelah Fe_3O_4 dikompositkan dengan material TiO_2 . Hal ini terjadi karena sebagian atom yang dimiliki oleh Fe_3O_4 berikatan dengan atom TiO_2 yang merupakan material non magnetik sehingga atom-atomnya akan menjadi lebih teratur dan berimbas terhadap meningkatnya kualitas kristal (Fauzi, 2023), dan menyebabkan distorsi kisi yang mengakibatkan terjadinya perubahan jarak antar atom (d) dan ukuran kristal (D).

Puncak difraksi yang tajam menunjukkan bahwa struktur kristal lebih teratur dengan cacat yang lebih sedikit hal ini dapat dilihat dari kurva FTMO2:1

yang cenderung besar dan tajam dibanding kurva FTMO1:1 dan FTMO1:2 dan dapat dilihat juga pada perhitungan jarak antar atom (d). Hasil perhitungan jarak antar atom (d) dapat dihitung menggunakan persamaan Hukum *Bragg* menggunakan persamaan 2.1 dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jarak Antar Atom

Sampel	d (Å)
FTMO2:1	2,52
FTMO1:1	2,52
FTMO1:2	2,52

Berdasarkan hasil perhitungan jarak antar atom pada Tabel 4.2 dengan sampel FTMO dengan berbagai variasi massa komposisi, terlihat bahwa variasi massa tidak berpengaruh terhadap jarak antar atom dalam struktur kristal material tersebut. Pada semua kode sampel FTMO, jarak antar atom tercatat sebesar 2,52 Å, yang merupakan jarak yang relatif seragam yang dimiliki di antara ketiga sampel.

Hal ini menjelaskan bahwa pengaruh variasi massa dari TiO₂ dalam material komposit tidak mempengaruhi nilai jarak antar atom (d) secara signifikan, yang menunjukkan disebabkan oleh didominasi struktur dari Fe₃O₄ dalam komposit yang mampu menstabilkan jarak antar atom meskipun terjadi variasi dalam komposisi TiO₂. Keseragaman ini mengindikasikan bahwa Fe₃O₄ tetap dominan sebagai fasa kristal yang terbentuk, sementara TiO₂ berperan sebagai fasa tambahan yang tidak signifikan mengubah jarak antar atom.

Hasil perhitungan ukuran kristal menggunakan persamaan 2.2 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

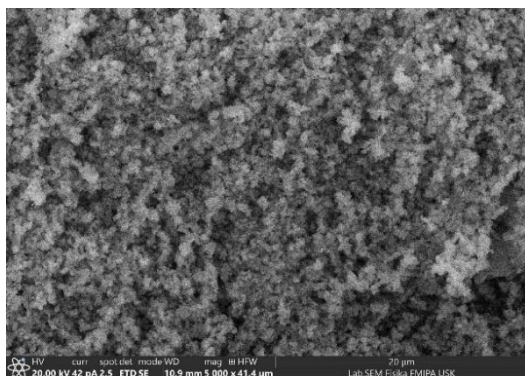
Tabel 4.3 Ukuran Kristal

Sampel	FWHM (radian)	D (nm)
FTMO2:1	0,28373	30,71
FTMO1:1	0,30705	28,38
FTMO1:2	0,30472	28,59

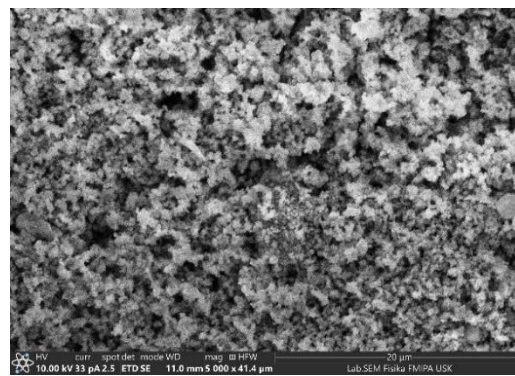
Berdasarkan hasil perhitungan ukuran kristal pada Tabel 4.3 dengan sampel FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2 terdapat hubungan antara nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) dengan ukuran kristal (D). Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil nilai FWHM, maka semakin besar ukuran kristal yang dihasilkan. Pada FTMO2:1, FWHM tercatat sebesar 0,28373, yang menghasilkan ukuran kristal terbesar sebesar 30,71 nm. Pada FTMO1:1, FWHM meningkat menjadi 0,30705, dengan ukuran kristal lebih kecil, yakni 28,38 nm. Sementara itu pada FTMO1:2 FWHM yaitu 0,30472 menghasilkan ukuran kristal sebesar 28,59 nm. Pernyataan ini menjelaskan bahwa sampel FTMO2:1 memiliki nilai ukuran kristal yang lebih besar daripada FTMO1:1 dan FTMO1:2 akan tetapi perubahan ukuran kristal yang terjadi tidak terlalu signifikan. Pengaruh variasi massa mempengaruhi nilai ukuran kristal yang dapat dilihat dengan semakin bertambahnya variasi massa dari TiO_2 maka semakin menurun pula nilai ukuran kristal. Pada ukuran kristal yang besar, atom-atom cenderung lebih teratur, karena kristal tumbuh dengan sedikit cacat. Semakin besar kristal maka semakin teratur pula penyusunan atom di dalamnya. Hal ini dikarenakan apabila variasi massa semakin tinggi, maka atom-atom yang terdapat di dalam senyawa TiO_2 akan berdifusi secara cepat (Ilmi, 2020)

4.2 Scanning Electron Microscope (SEM)

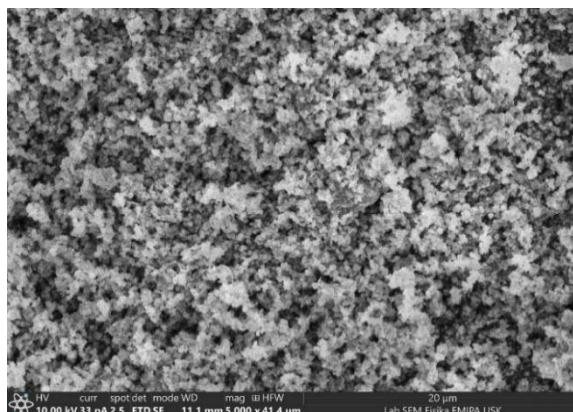
Pengujian SEM dilakukan untuk menganalisis bentuk morfologi dan ukuran butir dari $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$. Perbesaran yang dilakukan pada sampel yaitu dengan perbesaran 5.000 dan 20.000 kali. Hasil SEM $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ dengan perbesaran 5000 kali ditunjukkan pada Gambar 4.3.



(a)



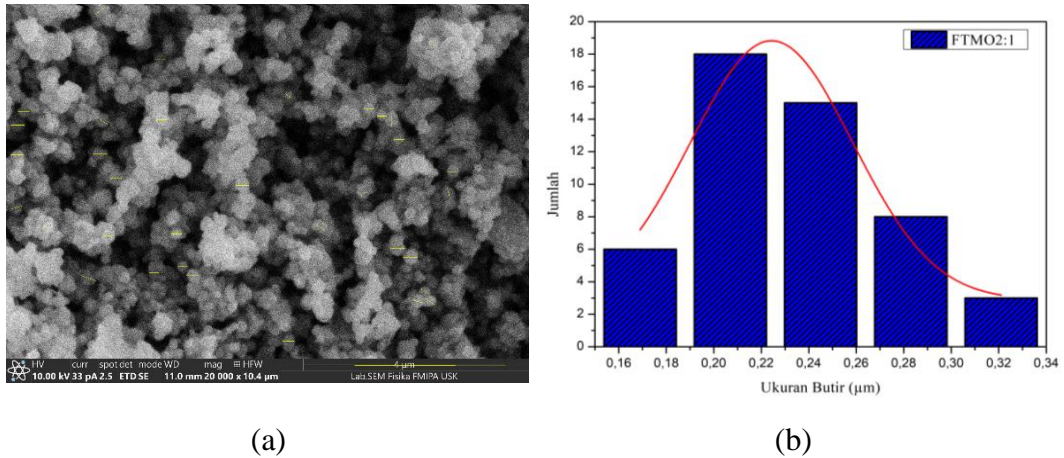
(b)



(c)

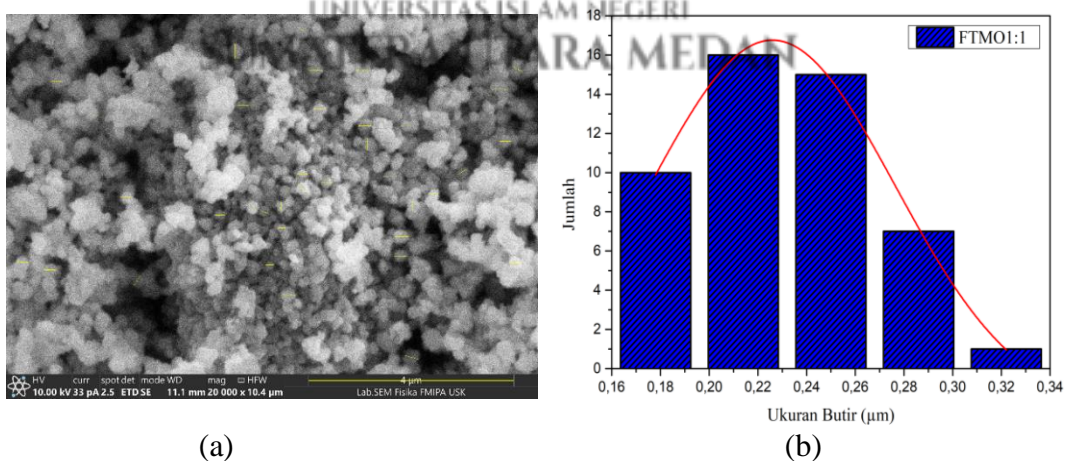
Gambar 4.3 SEM perbesaran 5000 kali (a) FTMO2:1, (b) FTMO1:1, dan (c) FTMO1:2

Berdasarkan hasil Gambar 4.3 diketahui bahwa ketiga sampel memiliki perbedaan pada morfologinya, sampel FTMO2:1 menunjukkan aglomerasi terlihat namun lebih sedikit, partikel-partikel tampaknya terpisah satu sama lain dengan lebih jelas, menunjukkan bahwa materialnya memiliki kecenderungan aglomerasi yang rendah. Hal ini menandakan bahwa pada variasi massa FTMO2:1 struktur permukaan terlihat lebih homogen pada partikel yang tampak lebih tersebar merata di seluruh area, dengan ukuran partikel cenderung lebih seragam dan memiliki distribusi yang baik. Sampel FTMO1:1 tingkat aglomerasi terlihat lebih tinggi, dengan beberapa area menunjukkan kumpulan partikel yang lebih besar dan tampak lebih menyatu, dan partikel masih menunjukkan tekstur yang kurang homogen, partikel tampak lebih kasar dan ada lebih banyak variasi ukuran. Sampel FTMO1:2 terlihat paling banyak teraglomerasi yang menunjukkan partikel-partikel lebih tidak seragam, dengan permukaan yang tampak kasar dan distribusi ukuran partikel yang bervariasi dengan banyak partikel yang berkumpul. Partikel-partikel tampak lebih terikat erat satu sama lain dibandingkan dengan kedua sampel lainnya, hal ini menunjukkan bahwasanya semakin besar variasi massa antara $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ maka semakin besar kecenderungan terjadinya aglomerasi. Analisa ukuran butir pada sampel FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2 dapat dilihat dari Gambar 4.4.



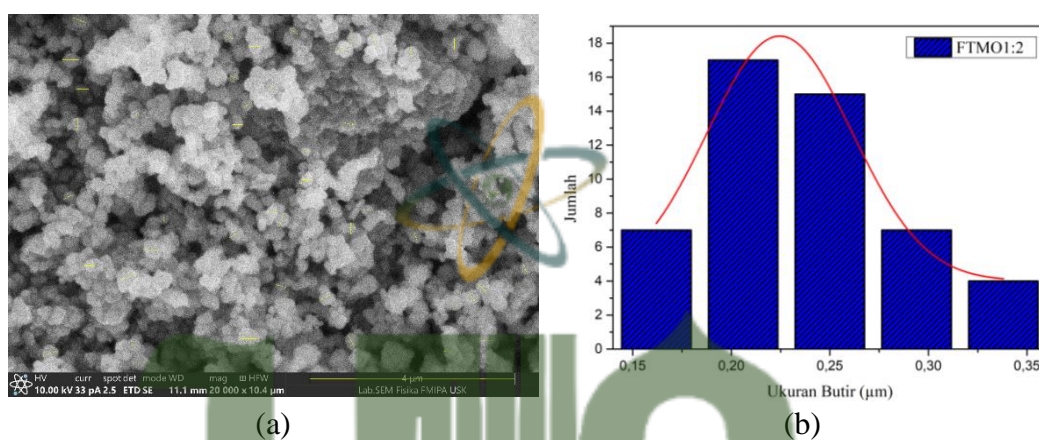
Gambar 4.4 SEM FTMO2:1 (a) Perbesaran 20.000 kali dan
(b) Ukuran Butir (μm)

Berdasarkan Gambar 4.4 dapat diketahui hasil SEM pada gambar (a) perbesaran 20.000 kali menunjukkan morfologi partikel yang berbentuk bulat, tampak lebih halus dan sedikit mengalami aglomerisasi. Pada gambar (b) ukuran butir sampel FTMO2:1 tampak lebih seragam, terlihat adanya variasi ukuran yang cukup luas mulai dari 0,16-0,34 μm , namun ukuran butir yang paling mendominasi berada pada rentang sekitar 0,20-0,26 μm dan puncak distribusi berada pada rentang 0,22 μm . Hal ini mengindikasikan bahwa sampel variasi massa FTMO2:1 menyebabkan puncak distribusi bergeser ke ukuran yang lebih besar dan mengalami pertumbuhan butir.



Gambar 4.5 SEM FTMO1:1 (a) Perbesaran 20.000 kali dan
(b) Ukuran Butir (μm)

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa hasil SEM pada gambar (a) perbesaran 20.000 kali menunjukkan morfologi partikel yang berbentuk bulat dan beberapa area terlihat saling menempel ini mengindikasikan terjadinya aglomerisasi. Pada gambar (b) ukuran butir sampel FTMO1:1 tampak tidak seragam dan terlihat adanya variasi ukuran yang cukup luas mulai dari 0,16-0,34 μm , namun ukuran butir yang paling mendominasi berada pada rentang sekitar 0,20-0,26 μm dan puncak distribusi berada pada rentang 0,23 μm dengan distribusi yang lebih simetris, hal ini mengindikasikan bahwa sampel dengan variasi massa FTMO1:1 cenderung tidak mengalami pertumbuhan butir

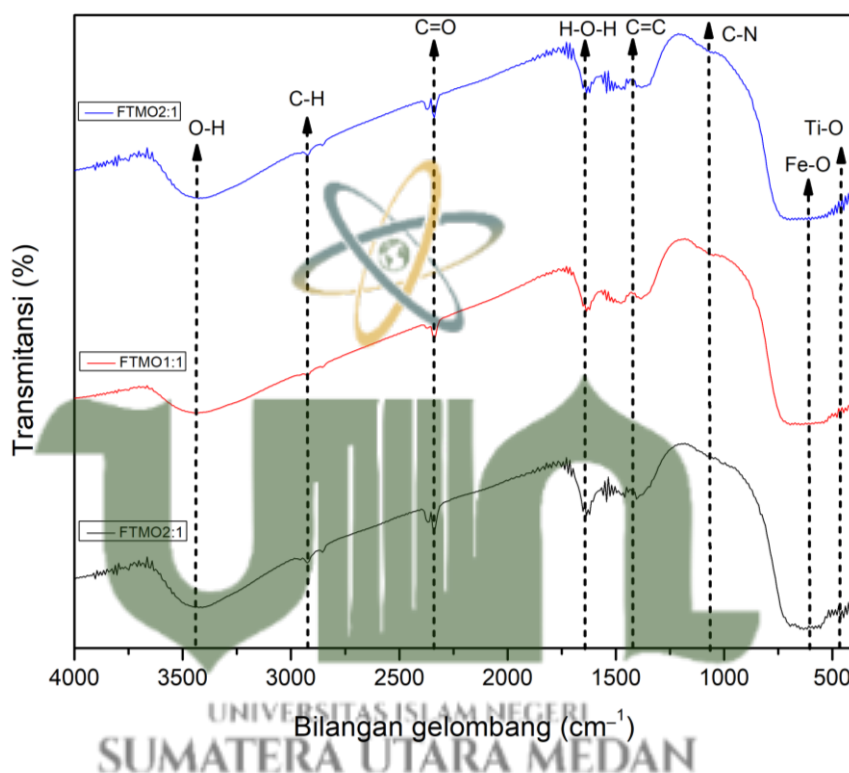


Gambar 4.6 SEM FTMO1:2 (a) Perbesaran 20.000 kali dan (b) Ukuran Butir (μm)

Berdasarkan Gambar 4.5 dapat diketahui bahwa hasil SEM pada gambar (a) perbesaran 20.000 kali menunjukkan morfologi partikel yang berbentuk bulat dan beberapa area terlihat saling menempel ini mengindikasikan terjadinya aglomerisasi. Pada gambar (b) ukuran butir sampel FTMO1:2 mengakibatkan distribusi ukuran yang lebih besar, kurang optimal, tidak seragam dan terlihat adanya variasi ukuran yang cukup luas mulai dari 0,15-0,35 μm namun ukuran butir terbanyak berkisar antara 0,20-0,26 μm dengan didominasi partikel puncak distribusi sekitar 0,22 μm dengan distribusi yang lebih lebar. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel dengan variasi massa FTMO1:2 cenderung tidak mengalami pertumbuhan butir.

4.3 Fourier Transform Infra Red (FTIR) Spectroscopy

Analisis gugus fungsi untuk sampel FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2 dapat dilakukan dengan karakterisasi FTIR pada bilangan gelombang 4000 - 500 cm^{-1} seperti yang terlihat pada Gambar 4.6. Keberadaan gugus fungsi ditunjukkan oleh puncak-puncak transmitansi dalam spektrum FTIR. Setiap gugus fungsi memiliki bilangan gelombang tertentu, yang ditentukan oleh kemampuannya untuk bergetar dan menyerap energi dari spektrum inframerah (Zahra, 2023).



Gambar 4.7 Gugus Fungsi Nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$

Spektrum FTIR untuk semua sampel sampel FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2, memiliki puncak serapan bilangan gelombang sekitar 3415-3442 cm^{-1} dan 1635-1648 cm^{-1} masing-masing dikaitkan dengan vibrasi, mode *stretching* O-H (gugus hidroksil) dan *bending* dari gugus H-O-H, yang menunjukkan air yang teradsorpsi secara fisik ke permukaan nanopartikel. Gugus hidroksil muncul akibat dari proses pengeringan tidak sempurna yang menyebabkan terdapatnya kandungan air pada nanopartikel (Tumbaleka dkk., 2022). Identifikasi puncak serapan FTIR dijabarkan pada Tabel 4.4.

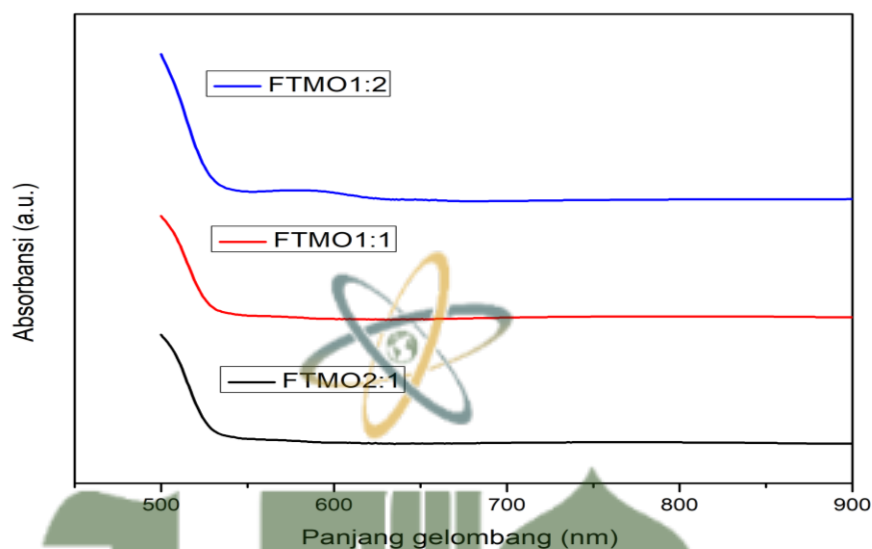
Tabel 4.4 Gugus Fungsi FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2

Gugus Fungsi	Bilangan Gelombang			Jenis Vibrasi
	(cm ⁻¹)			
	FTMO2:1	FTMO1:1	FTMO1:2	
O-H	3415,7	3435,7	3442,6	<i>Stretching</i>
C-H	2922,1	2925,2	2929,0	<i>Stretching</i>
C=O	2330,3	2334,1	2347,9	<i>Stretching</i>
H-O-H	1635,7	1643,4	1648,6	<i>Bending</i>
C=C	1406,3	1413,2	1420,3	<i>Stretching</i>
C-N	1063,1	1066,1	1070,0	<i>Stretching</i>
Fe-O	599,3	606,2	610,0	<i>Stretching</i>
Ti-O	450,5	461,3	468,2	<i>Stretching</i>

Nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ puncak serapan yang diwakili oleh gugus fungsi Fe-O terpantau pada rentang bilangan gelombang 599,3-610,0 cm⁻¹ dengan vibrasi mode *stretching* seperti yang tertulis pada Tabel 4.4. Adanya gugus Fe-O yang terdeteksi menunjukkan keberhasilan sintesis Fe₃O₄ dengan memanfaatkan daun kelor (*moringa oliefera*) sebagai agen pereduksi. Gugus fungsi Ti-O terletak pada rentang bilangan gelombang 450,5-468,2 cm⁻¹ yang mempunyai mode vibrasi yang sama yaitu *stretching*, ciri khas gugus fungsi yang dimiliki oleh Fe₃O₄ dan TiO₂ pada nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ menandakan keberhasilan dari sintesis nanokomposit Fe₃O₄/TiO₂ (Fauzi, 2023). Selain itu terdeteksi pula gugus fungsi dari C-H (alifatik), C=C (cincin aromatic), dan C-N (amina alifatik) yang menunjukkan keberhasilan *green synthesized* menggunakan ekstrak daun kelor (*moringa oliefera*). Kehadiran karbon dikonfirmasi oleh puncak C=O pada 2330-2334 cm⁻¹, struktur lignin pada daun kelor menyediakan karbon (Tumbaleka dkk.,2022). Hal ini menunjukkan bahwa kehadiran gugus-gugus fungsional ini menunjukkan bahwa fungsionalisasi dalam *green synthesized* telah terjadi dimana kemunculan gugus fungsi flavonoid pada sampel juga menunjukkan perannya sebagai agen penutup dalam pembentukan nanopartikel (Lestari, 2024).

4.4 Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spektrofotometer

UV-Vis merupakan alat yang digunakan untuk mengukur absorbansi cahaya dan menentukan nilai energi gap. Pada penelitian ini, dilakukan sampel dengan kode FTMO2:1, FTMO1:1, dan FTMO1:2 dengan panjang gelombang 500-900 nm yang merupakan jangkauan untuk cahaya tampak dikarenakan serapan metilen biru dengan konsentrasi 10 ppm berada pada panjang gelombang 663 nm.



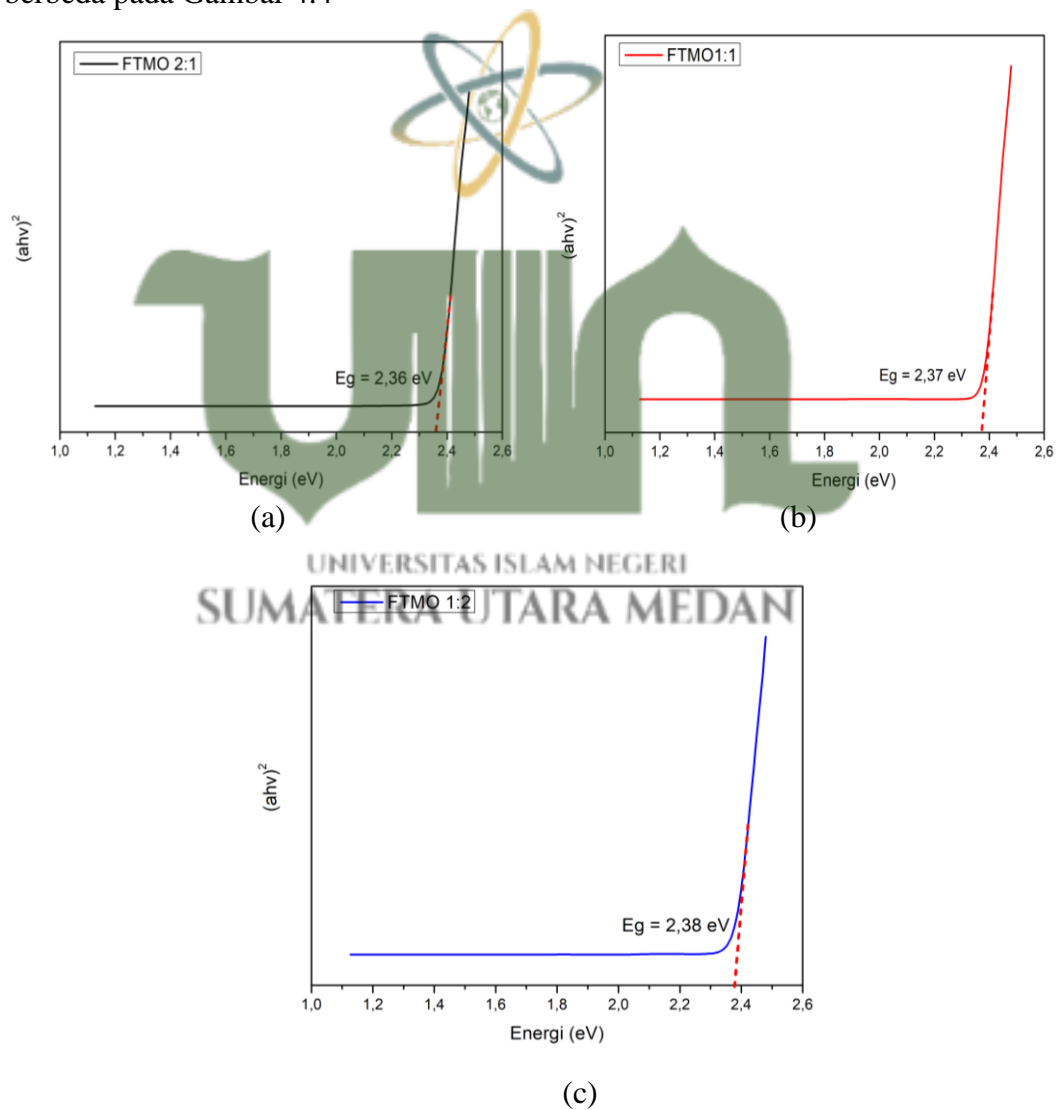
Gambar 4.8 Spektrum UV-Vis $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$

Berdasarkan hasil Gambar 4.8 pengujian UV-Vis diatas merupakan spektrum puncak serapan serta tepi serapan yang dimiliki nanokomposit $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ (Fauzi, 2023). Terjadi pergeseran panjang gelombang yang sebagian besar disebabkan oleh perubahan ukuran partikel. Transisi transfer muatan antara elektron nanopartikel Fe_3O_4 dan pita konduksi (atau pita valensi) TiO_2 dapat menjelaskan pergeseran pita serapan, hal ini menunjukkan bahwa jika seluruh sampel nanopartikel menyerap sinar tampak antara panjang gelombang 500 nm hingga cahaya tampak 550 nm (Tumbelaka dkk., 2021).

Setelah panjang gelombang tersebut, kurva absorbansi cenderung stabil hingga rentang 900 nm. Namun, intensitas absorbansi masing-masing sampel bervariasi, sampel FTMO2:1 dan FTMO1:1 yang memiliki absorbansi terendah, yang menunjukkan material ini memiliki kemampuan menyerap cahaya yang lebih kecil, sedangkan sampel FTMO1:2 menampilkan nilai absorbansi tertinggi, yang

dimana material ini dapat menyerap lebih banyak cahaya diseluruh rentang panjang gelombang yang diuji dan lebih efisien dalam menyerap foton energi tinggi, yang berarti energi gap pada material ini sedikit lebih besar.

Perbedaan intensitas ini diakibatkan oleh variasi massa dari bahan penyusun FTMO, di mana variasi massa yang lebih besar atau lebih kecil mempengaruhi interaksi antar molekul dan struktur elektronik material tersebut. Peningkatan variasi massa FTMO dalam komposisi menyebabkan peningkatan absorbansi, yang dapat menunjukkan bahwa lebih banyak elektron dalam sistem ini yang terlibat dalam transisi cahaya penyerapan. Analisa lebih lanjut berkaitan dengan energi gap yang dianalisa berdasarkan masing-masing sampel dengan variasi massa yang berbeda pada Gambar 4.4



Gambar 4.9. Energi Gap

Berdasarkan Gambar 4.9 dengan menggunakan metode *Tauc Plot* kita bisa mengolah data dari hasil UV-Vis untuk mendapatkan nilai celah pita energi. Pada Gambar 4.9 disajikan celah pita energi dari masing-masing sampel nilai energi gap pada masing-masing sampel yang dapat terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Energi Gap

Sampel	Energi Gap (eV)
FTMO2:1	2,36
FTMO1:1	2,37
FTMO1:2	2,38

Pada grafik yaitu FTMO2:1 sebesar 2,36 eV, FTMO1:1 sebesar 2,37 eV dan FTMO1:2 sebesar 2,38 eV. Dapat dilihat bahwa terjadi kenaikan celah pita energi setelah nanopartikel Fe_3O_4 dikompositkan dengan TiO_2 , meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi TiO_2 . Data diatas dapat disimpulkan bahwa hasil ini selaras dengan yang dilaporkan oleh Tumbeleka dkk., (2022). Naiknya celah pita energi ini sangat berkaitan sekali dengan hasil ukuran kristalit hasil pengolahan XRD, ketika ukuran partikel berkurang maka energi celah pita akan semakin meningkat. Dengan meningkatnya celah pita energi maka energi yang dibutuhkan untuk mengeksitasi elektron ke pita konduksi lebih besar. Meskipun begitu, dengan meningkatnya celah pita maka rekombinasi elektron-hole tidak akan terlalu cepat sehingga akan meningkatkan proses fotodegradasi limbah zat pewarna (Fauzi, 2023).

Seiring dengan penurunan ukuran partikel, pita valensi dan pita konduksi akan bergerak semakin jauh, sehingga celah pita antara pita valensi dan pita konduksi material menjadi lebih besar (Syafrian & Hary, 2024).

Kemampuan degradasi sampel material fotokatalis terhadap metilen biru memiliki setiap perbedaan pada setiap sampel. Hal ini berkaitan dengan nilai energi gap yang mengalami perubahan (meningkat 0,01 eV) sehingga ion dari material fotokatalis lebih mudah mengalami ionisasi terhadap cahaya tampak. Persentase degradasi metilen biru dapat dijadikan salah satu indikator perubahan energi gap yang dapat dihitung dengan persamaan 2.3 sehingga diperoleh nilai seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Persentase Degradasi Metilen Biru

Sampel	Absorbasnsi UV-Vis	Absorbasnsi UV-Vis	Degradasi (%)
	663 (nm) metilen biru	663 (nm) sampel	
FTMO2:1	2,029	0,062	96,94
FTMO1:1	2,029	0,057	97,20
FTMO1:2	2,029	0,045	97,80



Gambar 4.10 Fotodegradasi Metilen Biru dengan Katalis

Berdasarkan Tabel 4.4 absorbansi mengalami penurunan dari metilen biru 10 ppm dengan nilai absorbansi pada panjang gelombang 663 nm sebesar 2,029 menjadi 0,062 (FTMO2:1), 0,057 (FTMO1:1), 0,045 (FTMO1:2) dengan afesiensi absorpsi masing-masing sampel sebesar 96,94%, 97,20%, 97,80%.