

## ANALISIS STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI NANOKOMPOSIT $Fe_3O_4/TiO_2$ BERBASIS PASIR BESI SUNGAI BATANGHARI

Crismeli, Nurhidayah, Tika Restianingsih, Rista Mutia Anggraini, Frastica Deswardani\*

Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi, Mendalo Indah, Jambi, 36361, Indonesia

\*email: frastica.deswardani@unja.ac.id

### ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh perbandingan massa  $Fe_3O_4$  dan  $TiO_2$  dalam nanokomposit  $Fe_3O_4/TiO_2$  terhadap struktur kristal, morfologi dan energi gap. Nanopartikel  $Fe_3O_4$  disintesis menggunakan metode kopresipitasi dan nanokomposit  $Fe_3O_4/TiO_2$  menggunakan metode reaksi fasa padatan (solid state reaction). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh perbandingan massa terhadap struktur kristal, morfologi dan energi gap. Nilai variasi perbandingan massa tersebut adalah 3:1, 2:1, 1:1, 1:2 dan 1:3. Sampel nanokomposit dikarakterisasi menggunakan metode X-Ray Diffraction (XRD), UV-Vis Spectrophotometry, dan Scanning Electron Microscopy (SEM). Dari hasil XRD diperoleh bahwa penambahan  $TiO_2$  tidak menunjukkan perubahan yang signifikan terhadap ukuran kristal dan cenderung didominasi oleh fasa  $TiO_2$ . Hasil Spektrofotometer UV-Vis nilai energi gap  $Fe_3O_4$  murni,  $TiO_2$  murni dan perbandingan massa 1:1 berturut-turut sebesar 3,67 eV, 3,36 eV dan 3,50 eV. Citra SEM menampilkan morfologi sampel mendekati bentuk bulat dengan sebaran ukuran tidak homogen. Nilai rata-rata ukuran partikel untuk masing-masing sampel  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$ , dan  $Fe_3O_4/TiO_2$  adalah 148,006 nm, 184,72 nm dan 181,79 nm. Selain itu, diperoleh ukuran partikel  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$  dan perbandingan massa 1:1 dengan ukuran rata-rata partikel berturut-turut sebesar 148,006 nm, 184,72 nm dan 181,79 nm.

Kata Kunci:  $Fe_3O_4$ ; Kopresipitasi; Nanopartikel; Solid state reaction;  $TiO_2$

### ABSTRACT

**[Title: Synthesis and Characterization  $Fe_3O_4/TiO_2$  Nanocomposite From Iron Sand In Batanghari River]** Research has been carried out on the effect of the mass ratio of  $Fe_3O_4$  and  $TiO_2$  in  $Fe_3O_4/TiO_2$  nanocomposites on crystal structure, morphology and gap energy.  $Fe_3O_4$  nanoparticles were synthesized using the coprecipitation method and  $Fe_3O_4/TiO_2$  nanocomposites using the solid state reaction method. The aim of this research is to determine the effect of mass ratio on crystal structure, morphology and gap energy. The mass ratio variation values are 3:1, 2:1, 1:1, 1:2 and 1:3. Nanocomposite samples were characterized using X-Ray Diffraction (XRD), UV-Vis Spectrophotometry, and Scanning Electron Microscopy (SEM) methods. From the XRD results it was found that the addition of  $TiO_2$  did not show a significant change in crystal size and tended to be dominated by the  $TiO_2$  phase. The UV-Vis Spectrophotometer results show the gap energy values of pure  $Fe_3O_4$ , pure  $TiO_2$  and a mass ratio of 1:1 respectively of 3.67 eV, 3.36 eV and 3.50 eV. The SEM image shows the sample morphology approaching a round shape with an inhomogeneous size distribution. The average particle size values for each sample of  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$ , and  $Fe_3O_4/TiO_2$  are 148.006 nm, 184.72 nm and 181.79 nm. In addition, the  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$  particle sizes and mass ratios of 1:1 were obtained with average particle sizes of 148.006 nm, 184.72 nm and 181.79 nm, respectively.

Keywords:  $Fe_3O_4$ ; coprecipitation; nanoparticles; solid state reaction;  $TiO_2$

### PENDAHULUAN

Provinsi Jambi merupakan salah satu provinsi yang berpeluang menghasilkan pasir besi yang diperoleh dari Sungai Batanghari. Sinurat et al (2021), telah melakukan penelitian menggunakan pasir besi dari Sungai Batanghari Jambi. Menurut Wulandari et al (2021), hasil sintesis  $Fe_3O_4$  yang diperoleh berwarna hitam. Magnetit ( $Fe_3O_4$ ) merupakan salah satu bentuk oksida besi yang memiliki sifat magnetik yang kuat dibandingkan

dengan hematit ( $\alpha$ -  $Fe_2O_3$ ), dan maghemit ( $\gamma$ -  $Fe_2O_3$ ) yang merupakan kandungan mineral yang terdapat pada pasir besi. Larutan berwarna hitam menunjukkan  $Fe_3O_4$  telah terbentuk.

Nanopartikel  $Fe_3O_4$  dapat diperoleh dari pasir besi dengan metode kopresipitasi. Penelitian Prasetyowati et al (2021), berhasil mensintesis nanopartikel magnetit ( $Fe_3O_4$ ) berbasis pasir besi Pantai Glagah, Kulon Progo dengan menggunakan metode kopresipitasi, dengan variasi konsentrasi

NH<sub>4</sub>OH (10%, 15%, 20%, dan 25%). Hasil karakterisasi XRD menunjukkan variasi konsentrasi NH<sub>4</sub>OH tidak mempengaruhi parameter kisi dan struktur kristal, tetapi mempengaruhi ukuran kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Hasil SEM- EDX menunjukkan bahwa struktur morfologi permukaan sampel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan NH<sub>4</sub>OH 15% cukup homogen.

Fotokatalis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dalam metode fotodegradasi memungkinkan terjadinya mineralisasi sempurna polutan organik menjadi CO<sub>2</sub> sehingga polutan organik yang awalnya bersifat *non-biodegradable* menjadi *biodegradable* (Bilalodin et al., 2013). Ma'rufah et al (2019), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> memiliki energi gap 3,3 eV. Untuk meningkatkan fotodegradasi perlu dilakukan pendopingan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan material semikonduktor yang memiliki kemampuan sebagai fotokatalis.

Semikonduktor yang telah banyak diamati kemampuannya sebagai fotokatalis adalah TiO<sub>2</sub>. TiO<sub>2</sub> adalah material fotokatalis yang memiliki daya oksidasi yang kuat, photostabilitas yang tinggi dan selektivitas redoks (Greenwood and Earnshaw, 1997). TiO<sub>2</sub> mempunyai energi gap sebesar 3,2 eV (Batista et al., 2010). TiO<sub>2</sub> memiliki tiga bentuk kristal yaitu sebagai berikut: anatase, *rutile*, dan *brookite* (Pawar et al., 2018). Fotokatalis nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> memiliki persentase mencapai 98,4% (Fauzi, 2023). Nilai energi gap Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> diharapkan dapat diperkecil setelah dikombinasikan dengan TiO<sub>2</sub> yang memiliki energi gap relatif kecil.

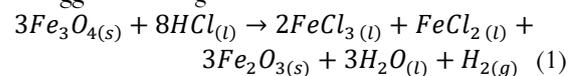
Pradipta et al (2021), telah menggunakan nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> sebagai fotokatalis yang dapat diambil kembali dari fotoreduksi limbah ion AgI. Hasil penelitian tersebut menunjukkan nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> memiliki kemampuan fotokatalitik yang baik. Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> memiliki kemampuan reduksi yang baik dibanding dengan TiO<sub>2</sub> tanpa campurannya. Pada proses fotokatalis energi gap sampel yang kecil mempunyai spektrum penyerapan cahaya tampak yang lebih luas (Virrisya dan Astuti, 2019). Hal ini akan membantu menghasilkan spektrum yang diserap lebih optimal, sehingga proses fotokatalisis dapat dihasilkan dengan baik.

Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dapat dilakukan dengan metode *solid stated reaction*. Metode ini merupakan metode pencampuran padatan tanpa menggunakan medium pelarut (Chandra dan Yudanto, 2022). Sampel nanokomposit dikarakterisasi menggunakan metode *X-Ray Diffraction (XRD)*, *UV-Vis Spectrophotometry*, dan *Scanning Electron Microscopy (SEM)*.

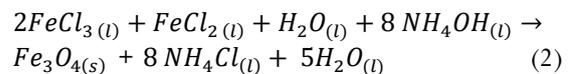
## METODE

Pengambilan pasir besi dilakukan di Dusun Pasir Raya Desa Sungai Duren, Kecamatan Jambi Luar kota, Kabupaten Muaro Jambi, Jambi. Pasir yang masih basah dikeringkan dan disaring, yang kemudian didekatkan pada magnet permanen, agar pasir besi dapat terpisah dari pasir non-besi. Proses penarikan pasir besi dilakukan berulang hingga 15 kali. Selanjutnya pasir besi disaring menggunakan ayakan 120 mesh. Pasir yang telah diayak selanjutnya dicuci dengan aquades sebanyak 2 kali pencucian.

Pasir besi digunakan sebanyak 40 gram dilarutkan kedalam HCl (12 M) sebanyak 38 ml pada suhu 55°C diaduk selama 60 menit dengan menggunakan magnetik stirrer. Persamaan reaksi :

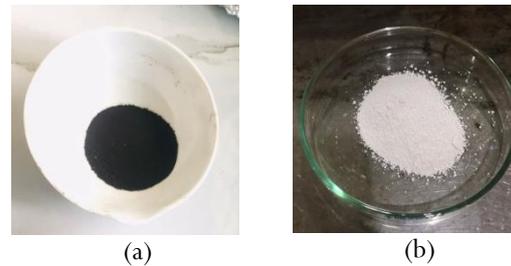


Larutan yang terbentuk disaring dengan kertas saring. Hasil yang disaring berupa filtrat. Filtrat kemudian ditambahkan NH<sub>4</sub>OH (25%) sebanyak 73 ml dan diaduk selama 15 menit, kemudian didiamkan selama 1 jam, hingga diperoleh endapan. Endapan dicuci menggunakan aquades sebanyak 7 kali. Persamaan reaksi:



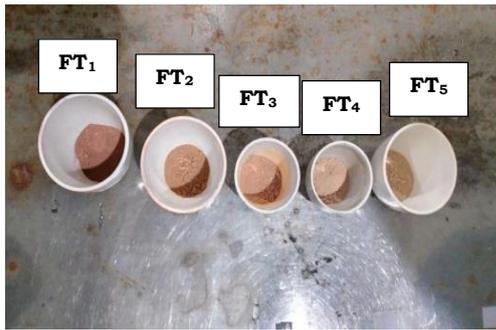
Endapan di oven pada suhu 100°C selama 2 jam, agar kadar air yang terdapat dari hasil endapan dapat menguap. Hasil sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang diperoleh berupa serbuk. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dicampur dengan menggunakan variasi perbandingan massa seperti disajikan dalam Tabel 1. Sampel yang telah dicampur digerus selama 2 jam hingga homogen. Kemudian sampel dikalsinasi pada suhu 500°C selama 3 jam. Setelah proses kalsinasi, sampel digerus kembali agar sampel yang menggumpal menjadi lebih halus.

Material TiO<sub>2</sub> yang digunakan memiliki bentuk kristal *rutile*. Hasil sintesis pasir besi, material TiO<sub>2</sub> dan yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 1.



(a)

(b)



(c)

**Gambar 1.** a) Hasil Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>; b) TiO<sub>2</sub> dan c) Sintesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> setelah dikalsinasi

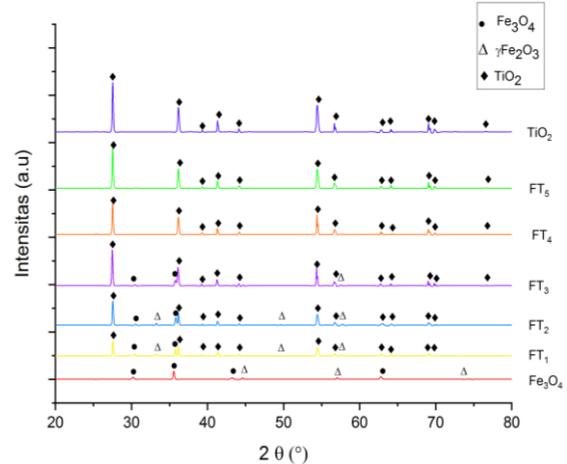
**Tabel 1.** Identitas Sampel

Nama sampel	Perbandingan massa Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> : TiO <sub>2</sub>
FT <sub>1</sub>	3:1
FT <sub>2</sub>	2:1
FT <sub>3</sub>	1:1
FT <sub>4</sub>	1:2
FT <sub>5</sub>	1:3

Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dikarakterisasi dengan XRD untuk menganalisa fasa kristal dengan menggunakan software *High Score Plus* dan diplot menggunakan software *ORIGIN 2022*. *UV-Vis Spectrophotometry* untuk menentukan energi gap dari sampel. SEM untuk menentukan morfologi dan ukuran butir partikel dengan software *ImageJ*. Nilai energi gap dan ukuran distribusi partikel di plot menggunakan software *ORIGIN 2022*.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Nanokomposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/TiO<sub>2</sub> dikarakterisasi menggunakan XRD untuk mengetahui struktur kristal, parameter kisi, dan ukuran kristal. Hasil karakterisasi disesuaikan dengan JCPDS no. 19-0629 untuk fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan JCPDS no. 04-0551 untuk TiO<sub>2</sub> fasa *rutile*. Berdasarkan Gambar 2 pada Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, FT<sub>1</sub>, FT<sub>2</sub>, FT<sub>3</sub> terdapat fasa lain yaitu Maghemit (γFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang disesuaikan dengan JCPDS no. 39-1346.



**Gambar 2.** Pola XRD Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub>, FT<sub>1</sub>, FT<sub>2</sub>, FT<sub>3</sub>, FT<sub>4</sub> dan FT<sub>5</sub>

Pada Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> terdapat dua fasa yang muncul yaitu Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, γFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Fasa TiO<sub>2</sub> murni menunjukkan puncak-puncak difraksi milik TiO<sub>2</sub> dengan fasa *rutile*. Pada sampel gabungan FT<sub>1</sub>, FT<sub>2</sub>, FT<sub>3</sub> terdapat fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> dan γFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Menurut Kustomo (2020), Fasa maghemit (γFe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang muncul disebabkan oleh Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang mudah teroksidasi dengan udara sehingga dapat berubah menjadi fasa lain. Pada grafik FT<sub>4</sub> dan FT<sub>5</sub> hanya terdapat puncak TiO<sub>2</sub>, namun intensitas puncak difraksi TiO<sub>2</sub> pada sampel masih lebih rendah daripada TiO<sub>2</sub> murni, hal ini menandakan masih adanya fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang terkandung pada sampel.

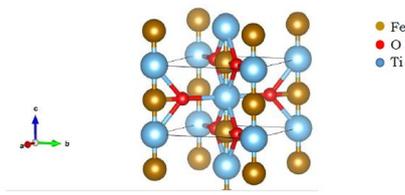
Dari Gambar 2 disimpulkan bahwa seiring berkurangnya massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> maka kemunculan fasa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> juga semakin menurun. Sedangkan fasa TiO<sub>2</sub> tetap dominan. Setelah ditentukan nilai hkl dari seluruh sampel selanjutnya ditentukan parameter kisi seluruh sampel. Ukuran kristal dan parameter kisi dari ketujuh sampel dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Parameter Kisi dan Ukuran Kristal

Sampel	2θ(°)	d [Å]	Parameter Kisi		Ukuran Kristal (nm)
			a	c	
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	35.54	2.52	8.357	-	42.549
FT <sub>1</sub>	27.54	3.23	4.56	2.93	83.476
FT <sub>2</sub>	27.53	3.23	4.56	2.93	66.766
FT <sub>3</sub>	27.46	3.24	4.58	2.93	66.756
FT <sub>4</sub>	27.51	3.24	4.58	2.93	66.763
FT <sub>5</sub>	27.51	3.24	4.58	2.93	66.763
TiO <sub>2</sub>	27.52	3.24	4.58	2.93	66.765

Ukuran kristal yang relatif besar pada sampel FT<sub>1</sub> dikarenakan banyaknya massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang digunakan dari pada TiO<sub>2</sub>. Saat kedua sampel digabung dengan perbandingan massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang lebih banyak maka kristalinitas TiO<sub>2</sub> yang terbentuk belum optimal, sehingga hal tersebut mempengaruhi ukuran kristal yang akan terbentuk. Untuk sampel FT<sub>2</sub>, FT<sub>3</sub>, FT<sub>4</sub> dan FT<sub>5</sub> memiliki ukuran kristal kisaran 66.7 nm. Hal ini dapat dinyatakan ketika massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> berkurang maka ukuran kristal berada pada kisaran 66,7 yang nilai ukuran kristalnya sama dengan TiO<sub>2</sub>. Menurut (Ihwani, 2022) variasi massa tidak terlalu mempengaruhi parameter kisi kristal.

Struktur Kristal Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan TiO<sub>2</sub> masing-masing berbentuk kubik dan tetragonal. Struktur kristal FT<sub>1</sub>, FT<sub>2</sub>, FT<sub>3</sub>, FT<sub>4</sub> dan FT<sub>5</sub> berbentuk tetragonal. Gambar 3 akan menunjukkan struktur kristal FT<sub>1</sub>, FT<sub>2</sub>, FT<sub>3</sub>, FT<sub>4</sub> dan FT<sub>5</sub>.



**Gambar 3.** Struktur Kristal FT<sub>1</sub>, FT<sub>2</sub>, FT<sub>3</sub>, FT<sub>4</sub> dan FT<sub>5</sub>

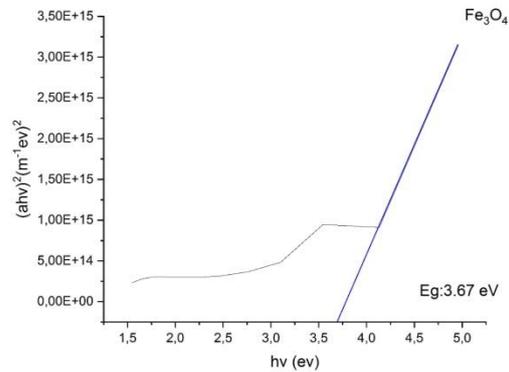
Atom warna biru menunjukkan atom Ti, atom warna merah menunjukkan atom O dan atom warna emas menunjukkan atom Fe. Pada sampel FT<sub>1</sub>, FT<sub>2</sub>, FT<sub>3</sub>, FT<sub>4</sub> dan FT<sub>5</sub> memiliki struktur kristal tetragonal dimana nilai  $a=b \neq c$  dan  $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ . Berdasarkan uji XRD ditemukan fasa lain pada sampel. Persentase rasio pada tiap fasa dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3.** Rasio Fasa

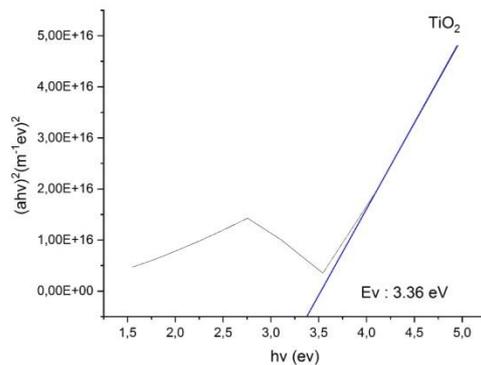
Sampel	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	$\gamma$ Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	82.28 %	17.71 %	-
FT <sub>1</sub>	13.75 %	5.48 %	80.75 %
FT <sub>2</sub>	11.59 %	3.92 %	84.47 %
FT <sub>3</sub>	6.22 %	0.43 %	93.21 %
FT <sub>4</sub>	-	-	100 %
FT <sub>5</sub>	-	-	100 %
TiO <sub>2</sub>	-	-	100 %

Dari hasil perhitungan fasa, dapat dinyatakan seiring dengan penambahan material TiO<sub>2</sub> maka persentase rasio fasa pada Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan  $\gamma$ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga semakin berkurang. Begitupun dengan semakin banyak massa Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> yang digunakan persentase rasio fasa pada  $\gamma$ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> juga semakin meningkat.

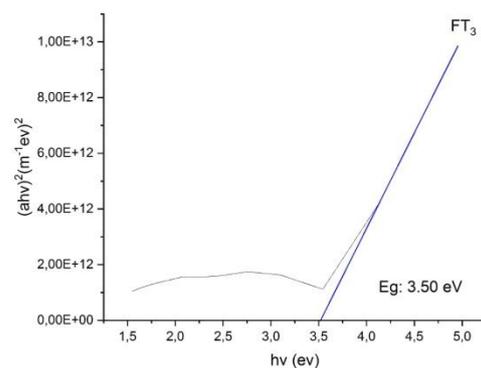
Alat *UV-Vis Spectrophotometry* digunakan untuk menentukan nilai energi gap. Gambar 4 menunjukkan nilai energi gap yang diperoleh pada ketiga sampel. Data yang dianalisis berupa data transmisi.



(a)



(b)



(c)

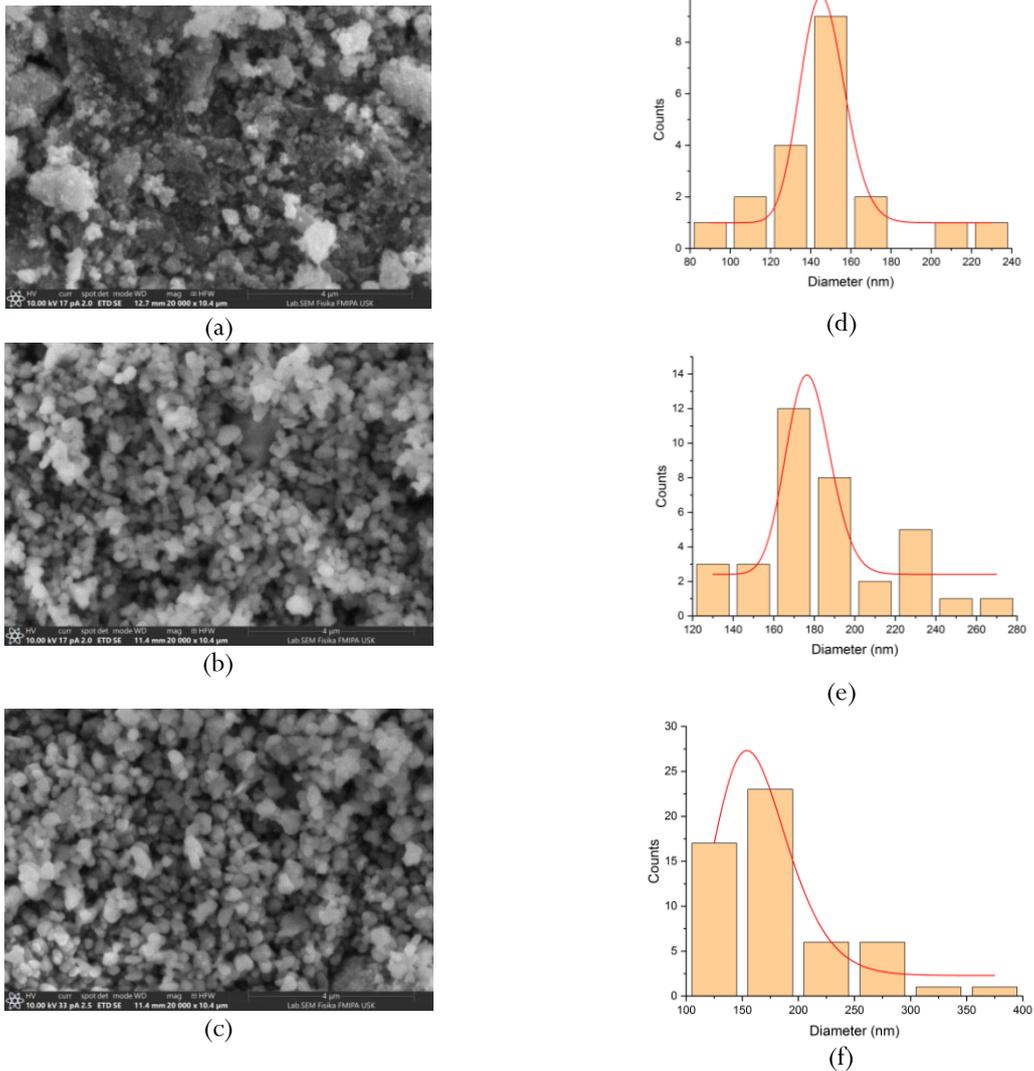
**Gambar 4.** Penentuan Nilai Energi Gap; a) Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, TiO<sub>2</sub> dan FT<sub>3</sub>

TiO<sub>2</sub> pada penelitian ini digunakan sebagai material dopingan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Penambahan dopingan TiO<sub>2</sub> bertujuan untuk memperkecil nilai energi gap Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> setelah dilakukannya penggabungan. Nilai energi gap FT<sub>3</sub> sebesar 3,50 eV yang berada diantara nilai energi gap Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dan TiO<sub>2</sub> yaitu berturut-turut

sebesar 3,67 eV dan 3,50 eV. Hal ini dipengaruhi oleh perbandingan massa yang digunakan.

Analisis *Scanning Elektron Microscopy* (SEM) dilakukan untuk mengetahui struktur morfologi dan ukuran partikel. Perbesaran yang digunakan pada sampel yaitu perbesaran 20.000 kali. Hasil analisis SEM terlihat bahwa permukaan partikel masih bertumpuk-tumpuk yang artinya banyak gumpalan-gumpalan yang belum teratur dan cenderung

membentuk agregat. Hasil SEM menunjukkan struktur permukaan  $TiO_2$  terlihat seperti bola-bola kecil dan terdapat partikel yang teraglomerasi. Hasil SEM  $FT_3$  menunjukkan morfologi partikel yang berbentuk bulat dan teraglomerasi. Hasil SEM  $FT_3$  memiliki kemiripan bentuk yang sama dengan  $TiO_2$ . Hasil SEM dan distribusi ukuran partikel  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$  dan  $FT_3$  dapat dilihat pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Hasil SEM (a)  $Fe_3O_4$ , (b)  $TiO_2$  (c) $FT_3$  dan distribusi ukuran partikel (d)  $Fe_3O_4$ , (e)  $TiO_2$  (f) $FT_3$  menunjukkan distribusi ukuran partikel  $FT_3$  berada pada rentang 100-400 nm dengan ukuran partikel

Pola distribusi ukuran partikel  $Fe_3O_4$  pada Gambar 5 (d) menunjukkan distribusi ukuran partikel  $Fe_3O_4$  berada pada rentang 80-240 nm dengan ukuran partikel 140-160 nm menunjukkan frekuensi yang tinggi. Pola distribusi ukuran partikel  $TiO_2$  pada Gambar 5 (e) menunjukkan distribusi ukuran partikel  $TiO_2$  berada pada rentang 120-280 nm dengan ukuran partikel 160-180 nm menunjukkan frekuensi yang tinggi. Gambar 5 (f)

menunjukkan distribusi ukuran partikel  $FT_3$  berada pada rentang 100-400 nm dengan ukuran partikel 150-200 nm menunjukkan frekuensi yang tinggi. Dengan ukuran rata-rata partikel pada sampel  $Fe_3O_4$ ,  $TiO_2$  dan  $FT_3$ , yaitu 148,006 nm, 184,72 nm dan 181,79 nm.

#### KESIMPULAN DAN SARAN

Variasi perbandingan massa mempengaruhi ukuran kristal serta intensitas pada setiap sampel.

Semakin banyak massa  $\text{TiO}_2$  yang digunakan maka ukuran kristal semakin menyerupai ukuran kristal  $\text{TiO}_2$  dan intensitas tiap sampel didominasi oleh  $\text{TiO}_2$ . Nilai energi gap yang diperoleh pada perbandingan massa  $\text{FT}_3$  sebesar 3,50 eV. Nilai energi gap berada diantara nilai energi gap kedua material. Pada penelitian ini nilai energi gap  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  sebesar 3,67 dan  $\text{TiO}_2$  memiliki nilai energi gap sebesar 3,36 eV. Karakteristik bentuk morfologi  $\text{FT}_3$  yang dihasilkan dari analisis SEM yaitu berbentuk padatan bulat dengan persebaran partikel yang tidak merata sehingga terjadi aglomerasi dengan ukuran rata-rata partikel  $\text{FT}_3$  sebesar 181,79 nm.

Sebaiknya dilakukan karakterisasi lain seperti, Uji FTIR, SEM EDX, TEM, dan XRF. Serta dilakukan pembaharuan material doping lain yang memiliki kemampuannya semikonduktor yang baik sebagai fotokatalis.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Hibah PNBPFST Universitas Jambi dan pihak Laboratorium Fakultas Sains dan Teknologi yang telah membantu menyediakan fasilitas dan bantuan teknis.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Batista, A. P. L., Carvalho, H. W., Luz, G. H. P., Martins, P. F. Q., Goncalves, M., and Oliviera, L. C. O. 2010. *Preparation of Cu/SiO<sub>2</sub> and Photocatalytic Activity by Degradation of Methylene Blue*. *Journal of Environmental Chemistry*. Vol 8 (1): 63-67.
- Bilalodin, Sunardi dan Muhtar. E. 2013. Analisis Kandungan Senyawa Kimia dan Uji Sifat Magnetik Pasir Besi Pantai Ambal. *Jurnal Fisika Indonesia*. Vol 16 (50) : 29-31.
- Chandra, S.A dan Yudanto, S. D. 2022. Peningkatan Fasa  $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$  Melalui Proses Penggerusan Mekanik. *Jurnal Rekayasa Energi (JRE)*. Vol. 01 (01): 19–24.
- Fauzi, R.A. 2023. *Green-Synthesis Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> /TiO<sub>2</sub> Nanokomposit menggunakan ekstrak daun Moringa Oleifera untuk Fotodegradasi Methylene Blue*. Thesis.
- Greenwood, N.N and A. Earnshaw. 1997. *Chemistry of the Elements 2nd ed*. Oxford : Butterworth – Heinemann.
- Ihwani, S.A. 2022. Pengaruh Fraksi-X Selenium Pada Struktur Dan Parameter Kisi Pb(S,Se) Masif Preparasi Teknik Bridgman. *Jurnal Ilmu Fisika Dan Terapannya*. Vol 9 (02) : 1-13.
- Kustomo. 2020. Uji Karakterisasi dan Mapping Magnetit Nanopartikel Terlapisi Asam Humat dengan *Scanning-Electron-Microscope. Energy Dispersive X-Ray (SEM-EDX)*. *Indonesian Journal of Chemical Science*. Vol 9 (3): 148-153.
- Ma'rufah, H., Siti, R., Muhamat, A dan Heri, S. 2019. Sintesis Material Nano  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Dari Karat Besi Yang Berpotensi Diaplikasikan Sebagai Solar Absorber Pada *Quantum Dot Sensitized Solar Cell (QDSSC)*. *Berkala Fisika*. Vol 22 (3) : 117-122.
- Sinurat, M., Gusti, D.R., Deswardani, F., Safitri dan Sudiby. 2021. Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Dari Pasir Besi Sungai Batanghari, Jambi Yang Di Enkapsulasi Dengan Silika *JPFT*. Vol 9 (1): 106-114.
- Pawar, M., Sendogdular, S.T., and Gouma, P. 2018. *A Brief Overview of TiO<sub>2</sub> Photocatalyst for Organic Dye Remediation: Case Study of Reaction Mechanisms Involved in Ce-TiO<sub>2</sub> Photocatalysts System*. *Journal of Nanomaterials*.
- Pradipta, A.D., Enriyani, R., Rahmatia, L dan Utami, A. 2021. Sintesis Nanokomposit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  / $\text{TiO}_2$  Sebagai Fotokatalis yang Dapat Diambil Kembali Dalam Fotoreduksi Limbah Ion Perak(I). *Warta AKAB*. Vol 45 ( 1) : 32-39.
- Prasetyowati, R., Widiawati, D., Swastika, P. E., Ariswan dan Warsono. 2021. Sintesis Dan Karakterisasi Nanopartikel Magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) Berbasis Pasir Besi Pantai Glagah Kulon Progo Dengan Metode Kopresipitasi Pada Berbagai Variasi Konsentrasi  $\text{NH}_4\text{OH}$ . *J. Sains Dasar*. Vol 10 (2) : 57 – 61.
- Virrisya dan Astuti. 2019. Karakterisasi Sifat Optik Nanopartikel ZnO didoping Mn menggunakan Metode Sol-Gel. *Jurnal Fisik Unand*. Vol 8 (4) : 308-314.
- Wulandari, I. O., Rahayu, L. B., Riva'I, I., Sulistyarti, H. dan Sabarudin, A. 2021. Sintesis dan Karakterisasi Nanopartikel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  termodifikasi *Biokompatibel* Polimer serta Potensinya sebagai Penghantar Obat. *The Indonesian Green Technology Journal*. Hal 1-8.