

# PENGARUH VARIASI KONSENTRASI ZnO TERHADAP KARAKTERISTIK KOMPOSIT BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO SEBAGAI FOTOKATALIS PEWARNA TEKSTIL RHODAMIN B

**Youhana, Nandang Mufti, Yudyanto**  
Jurusan FMIPA Universitas Negeri Malang  
Email : youhanastaleg@gmail.com

## ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya laju industri tekstil di Indonesia, limbah industri ini menghasilkan polutan berwarna yang menjadi sumber utama pencemaran air. Produk-produk limbah industri pewarna tekstil dapat menyebabkan masalah lingkungan, seperti perusakan keseimbangan ekologi dalam lingkungan perairan yang membahayakan ikan dan organisme air lainnya. Sampah dan limbah memiliki komposisi yang kompleks, biokimia dan nilai BOD yang tinggi, warna, toksisitas, serta bau yang berasal dari pewarna. Oleh sebab itu diperlukan teknologi yang efektif dan efisien dengan biaya yang murah dalam pengolahan limbah hasil industri pewarna tekstil sehingga dapat mengurangi pencemaran air.

Sampai saat ini, berbagai metode telah dikembangkan untuk menghilangkan polutan dari limbah pewarna, seperti pengolahan biologis, koagulasi/flokulasi, ozonisasi, kimia oksidasi, membran filtrasi, ionisasi, adsorpsi, dan metode fotokatalis. Dari berbagai metode tersebut teknologi yang paling murah dan efisien adalah fotokatalis karena menggunakan sinar matahari sebagai sumber energi. Selain itu, material fotokatalis juga bisa digunakan untuk jangka waktu yang lama karena bisa digunakan secara terus menerus selama diletakkan di dalam limbah pewarna. Namun, kelemahan menggunakan metode ini yakni dalam hal pemisahan hasil degradasi produk pewarna. Pada saat proses pemisahan, material fotokatalis yang berbentuk serbuk dapat menjadi ikut terbuang. Oleh karena itu, dalam proposal ini digunakan bahan magnetik BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> sebagai material yang dikompositkan oleh material fotokatalis ZnO. Dengan adanya inti magnetik yang diberi medan magnet eksternal menyebabkan pemisahan hasil degradasi pewarna akan menjadi lebih mudah dalam waktu yang lebih singkat. Sehingga, proses pemisahan hasil degradasi limbah pewarna akan menjadi lebih efektif dan efisien. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif yang lebih murah, efektif dan efisien dalam pengolahan limbah pewarna tekstil sehingga dapat mendukung pemerintah dalam mengatasi permasalahan pencemaran air.

Kata kunci : BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>, Kopresipitasi, Reaksi Padatan

## PENDAHULUAN

Penggunaan semikonduktor ZnO sebagai fotokatalis telah banyak dikembangkan guna meningkatkan aktivitas fotokatalis dan efisiensi katalitiknya, misalnya dilakukan dengan cara pendopongan pada ZnO dengan Fe, SnO<sub>2</sub>, Ag (Rosari dan Nadia, 2014; Rashad dkk, 2013 Xingtian dkk, 2011); pembuatan nanokomposit ZnO/CdS, TiO<sub>2</sub>/ZnO (Eric dkk, 2012; Jun dkk, 2011) maupun ZnO@CdSe, ZnO@SnO<sub>2</sub>, dan Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO *core-shell* (Patij dkk, 2014; Yu-Fang dkk, 2011; Rakgalakane dkk, 2011). Pendopongan yang dilakukan seperti doping Fe, SnO<sub>2</sub> pada ZnO maupun nanokomposit SnO<sub>2</sub>/ZnO efisiensi

fotokatalisnya antara 40%-70%. Salah satu kelemahan dari pendopongan dan pembuatan nanokomposit tersebut adalah proses pemisahan dan penggunaan kembali material fotokatalis dengan polutan (Van, 2014). Hal ini karena pada saat proses pemisahan, material fotokatalis yang berbentuk serbuk dapat menjadi ikut terbuang.

Salah satu strategi supaya mempermudah proses pemisahan yakni digunakan bahan magnetik sebagai bahan yang dikompositkan dengan ZnO. Hal ini karena bahan magnetik mudah dipisah dengan diberikan medan magnet eksternal. Patij (2014) berhasil mensintesis Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO

dan  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{ZnO}$  dengan metode hidrolisis serta pemberian termal. Material fotokatalis tersebut mampu memberikan kinerja katalitik yang cukup baik saat iradiasi 10 menit dan menurun setelah 90 menit. Oleh karena itu masih diperlukan pengembangan lebih lanjut terkait bahan komposit yang digunakan dikarenakan  $\text{ZnO}$  cenderung memiliki sifat kemagnetan yang rendah.

Berdasarkan permasalahan tersebut dalam skripsi ini digunakan  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  sebagai bahan yang dikompositkan dengan material fotokatalis  $\text{ZnO}$ .  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  merupakan *hard* bahan magnetik yang menyajikan sifat khusus seperti remanen dan koersivitas serta stabilitas termal, elektrik dan kimia yang tinggi (Rashad dan Zang dalam Feni 2012). Menurut Wu (2012) adanya inti magnetik yang diberi medan magnet eksternal menyebabkan pemisahan hasil degradasi pewarna akan menjadi lebih mudah dalam waktu yang lebih singkat.

Dalam proposal ini sintesis komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$  dilakukan dengan metode kopresipitasi. Metode kopresipitasi digunakan karena memiliki beberapa keunggulan yaitu lebih efisien dan praktis. Melalui reaksi asam basa menyebabkan partikel yang terbentuk berukuran nano.

Adanya penggabungan sifat antara  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  dengan fotokatalis  $\text{ZnO}$  diharapkan dapat mempercepat dan meningkatkan proses degradasi pewarna di mana proses adsorpsi akan berjalan seiring dengan kinerja fotokatalis. Keunggulan lainnya yakni komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$  lebih stabil terhadap suasana asam dan temperatur yang tinggi serta dengan memanfaatkan sinar matahari sebagai sumber energi menyebabkan material fotokatalis ini menjadi lebih murah dan ramah lingkungan. Dengan memanfaatkan sifat magnetik dari

$\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  proses pemisahan hasil degradasi limbah pewarna pun akan menjadi lebih efektif dan efisien.

## METODE EKSPERIMEN

Metode sintesis yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode solid state untuk membentuk  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  dan kopresipitasi untuk mensintesis komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ . Konsep dasar kopresipitasi adalah proses pengendapan dari larutan bahan dasar dengan agen pengendap. Untuk metode reaksi padatan serbuk bahan barium heksaferit digerus dengan alat sederhana (mortar).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Unsur Penyusun Komposit $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$

Karakterisasi dan analisis EDX dilakukan untuk menentukan komposisi unsur penyusun komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ . Berdasarkan Tabel 1 ditunjukkan bahwa komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$  tersusun dari empat jenis unsur yaitu Ba, Fe, Zn, dan O. Dari tabel dapat diketahui bahwa komposisi atom Zn lebih kecil dibandingkan komposisi atom Ba, Fe seiring dengan meningkatnya molaritas  $\text{ZnO}$  yang digunakan. Hal ini bisa disebabkan pada saat proses sintesis komposit. Faktor pH seiring bertambahnya molaritas yang meningkat juga dapat berpengaruh dalam pembentukan  $\text{ZnO}$ . Adanya kondisi lingkungan yang kurang basa bisa menjadi salah satu pengaruh kurang terbentuknya  $\text{ZnO}$  secara sempurna sehingga pada saat dekantasi menyebabkan unsur Zn menjadi ikut terbuang. Selain itu proses sintering juga dapat mempengaruhi komposisi atom yang terbentuk pada komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$ . Adanya pemanasan kembali menyebabkan atom Fe mengalami kecenderungan berupa peningkatan komposisi. Akibatnya, semakin

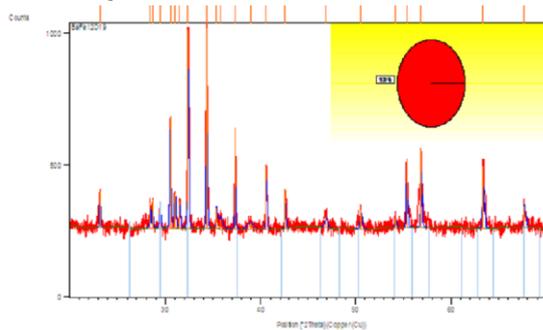
tinggi molaritas ZnO yang digunakan menyebabkan komposisi unsur Zn semakin menurun. Berdasarkan hal tersebut maka pada penelitian ini variasi konsentrasi didasarkan pada perbandingan komposisi unsur Ba/Fe hasil uji EDAX.

**Tabel 1 Komposisi Unsur Penyusun Komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO Hasil Uji SEM-EDX**

Molaritas ZnO	% atom				Perbandingan Unsur Ba/Zn
	Ba	Fe	O	Zn	
0,1 M	3.15	36.28	46.45	14.13	1:4
0,2 M	3.36	36.86	49.27	10.51	1:3
0,3 M	3.64	49.61	43.68	5.40	1:1.5
0,4 M	3.45	40.73	47.18	8.63	1:2.5

### Pola Difraksi Hasil Sintesis

Perbandingan pola difraksi sampel BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> hasil sintesis dengan metode solid state disajikan dalam Gambar 1.



**Gambar 1 Pola difraksi Sampel BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> Metode Solid State Sintering 1000°C**

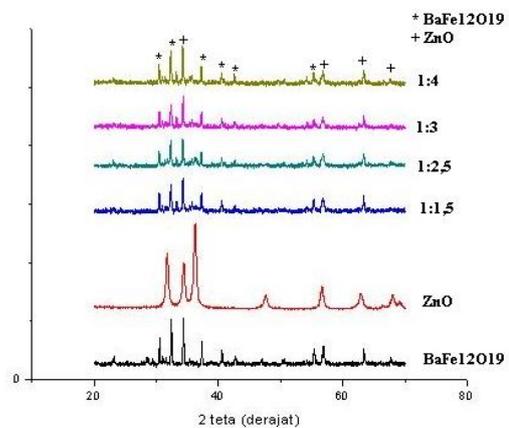
Salah satu keunggulan metode solid state adalah peralatan yang sederhana dan tingkat keberhasilan yang tinggi. Hasil di atas menunjukkan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> yang terbentuk sudah 100%.

Komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO berhasil disintesis dengan metode kopresipitasi dan disajikan pada Gambar 2. Dari pencocokan fasa menggunakan HighScore diketahui bahwa pola difraksi pada komposit yang terbentuk sesuai dengan fasa Barium Iron Oxide dan fasa Zinc Oxide.

Dari Gambar 2 puncak difraksi sinar-X untuk fasa ZnO terletak pada bidang (002), (110), dan (103) yang menunjukkan fasa wurtzite pada ZnO, sementara puncak

difraksi yang lain menunjukkan fasa Barium Iron Oxide (BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>). Pada variasi 1:4 tampak muncul puncak ZnO pada bidang (112), hal ini dapat disebabkan karena fasa ZnO yang terbentuk lebih banyak dibandingkan pada variasi yang lain.

Puncak difraksi antara BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dan ZnO yang muncul memiliki intensitas yang sama kuat dan mengalami *overlapping*. Hal ini dapat diartikan bahwa selama proses pembuatan komposit tidak merubah fasa BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dan fasa *hexagonal* wurtzite dari nanopartikel ZnO.



**Gambar 2 Pola difraksi komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO dengan variasi konsentrasi yang berbeda**

### Struktur Kristal

Parameter kisi yang ditunjukkan dengan rasio c/a dan a/c dalam penelitian ini hampir tidak mengalami perubahan dengan adanya penambahan konsentrasi ZnO, pola difraksi sinar-X dianalisis dengan software GSAS dan *Microcal Origin* untuk mengetahui struktur kristal penyusun komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO. Hasil analisis data ditunjukkan pada Table 1.

Sedangkan ukuran partikel dihitung dengan menghitung besarnya nilai FWHM (*Full Width at Half Maximum*) dari puncak bidang difraksi. Kemudian digunakan persamaan *Scherrer*. Nilai FWHM diperoleh

dari hasil fitting puncak difraksi sinar-X menggunakan fungsi Gaussian. Berdasarkan perhitungan tersebut didapatkan ukuran kristal ZnO memiliki kecenderungan semakin menurun seiring bertambahnya konsentrasi ZnO.

**Tabel 1 Parameter Kisi ZnO Hasil Refinement**

Parameter	Model ZnO	ZnO			
		1 : 1.5	1 : 2.5	1 : 3	1 : 4
a=b (Å)	3.250	3.236426	3.244346	3.244580	3.229467
c (Å)	5.250	5.227532	5.213324	5.231961	5.218045
$\alpha=\beta$ (°)	90	90	90	90	90
$\gamma$ (°)	120	120	120	120	120
a/c	0.6	0.62	0.62	0.62	0.62
c/a	1.6	1.62	1.61	1.61	1.62
Rp		0.0575	0.0576	0.0605	0.0564
Rwp		0.0732	0.073	0.0779	0.0728
Chi		1.322	1.491	1.426	1.556

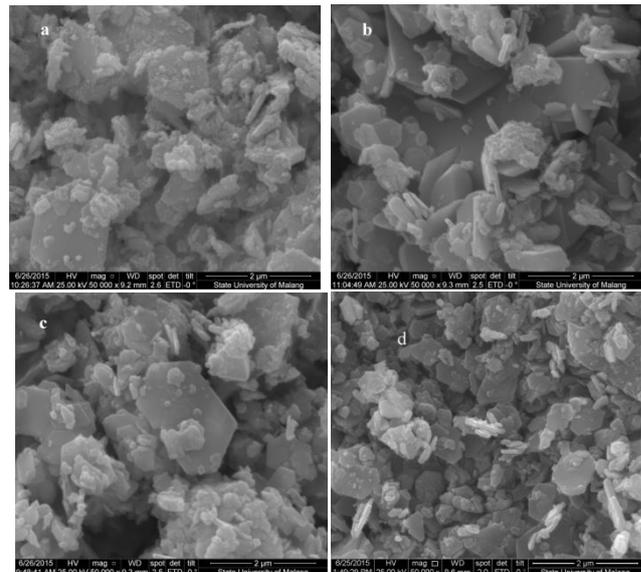
**Tabel 2. Ukuran Kristal Komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO pada berbagai Variasi Konsentrasi**

Variasi Konsentrasi	Ukuran Butir Kristal (nm)
1 : 1.5	54.8
1 : 2.5	49.91
1 : 3	57.57
1 : 4	48.12

### Morfologi Komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO

Pada semua sampel terlihat bahwa morfologi dari grain terdiri dari bulatan dan ada pula yang berbentuk batang yang melekat pada permukaan grain yang berbentuk hexagonal (*plate like*). Grain yang berbentuk hexagonal (*plate like*) merupakan barium heksaferit yang terbentuk karena adanya proses pemberian termal. Bentuk morfologi berupa hexagonal (*plate like*) merupakan bentuk terbaik untuk aplikasi sebagai material adsorben. Sementara bulatan bulatan yang melekat pada grain yang berbentuk hexagonal merupakan ZnO. Grain yang berbentuk batang juga merupakan ZnO. Morfologi yang ditunjukkan oleh SEM membuktikan bahwa telah terbentuk senyawa komposit

BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO pada berbagai variasi konsentrasi.



**Gambar 3. Gambar 4.6 Hasil karakterisasi SEM komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO (a) variasi 1:1 (b) variasi 1:2 (c) variasi 1:3 (d) variasi 1:4**

Sampel komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO hasil SEM memiliki ukuran serbuk masih dalam skala mikro. Besarnya ukuran grain BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> disebabkan oleh proses sintering yang dilakukan pada waktu sintesis *raw material* serta saat pembuatan komposit. Dikarenakan ukuran grain dari BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> yang cenderung besar dan kemudian dikompositkan dengan ZnO tentunya menyebabkan peningkatan dalam ukuran grain. Ukuran grain yang besar mengindikasikan hasil akhir pengurangan dari *grain boundary* dan *surface area*.

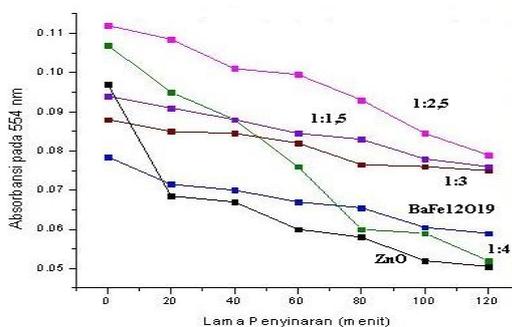
Dari gambar SEM menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi ZnO morfologi permukaan komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO terlihat semakin halus. Hal ini sangat erat kaitannya dengan distribusi ZnO pada komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO. Oleh karena sifat magnet yang cukup tinggi, sehingga diantara partikel BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dengan tetangga terdekatnya cenderung membentuk agregat. Dengan konsentrasi ZnO yang dua kali lebih besar, agregasi antara butir sudah mulai berkurang. Dengan adanya

penambahan konsentrasi menyebabkan adanya pengaruh terhadap pengurangan agregat  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  di mana morfologi permukaan tampak terlihat semakin halus.

### Uji Degradasi

Perbandingan efek fotokatalis dari komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$  untuk masing masing variasi konsentrasi agar dapat digunakan sebagai bahan fotokatalis pewarna tekstil dilakukan dengan uji degradasi menggunakan pewarna tekstil rodhamin B. Rodhamin B yang digunakan untuk uji degradasi memiliki konsentrasi sebesar 30 ppm. Dalam pengujian ini digunakan  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  dan  $\text{ZnO}$  sebagai pembanding efek fotokatalis dari komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$  terhadap pewarna tekstil.

Berikut ini adalah data dari hasil pengukuran dengan menggunakan UV Visible Spectroscopy setelah dilakukan penyinaran di ruang gelap dengan menggunakan Lampu UV 15 Watt. Sebelumnya material fotokatalis sebesar 0.04 g distirer dengan larutan pewarna selama 30 menit. Uji degradasi dilakukan dengan melakukan variasi waktu pada masing – masing bahan. Dari hasil uji UV Vis didapatkan nilai absorbansi yang disajikan dalam bentuk grafik berikut ini.



**Gambar 4.** Grafik hasil uji UV-Vis Spetroscopy setelah divariasi waktu (Garis merupakan *Guide of Eye*)

Nilai absorbansi tersebut digunakan untuk mengetahui konsentrasi akhir (ppm) larutan pewarna yang terdegradasi. Dari Gambar 4 dapat diketahui bahwa pola grafik untuk variasi 1:1,5 hingga 1:3 cenderung mengikuti pola absorpsi  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$ . Sementara untuk variasi 1:4 cenderung mengikuti *trend*  $\text{ZnO}$  murni. Dalam proses degradasi larutan pewarna ini terdapat dua mekanisme yang terjadi. Mekanisme yang pertama adalah proses adsorpsi oleh material magnetik  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  dan mekanisme yang kedua adalah fotokatalisis oleh  $\text{ZnO}$ . Kedua mekanisme inilah yang menyebabkan perbedaan *trend* variasi penyinaran tiap 20 menit. Sehingga tampak pada kedua grafik waktu saat 0 menit larutan pewarna sudah terdegradasi oleh Rhodamin B. Hal ini dikarenakan terdapat kinerja adsorpsi pada material fotokatalis yang dikompositkan dengan material adsorben. Sementara untuk  $\text{ZnO}$  murni juga mengalami proses degradasi pada waktu 0 menit namun tampak bahwa saat 0 menit proses fotokatalisnya tidak maksimal karena belum diberikan penyinaran.

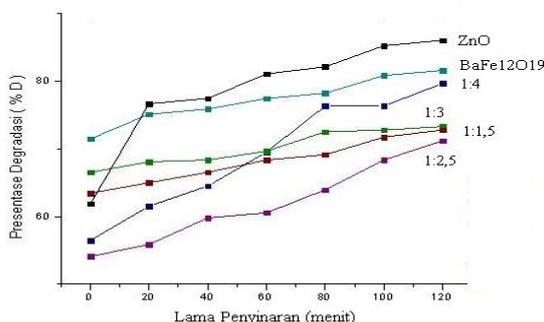
Dapat dilihat bahwa setelah penyinaran 120 menit, semakin besarnya konsentrasi  $\text{ZnO}$  maka semakin besar konsentrasi larutan pewarna yang terdegradasi. Hal ini disebabkan oleh banyaknya atom-atom dari unsur Zn yang terlibat dalam proses penyerapan berkas cahaya yang menandakan bahwa kandungan material  $\text{ZnO}$  di dalam bahan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi.

Pada grafik tampak bahwa komposit  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}/\text{ZnO}$  untuk variasi 1:2,5 memiliki nilai absorbansi yang lebih kecil dibandingkan variasi 1:1,5. Hal ini disebabkan oleh kinerja adsorpsi dari  $\text{BaFe}_{12}\text{O}_{19}$  lebih dominan dibandingkan dengan kinerja fotokatalisnya. Dari EDAX

terlihat kandungan Fe untuk 1:1,5 lebih tinggi dibandingkan pada variasi 1:2,5 (lihat Tabel 1). Ini merupakan salah satu faktor yang menyebabkan kinerja adsorpsi pada variasi 1:1,5 lebih dominan karena dipengaruhi oleh kandungan unsure Fe yang lebih tinggi.

Hasil perhitungan persentase degradasi menunjukkan bahwa semakin besar variasi konsentrasi maka efektivitas fotokatalisnya akan semakin meningkat. Dalam penelitian ini komposisi optimum untuk mendegradasi larutan pewarna Rhodamin B 30 ppm dengan lama penyinaran 120 menit dicapai oleh komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO 1:4 dengan nilai persentase degradasinya sebesar 79.72 % setelah BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dan ZnO. Adanya persentase yang lebih rendah dibandingkan dengan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dapat disebabkan karena kejenuhan kapasitas penyerapan pada permukaan komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO.

Meskipun nilai %D material fotokatalis ZnO lebih tinggi yakni sebesar 89.02% namun secara fisis terlihat bahwa larutan pewarna yang diberikan ZnO murni tampak lebih keruh dibandingkan dengan larutan pewarna yang menggunakan material komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO.



**Gambar 4.12** Grafik persentase degradasi untuk masing masing variasi konsentrasi, ZnO, dan BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> (Garis merupakan *Guide of Eye*)

Kecenderungan ini disebabkan oleh kelemahan yang dimiliki material fotokatalis murni ZnO yang tidak bersifat magnetik sehingga sulit untuk dipisahkan dari larutan

pewarna. Dengan kata lain adanya pemberian material magnetik pada material fotokatalis dapat meningkatkan kinerja fotokatalis dalam mendegradasi larutan pewarna dan dalam hal pemisahannya. Dua mekanisme yang terjadi yakni adsorpsi dan fotokatalisis menyebabkan proses degradasi polutan pewarna Rhodamin B menjadi lebih efektif dan efisien.

## KESIMPULAN

Komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO berhasil disintesis menggunakan metode kopresipitasi dengan berbagai variasi konsentrasi. Hal ini dapat diketahui dari pola difraksi XRD yang terbentuk serta mikrostruktur dari hasil uji SEM-EDX. Uji degradasi menggunakan larutan pewarna Rhodamin B menunjukkan komposit BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub>/ZnO dengan variasi 1:4 paling optimum untuk digunakan mendegradasi larutan pewarna 30 ppm selama 120 menit. Selanjutnya perlu dikembangkan lagi variasi konsentrasi ZnO untuk mengetahui perbandingan konsentrasi maksimum yang dapat digunakan untuk mendegradasi larutan pewarna.

## DAFTAR RUJUKAN

- Barka, Nouredine., Qourzal, Samir., Assabbane, Ali., Ait-Ichou, Yhya. 2010. Solar Photocatalytic Degradation of Textile Dyes on Dynamic Pilot Plant using Supported TiO<sub>2</sub>. *The Arabian Journal for Science and Engineering*. Volume 35, Number 2A.
- Casbeer, Erik., K, Virender. Sharma., Li, Xiang-Zhong. 2012. Synthesis and Photocatalytic Activity of Ferrite under visible light:A review. *Elsevier. Separation and Purification Technology* 87 (2012) 1-14.

- Didin S., Winatapura, Sari H., Dewi, Ridwan. 2014. Sintesis dan Karakterisasi Komposit Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO dengan Metoda Presipitasi. *Jurnal Teknologi Pengelolaan Limbah (Journal of Waste Management Technology)*. Volume 17 Nomor 1, Juli 2014.
- Gouvea, K., Wypych, F., Moraes, S. G., Duran, N., Nagata, N., dan Peralta-Zamora, P. 2000. Semiconductor-Assisted Photocatalytic Degradation of Reactive Dyes in Aqueous Solution. *Chemosphere*. Vol. 40, 2000, pp. 433-440. Doi: 10.1016/S0045-6535(99)00313-6.
- Habib., Shahadat, Md Tusan., Bahadur, Newaz Mohammed., Ismail, Iqbal MI., dan Mahmood, Abu Jafar. 2013. Synthesis and Characterization of ZnO-TiO<sub>2</sub> Nanocomposites and Their Application as Photocatalysts. *International NanoLetters*. 2013, 3:5.
- Hong, R. Y., dkk. Preparation, Characterization and Application of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO Core/Shell Magnetic Nanoparticles. *Science Direct, Materials Research Bulletin* 43 (2008) 2457-2468.
- Husin, Husni., Pontas, Komala., dan Nadya, Yusri. 2013. *Fotokatalitik Degradasi Metilene Blue Pada Katalis Natrium Tantalum Oksida*. Prosiding SNYuBe.
- Hutabarat, Romaida. 2012. *Sintesis dan Karakteristik Fotokatalis Fe<sup>2+</sup>-ZnO berbasis Zeolit Alam*. Depok: Universitas Indonesia.
- Ilmi, Feni Aqidatul. 2012. *Sintesis BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> dengan Metode Kopresipitasi dengan Variasi Jumlah Barium Klorida dan Metode Reaksi Padatan Berbasis Pasir Besi Lokal dan Karakterisasinya*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Juan. 2010. Synthesis and Characterization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnMnS Core-Shell Heterostructured Nanoparticles. Thesis. University of Perto Rico Mayagüez Campus.
- Joshi dan Shrivastava. 2011. Degradation of Alizarine Red-S (A Textiles Dye) by Photocatalysis using ZnO and TiO<sub>2</sub> as Photocatalyst. *International Journal Of Enviromental Sciences*. Volume 2, No 1, 2011.
- Mendes, Enrico., Sousar, Anabela Sousa., Pavesi, Thelma., Gil Maia, Cátia., Filipe, Luis., dan Costa, Josino. 2011. Use of Titanium Dioxide Photocatalysis on the Remediation of Model Textile Wastewaters Containing Azo Dyes. *Molecules*. Vol 2011, 16, 10370-10386.
- Nguyen, Van Cuong. 2014. Bifunctional Core-Shell Nanocomposite Mn-doped ZnO/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> for Photodegradation of Reactive Blue 198 Dye. *IOP Publishing*. Vol 5 (2014) 035014 (6pp).
- Rakgalane dan Moloto. 2011. Aqueous Synthesize and Charaterization of CdSe/ZnO Core-Shell Nanoparticles. *Journal of Nanomaterials*. Vol 2011 Article ID 514205.
- Rashad, Ismail, Adel A., Osama, I., Ibrahim, A., Hakim T., Kandil. 2014. Photocatalytic Decomposition of Dyes Using ZnO Doped SnO<sub>2</sub> Nanoparticles Prepared by Solvothermal Method. *Arabian Journal of Chemistry*. (2014) 7, 71-77.
- Sadhana, K., Praveena, K., Matteppanavar, S., Angadi, B. 2012. Structural and Magnetic Properties of Nanocrystalline BaFe<sub>12</sub>O<sub>19</sub> Synthesized by Microwave-Hydrothermal Method. *Appl Nanosci* (2012)2:247–252.

- Sakhtivel, S., Neppolian, B., Shankar, V., Arabindoo, B., Palanichamy, M., dan Murugesan, V. 2003. Solar Photocatalytic Degradation of Azo Dye Comparison of Photocatalytic efficiency of ZnO and TiO<sub>2</sub>: Sol. *Energi Mater. Sol. C*, Vol. 77, pp. 65-82.
- Shah, Patij., Siddhapara, K. S., Shah, D. V. 2014. Preparation, characterization and photocatalytic activity of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZnO and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO. *Applied Science Innovations*. 6/1 (2014)336-341.
- Shamalah, Aparna, Rangabhatla Sai Laxmi., dan Prasad, Rangabhatla gunneswara subramanya vara. 2013. Photocatalytic Effect of TiO<sub>2</sub> and The Effect of Dopants on Degradation of Brilliant Green. *Sustainable Chemical Processes*. 2013, 1:4.
- Shrivastava. 2012. Photocatalytic degradation of Methylene blue dye and Chromium metal from wastewater using nanocrystalline TiO<sub>2</sub> Semiconductor. *Archives of Applied Science Research*. Vol 2012, 4 (3):1244-1254.
- Soleh, Rosari., Djaja, Nadia Febiana. 2014. UV Light Photocatalytic Degradation of Organic Dyes with Fe-doped ZnO Nanoparticles. *Elsevier. Superlattices and Microstructures* 74 (2014) 217-233.
- Trisnawati, Lia Putri. 2014. *Sintesis dan Karakterisasi Carbon Encapsulated Nanopartikel Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> dengan Metode Hydrothermal sebagai Absorben Pewarna Tekstil Rodhamin B*. Univeristas Negeri Malang.
- Tu, Ya-Fang., Fu, Qiu-Ming., Sang, Jian-Ping., Zou, Xian-Wu. 2012. Synthesis and Photoluminescence Properties of The ZnO@SnO<sub>2</sub> Core-Shell Nanorod Arrays. *Springer*, (2012) 47:1541-1545.
- Wan, Jiaqi., Li, Hui., dan Chena, Kezheng. 2009. Synthesis and Characterization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ZnO Core-Shell Structured Nanoparticles. *Elsevier*. 114 (2009) 30-32.
- Wang, Hongyu, Shen, Yu., Shen, Chensi., Wen, Yuezhong., dan Li, Hong. 2011. Enhanced Adsorption of Dye on Magnetic Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> via HCl-Assisted Sonication Pretreatment. *Elsevier Press*. No 284: 122- 127
- Wu, Qiuhua., Feng, Cheng., Wang, Chun., Wang, Zhi. 2013. A facile One-Pot Solvothermal Method to Produce Superparamagnetic Graphene-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanocomposite and Its Application in The Removal of Dye from Aqueous Solution. *Elsevier Press*, No.101:210-214.
- Yanhua. 2009. Enhanced Photocatalytic Performance of ZnO Hierarchical Nanostructures Synthesized Via a Two-Temperature Aqueous Solution Route. *Elsevier*. 60(2009) 1093-1096.
- Yin, Xingtian., Que, Wenxiu., Fei, Duan., Shen, Fengyu., Guo, Qiushi. 2012. Ag Nanoparticles/ZnO Nanorods Nanocomposites Derived by a Seed-Mediated Method and Their Photocatalytic Properties. *Elsevier*. 524 (2012) 13-21.
- Yustinus P. 2009. Sintesis Sperkonduktor YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7-x</sub> secara Kopersipitasi untuk Aplikasi Industri Nuklir. *Jurnal Urania*. Vol 15 No 4, 171-232
- Zhu dkk. 2010. Sonochemical Selective Synthesis of ZnO/CdS Core/Shell Nanostructures and Their Optical Properties. *CrystEngComm*. Vol 2011 13 193.